

Cultivo del Olivo con Riego Localizado

Diseño y manejo del cultivo y las instalaciones

Programación de riegos y fertirrigación





Mundi-Prensa

JUNTA DE ANDALUCIA
Consejería de Agricultura y Pesca





Cultivo del Olivo con Riego Localizado

Diseño y manejo del cultivo y las instalaciones

Programación de riegos y fertirrigación

Editor Científico: Miguel Pastor Muñoz-Cobo



Coedición
JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Agricultura y Pesca
EDICIONES MUNDI-PRENSA
Madrid · Barcelona · México
2005

JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Agricultura y Pesca
Viceconsejería
Servicio de Publicaciones y Divulgación
c/Tabladilla, s/n 41071 SEVILLA
Tlf: 955 032 000 - 955 032 134

GRUPO MUNDI-PRENSA
Mundi-Prensa Libros, S.A.
Castelló,37 - 28001 MADRID
Tlf: 914 313 399 - Fax: 915 753 998
Mundi-Prensa Barcelona
Editorial Aedos, S.A.
Consell de Cent, 391 - 08009 BARCELONA
Tlf: 934 883 492 - Fax: 934 877 659
Mundi-Prensa México, S.A. de C.V.
Río Pánuco, 141 - Col. Cuauhtémoc
06500 MÉXICO, D.F.
Tlf: 533 56 58 - Fax: 514 67 99

Título: Cultivo del Olivo con Riego Localizado

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca

© Texto y Fotografía: Autores

I.S.B.N.: 84-8474-169-9 (Junta de Andalucía)

I.S.B.N.: 84-8476-229-7 (Mundi-Prensa)

Depósito Legal: SE-2337-05

Imprime: Arte Print Impresores, S. L.

Cultivo del Olivo con Riego Localizado

EDITOR CIENTÍFICO

Miguel Pastor Muñoz-Cobo

Dr. Ingeniero Agrónomo
Dpto. Suelos y Riegos. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

AUTORES

María Dolores Arjona Carpintero

Abogada
Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
Asesor Jurídico de Comisaría de Aguas de la Zona de Jaén. Ministerio de Medio Ambiente.

José Bejarano Alcázar

Dr. Ingeniero Agrónomo
Laboratorio de Patología Vegetal. Departamento de Protección Vegetal. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

Manuel Cabanes Fuentes

Dr. Ciencias Empresariales. Ingeniero Técnico Agrícola.
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales-ETEA. Universidad de Córdoba.

Elías Fereres Castiel

Dr. Ingeniero Agrónomo
Departamento de Agronomía. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.
Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC Córdoba.

Rafael Fernández Gómez

Ingeniero Agrónomo.
Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía S.A.

Julio García-Liñán Lopez

Ingeniero Agrónomo

Joan Girona Gomis

Dr. Ingeniero Agrónomo
Jefe de Area de Tecnología Frutícola. IRTA. Generalidad de Cataluña.

Luis Gomez García

Ingeniero Agrónomo
GESTIOLIVA. Villanueva del Arzobispo (Jaén).

Javier Hidalgo Moya

Ingeniero Agrónomo
Servicio de Asesoramiento al Regante. Caja Rural de Jaén.

Juan Carlos Hidalgo Moya

Ingeniero Agrónomo
Dpto. Suelos y Riegos. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

José Martín Pérez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Ingeniero Jefe de la Zona de Jaén. Ministerio de Medio Ambiente

Juana Nieto Carricondo

Lda. Ciencias Biológicas
Servicio de Asesoramiento Agrícola. Caja Rural de Jaen.

Francisco Orgaz Rosúa

Dr. Ingeniero Agrónomo
Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC Córdoba

Miguel Pastor Muñoz-Cobo

Dr. Ingeniero Agrónomo
Dpto. Suelos y Riegos. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

Juan Carlos Rubio Campos

Dr. Ciencias Geológicas
Instituto Geológico y Minero. Jefe de la Oficina de Proyectos de Granada.

Nicolás Serrano

Ingeniero Agrónomo
Servicio de Formación. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

Luca Testi

Dr. Ingeniero Agrónomo
Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC Córdoba

Victorino Vega Macías

Ingeniero Agrónomo
Dpto. Olivicultura. CIFA Córdoba. Instituto Andaluz de Investigación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

Francisco Villalobos Martín

Dr. Ingeniero Agrónomo
Departamento de Agronomía. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.
Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC Córdoba.

A María
que me ha dedicado su vida

A mis amigos
que me han demostrado
que de verdad lo son

A mis médicos:
Benigno Calero
Carlos Pera
Guillermo Solórzano
Pedro López Cillero
Antonio Cordón
Virtudes Huerta
Enrique Aranda
Amalia Palacios
Bartolomé Perez

PRESENTACIÓN

El olivar, el cultivo mediterráneo por excelencia, milenario en nuestra región, ha conocido en los últimos veinticinco años, los mismos que cumple nuestra Comunidad Autónoma, un auge extraordinario. La superficie ha pasado de 1.222.157 hectáreas en el año 1980 a casi un millón y medio de hectáreas en el año 2004. Pero la evolución más relevante y más inesperada es la que ha registrado el olivar en regadío, multiplicando por cuatro su superficie, desde las 80.373 hectáreas del año 1980 a las 323.849 hectáreas del 2003. Ese crecimiento ha permitido que el aceite de oliva pasara de aportar el 8 % de nuestra Producción Final Agraria en 1980, al 30% en el año 2004, con una contribución muy importante también a la creación de empleo en el medio rural y al equilibrio de nuestra balanza comercial.

Dos factores han influido de manera decisiva en la revolución que ha registrado uno de los cultivos más tradicionales de nuestra agricultura. El primero ha sido el de nuestro ingreso en la Unión Europea, en el año 1986, que ha permitido un importante incremento de las rentas de los olivareros y la transformación, con ayudas de la administración, de nuestras almazaras en industrias modernas. El segundo ha sido, sin lugar a duda, el desarrollo de la "nueva olivicultura", del que Miguel Pastor, autor de este libro, ha sido pionero y uno de los principales impulsores.

El sector del olivar entra en estos momentos en una nueva etapa, una vez despejadas de la manera más favorable para Andalucía las incertidumbres que suscitó la reforma de la Organización Común de Mercado. Una nueva etapa en la que, una vez consolidado el liderazgo andaluz en la producción y en la tecnología productiva, gracias en gran medida al trabajo y la dedicación de personas como Miguel Pastor, debemos ser capaces ahora de avanzar de la misma manera en la comercialización de nuestro producto estrella, convirtiendo nuestro liderazgo productivo en un liderazgo comercial en los mercados mundiales.

Mi más sincera enhorabuena y felicitación a Miguel Pastor por haber sido capaz de trasladar al papel el enorme trabajo y saber acumulado durante tantos años de investigación, experimentación y transferencia de tecnología, siempre en estrecho contacto con la realidad del sector y con sus protagonistas, los olivicultores andaluces.

Isaías Pérez Saldaña
Consejero de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía

PRÓLOGO

El olivar, cuyo cultivo ha venido evolucionando tan lentamente a lo largo de los siglos, ha experimentado una verdadera revolución en las ultimas décadas. La fuerza motriz de este cambio ha sido la intensificación del sistema de producción, que ha tenido lugar, no sólo en las nuevas plantaciones fuera de la cuenca mediterránea, sino también en el corazón de la zona productora tradicional del aceite de oliva: Andalucía.

Entre los pilares en los que se ha fundamentado la intensificación del sistema de cultivo del olivar, se encuentra en lugar destacado, el riego. El olivo ha sido considerado tradicionalmente un árbol resistente a la sequía y de hecho, vegeta en condiciones muy limitantes de suministro de agua, confirmando dicha reputación en los suelos marginales y las áreas más secas de clima mediterráneo, que no admitirían ningún otro cultivo. Por tanto, el cultivo del olivo ha sido tradicionalmente de secano salvo en el caso de la producción de aceituna de mesa, donde los amplios marcos de plantación y la intensa poda hacía que los requerimientos de riego fuesen muy escasos. Sin embargo, cuando se empezaron a regar las nuevas plantaciones intensivas, se descubrió que la respuesta al riego era espectacular, tanto por el incremento de la producción que producían pequeñas cantidades de agua aplicada, como por la reducción de uno de los problemas tradicionales de la producción olivarera como es el de la vecería. De hecho, cuando se dispone de suficiente agua para que el olivo en ningún momento se vea limitado por el suministro hídrico, la producción puede multiplicar muchas veces a la que se obtenía tradicionalmente en secano. La actual problemática del agua demanda que la agricultura de riego, principal consumidor del recurso hídrico, haga un esfuerzo por racionalizar su uso, para lo cual se precisa información sobre como manejar este recurso escaso.

Como sucede habitualmente en los avances de la agricultura, la eliminación de un factor limitante no produce, por sí solo, el progreso esperado. Es necesario además modificar otros componentes del sistema agrícola para optimizar los resultados. En este caso, en la transformación de un olivar de secano a riego o en la implantación de un nuevo olivar, debe modificarse el tamaño de la copa de los árboles e incorporarse un programa de fertilización, como dos requisitos indispensables para optimizar el agua de riego aplicada. En las nuevas plantaciones debe disminuirse el marco de plantación para alcanzar un porcentaje de cobertura del terreno elevado, si bien compatible con la mecanización de la plantación. En las plantaciones tradicionales, debe modificarse profundamente el sistema de poda para conseguir que las copas de los árboles alcancen el volumen necesario para permitir que se exprese el nuevo potencial productivo. Para poder ofrecer soluciones concretas que plasmen estas ideas, es imperativo realizar una

investigación que identifique el problema, busque soluciones generalizables y ofrezca resultados que puedan ser difundidos entre los usuarios.

No es casualidad que el autor de esta obra, el Dr. Miguel Pastor Muñoz-Cobo, haya trabajado desde sus inicios en todos los frentes que han llevado a la intensificación de este cultivo, por el que pocos apostaban no hace más de 20 años. Con un entusiasmo proverbial y una dedicación sin límites, Miguel Pastor ha desarrollado nuevos conocimientos mediante la investigación y la experimentación, los ha transmitido y ha conseguido que se adopten técnicas de forma generalizada entre una mayoría de agricultores, no solo de Andalucía sino de muchas otras regiones olivareras. Miguel Pastor ha tenido un impacto considerable en la intensificación del cultivo porque ha sido un pionero de la I + D del olivar con una vocación práctica indudable.

Este libro resume mucha de la amplia experiencia que ha adquirido Miguel Pastor en sus trabajos de experimentación en este cultivo. Esta obra tiene la virtud de dar una panorámica muy completa del riego del olivar, tanto desde el punto de vista de la ingeniería como de la agronomía, y permite responder a cualquier pregunta sobre el cultivo del olivar en regadío. En el libro, como es de rigor se exponen temas conexos, como el mantenimiento del suelo, la fertirrigación, la poda y la problemática fitosanitaria, todos ellos necesarios para cumplir los objetivos de intensificar la producción del olivar de una forma sostenible mediante el regadío.

En definitiva, creo que todos debemos agradecer el enorme esfuerzo que ha realizado Miguel Pastor y felicitarnos porque haya culminado en la producción de esta obra tan personal que debe guiar el uso racional del agua en el cultivo del olivar. Estoy seguro del éxito y de la oportunidad de esta publicación y auguro que tendrá una difusión y un uso muy notable entre técnicos y agricultores.

Elías Fereres Castiel

PRÓLOGO DEL EDITOR

Durante casi treinta años he tenido la fortuna de poder desempeñar un diverso papel en la olivicultura andaluza: como olivarero; como ingeniero agrónomo; como investigador y técnico, en un principio en el INIA (Ministerio de Agricultura), y después, tras las transferencias, en la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía; como coordinador durante varios de un Servicio de Asesoramiento a Regantes de Olivar; y finalmente como presidente de una Comunidad de Regantes a la que pertenecen más de 50 propietarios olivareros.

Poder ver, simultáneamente, las cosas desde dentro y desde fuera del escenario es siempre una gran experiencia, tanto técnica como humana. Desde el principio he sido actor y espectador de excepción del desarrollo de los regadíos de olivar de Jaén, de las dificultades administrativas para lograr las concesiones de agua, de lo complicado que resultan las luchas de intereses y unificar criterios entre ingenieros proyectistas, empresas de montaje y los propios agricultores (muy pequeños, pequeños, medianos y grandes), y finalmente, y una vez concluidas las obras de transformación en regadío, la puesta en marcha de las instalaciones y también la aplicación en el día a día de los riegos y la fertirrigación.

En mi trabajo al servicio de la administración autonómica he tratado en los últimos quince años de desarrollar la tecnología del riego por goteo en olivar porque lo necesitaba el sector, y con la información generada por los trabajos de investigación y experimentación realizados, hemos puesto en funcionamiento un Servicio de Asesoramiento a los Regantes, de modo que de una forma no sesgada se hiciese una inmediata transferencia de los últimos conocimientos científicos y técnicos a los olivareros.

Aunque parezca milagroso, todo ha acabado funcionando de forma aceptable, y la inversión privada y los esfuerzos de los olivareros ha dado lugar a uno de los mejores ejemplos de desarrollo rural en Andalucía, desarrollo que en gran parte ha relanzado la economía y ha cambiado la faz de los pueblos de las comarcas olivareras transformadas en regadío, habiendo evitado, posiblemente, una nueva emigración masiva de habitantes de la zona tras la grave sequía del primer quinquenio de los años noventa.

Con este libro he querido recoger toda mi experiencia como técnico e investigador en temas relacionados con el riego del olivar, y también como olivarero. Es un libro que llevaba varios años deseando escribir, pero que la pereza y la absoluta falta de tiempo por el exceso de trabajo, hasta ahora lo habían impedido.

Una grave enfermedad, operaciones, mi estancia y continuadas visitas a hospitales, y finalmente mi afortunado proceso de recuperación, me han permitido dedicar el primer año de mi recién estrenada vida a leer, meditar, recordar y, finalmente a escribir este libro. Para ello he contado con la ayuda de un gran número de amigos, amigos que me han demostrado que de verdad lo son, todos ellos excelentes conocedores de las materias relacionadas con el riego en todos sus aspectos, que me han cedido su información, me han dado sus consejos, y además han corregido mis manuscritos, eso sí, con gran esfuerzo por mi parte para que lo hicieran dejando a un lado sus múltiples ocupaciones. A todos ellos, desde estas líneas, les quedo muy agradecido.

En los trabajos de investigación, que han permitido el desarrollo de una nueva metodología para la programación del riego de olivar, hemos colaborado siempre de forma ejemplar muchos investigadores: Paco Orgaz, Elías Fereres, Francisco Villalobos, Luca Testi, Joan Girona, Pepe Aguilar y Emilia Fernández Ondoño, y distintas instituciones: Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba del CSIC, Departamento de Suelos y Riegos del Instituto de Investigación y Formación Agroalimentaria y Pesquera, el Departamento de Edafología de la Universidad de Granada, la Universidad Internacional de Andalucía (Sede Antonio Machado de Baeza), la Oficina de Asesoramiento Agrícola de Caja Rural de Jaén, y el Área de Producción Frutícola del IRTA - Generalidad de Cataluña en temas relacionados con el riego deficitario controlado. En programación de la fertirrigación no quiero olvidar, por sus sabios consejos, a mis maestros Miguel Jiménez Montesinos y Marco Antonio Oltra de la Universidad de Orihuela, y como no a Carlos Cadahía. Antes de concluir estas líneas quiero citar a las personas de mi equipo, que han generado o contribuido a generar muchísima de la información contenida en este libro: Victorino, Javier, Juan Carlos, Juani y Puri, Lourdes, Josefina, Marcos, Antonio y Manolo.

Finalmente, y después de nuestra reciente transferencia a la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas, lo cual a muchos nos crea en estos momentos mucha incertidumbre, quiero pedir a nuestros jefes, responsables de nuestra futura trayectoria, que la investigación aplicada a la resolución de los problemas que en el día a día van surgiendo y la inmediata transferencia de los conocimientos generados al sector, debieran seguir siendo objetivo fundamental de nuestro Instituto durante los próximos años. La información presentada en este libro es una demostración de cómo puede actuarse cuando se crea un nuevo escenario, en este caso el olivar de regadío que afecta a muchas miles de hectáreas en una región, cuando no se cuenta con la información técnica necesaria para realizar una transferencia al sector con las suficientes garantías.

Miguel Pastor Muñoz-Cobo

ÍNDICE

Capítulo 1
ESTRUCTURA DEL REGADÍO DE OLIVAR EN ANDALUCÍA Y ORIGEN Y DISPONIBILIDAD AGUA PARA RIEGO

Capítulo 2
ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO DE OLIVAR

Capítulo 3
RELACIONES SUELO – AGUA - PLANTA

Capítulo 4
CICLO ANUAL DEL OLIVO Y SENSIBILIDAD AL DÉFICIT HÍDRICO 61

Capítulo 5
PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN PLANTACIONES DE OLIVAR. METODOLO- GUÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO EN EL OLIVAR REGADO POR GOTEO 83

Capítulo 6
RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO 139

Capítulo 7
INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE Y SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA EN EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN 165

Capítulo 8
CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. RIEGO CON AGUAS SALINAS 185

Capítulo 9
LA INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO. MATERIALES DE RIEGO. CALIDAD DE LOS MATERIALES 221

Capítulo 10
DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO 301

Capítulo 11
INSTALACIONES Y COSTES DE BOMBEO PARA EL RIEGO DE OLIVAR 347

Capítulo 12
TARIFAS ELÉCTRICAS 393

Capítulo 13
EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO 429

Capítulo 14
MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO 451

Capítulo 15
LOS NUTRIENTES Y EL OLIVAR 477
757
Capítulo 16
LA FERTILIZACIÓN EN EL OLIVAR DE RIEGO 505

Capítulo 17
LA FERTIRRIGACIÓN Y LOS FERTILIZANTES PARA LA FERTIRRIGACIÓN 547

Capítulo 18
FERTILIZACIÓN FOLIAR EN OLIVAR 577

Capítulo 19
MANTENIMIENTO DEL SUELO EN OLIVAR DE REGADÍO: MANEJO DEL SUELO Y LOS HERBICIDAS 589

Capítulo 20
PODA Y MANEJO DE PLANTACIONES DE OLIVAR EN REGADÍO 625

Capítulo 21
PROBLEMÁTICA FITOSANITARIA EN LA OLIVICULTURA DE REGADÍO 663

Capítulo 22
ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD FINANCIERA DE LAS TRANSFORMACIONES EN REGADIO 711

MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA 759

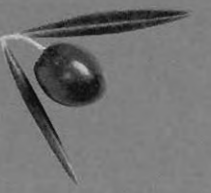
Índice general 773



CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DEL REGADÍO DE OLIVAR EN ANDALUCÍA Y ORIGEN Y DISPONIBILIDAD AGUA PARA RIEGO

José Martín Perez
Juán Carlos Rubio Campos
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- EL REGADÍO DE OLIVAR

2.- ORIGEN DEL AGUA PARA RIEGOS

3.- AGUAS SUBTERRÁNEAS

- 3.1.- Utilización de aguas subterráneas en Agricultura en Andalucía
- 3.2.- Evaluación de los recursos
- 3.3.- Calidad de las aguas subterráneas
- 3.4.- Recomendaciones generales para la explotación sostenible de las aguas subterráneas

Referencias bibliográficas

1.- EL REGADÍO DE OLIVAR

Según información suministrada por el Consejo Oleícola Internacional, en la actualidad el 15 % de la superficie mundial de olivar recibe aportaciones de agua, considerando el citado organismo que la tendencia a nivel mundial es a seguir incrementándose la superficie regada en los próximos años (Touzani, 2001).

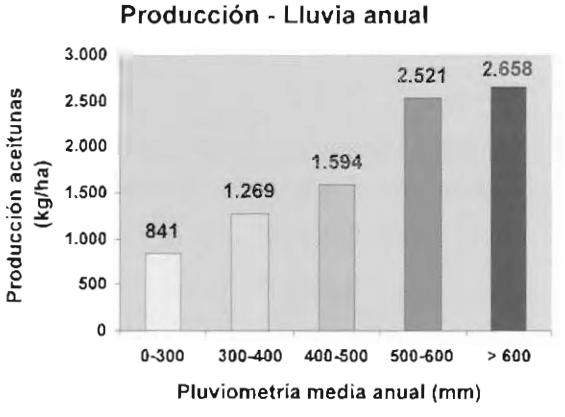


Figura 1.1: Producción media del olivar andaluz en función de la pluviometría media anual de la zona. (Fuente CAP, El Olivar Andaluz, 2003)

El cultivo del olivar tiene una gran importancia económica en España, y especialmente en Andalucía, región en la que se produce más del 70 % del aceite de oliva español. El olivar ha sido un cultivo tradicional de secano, aunque, tal como se muestra en la **figura 1.1**, su producción depende de la pluviometría media de la zona en la que se cultiva. El afán por conseguir una adecuada producción en su olivar y el intento de una regularización interanual de sus producciones es lo que ha movido al olivarero a transformar sus olivares en regadío. En la actualidad el olivar es ya el primer cultivo de regadío en esta región (**tabla 1.1**), con una superficie regada de **230.193 hectáreas** según el Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca – Junta de Andalucía, 2000). En una reciente publicación de la citada consejería (CAP, 2003) basada en el proceso de datos de las declaraciones de cultivo de los olivareros andaluces, esta cifra ya ascendía en la campaña 1998/99 a 259.343 has.

Tabla 1.1: Superficie regada de los diferentes cultivos en Andalucía

CULTIVOS	SUPERFICIE (has)
Extensivos de invierno	80.256
Extensivos de verano	202.746
Arroz	36.714
Olivar	230.193
Cítricos	57.097
Frutales subtropicales	14.729
Otros frutales	36.075
Intensivos aire libre	104.687
Invernaderos	30.276
Fresa	9.091
Otros	16.827
TOTAL	815.921

Teniendo en cuenta las cifras oficiales consultadas el **olivar regado** representa ya el 28 % de la superficie regada de Andalucía, y entre el 16 - 17,5 % de la superficie total de olivar (ver **figura 1.2**).

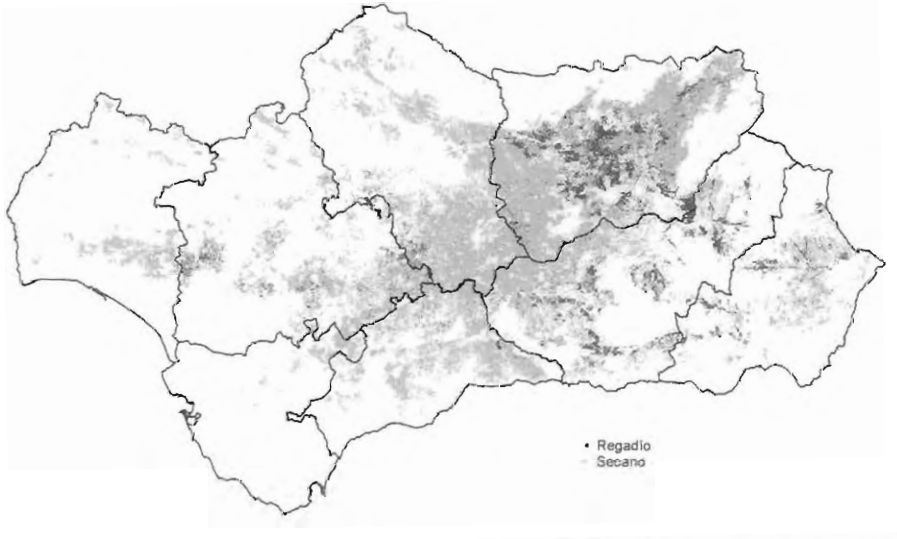


Figura 1.2: Mapa del olivar andaluz, en el que se muestra la superficie de secano y la de regadío (Fuente CAP, El Olivar Andaluz, 2003)

Según Consejería de Agricultura y Pesca – Junta de Andalucía (2000), el reparto provincial de la superficie de olivar de regadío en el año 2.000 era la que se muestra en la **tabla 1.2.**

Tabla 1.2: Reparto provincial de la superficie de olivar regado en Andalucía.

PROVINCIA	SUPERFICIE (has)
Almería	7.188
Cádiz	114
Córdoba	9.750
Granada	25.880
Huelva	872
Jaén	156.113
Málaga	4.687
Sevilla	25.590
TOTAL	230.193

Vemos como la provincia de Jaén es en la que el olivar en riego tiene la mayor importancia, con un 68 % de la superficie andaluza regada, pero el proceso de transformación en regadío no debemos de considerarlo como concluido, ya que en la actualidad continúan realizándose nuevos regadíos en esta provincia, estando en marcha algunas importantes obras de transformación, por lo que cuando se redactan estas líneas la superficie olivarera regada en Andalucía podría ya aproximarse a las 300.000 has..

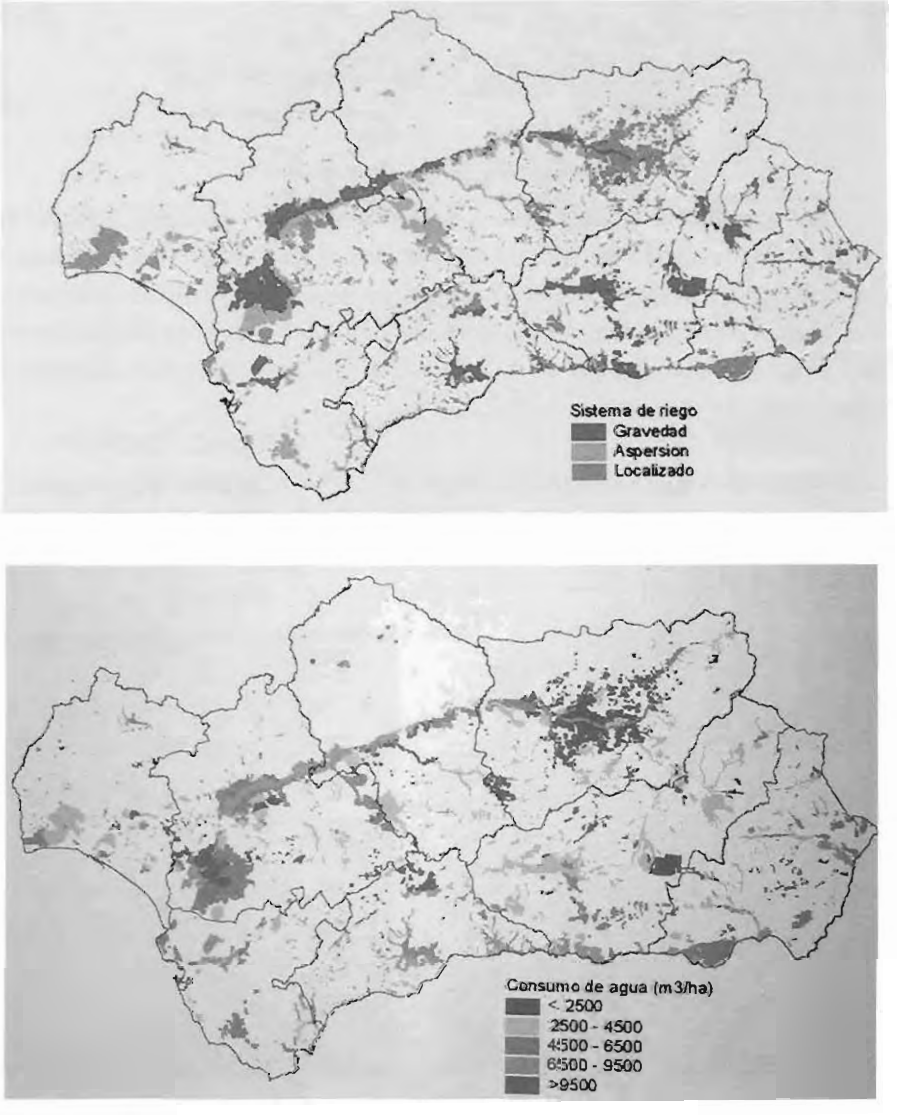
Si nos referimos al **origen del agua** de riego, el 5,5 % de la superficie se riega con aguas residuales de población, el 24 % emplea aguas subterráneas, y finalmente el 70,5 % riega con aguas superficiales.



Fotografía 1-1: Mucho ha cambiado el regadío del olivar en la última década. Desde los muy poco eficientes y clásicos riegos a pié desde los canales de riego, diseñados en los años 50, hasta los modernos sistemas de riego localizado que permiten unos significativos ahorros en el consumo de agua.

Con respecto a los **sistemas de riego** empleados, el 6 % del olivar riega a pie, el 7 % riega por aspersión, y la mayoría, el 87 %, emplea sistemas de riego localizado, fundamentalmente el goteo.

La **figura 1.3** muestra los **sistemas de regadío** empleados en Andalucía en los diferentes cultivos. Vemos que si exceptuamos los regadíos de litoral, especialmente dedicados a cultivos hortícolas intensivos, la gran mayoría del riego localizado de la región está implantado en el cultivo del olivo, lo que puede comprobarse por comparación de las **figuras 1.2** y **1.3**).



Figuras 1.3: Arriba mapa de los sistemas de riego empleados en la agricultura andaluza. Abajo, mapa de los consumos de agua de riego en la agricultura andaluza (Fuente: Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca – Junta de Andalucía, 2000).

Por otro lado el olivar es el cultivo que consume menor cantidad de agua por unidad de superficie, como lo prueba la comparación de las **figuras 1.2** y 1.3 (abajo). Vemos como las zonas olivareras se sitúan en el citado mapa con consumos de agua inferiores a 2.500 m^3/ha y año, aunque nuestra experiencia en olivar tradicional es que en años de pluviometría normal raramente se rebasan los 1.500 m^3/ha y año, cifra asignada por la C.H. del Guadalquivir en las concesiones administrativas. Los bajos consumos de agua se deben en parte a los altos costes de bombeo que soportan las explotaciones, lo que sin duda ayuda a racionalizar el uso del agua y a consumirla de un modo muy eficiente en este caso.

En Andalucía y en particular en la provincia de Jaén, el **tamaño medio de las explotaciones** es relativamente pequeño, unas 3,8 hectáreas (300 a 380 olivos por propietario), lo que obliga a la asociación de los olivareros en grandes comunidades de regantes. Así, el 63 % de la superficie de olivar regado de Jaén se **agrupa en Comunidades de Regantes**, en las que en buena armonía pequeños, medianos y grandes propietarios comparten inversiones, gastos e ilusiones. En la **figura 1.4** mostramos datos de la Comunidad de Regantes Relámpago en Torreperogil, comunidad que asocia a más de 300 propietarios y que riega más de 1.500 hectáreas, la gran mayoría de olivar tradicional. Vemos como el 83 % de los propietarios riegan menos de 500 olivos (3 a 5 hectáreas), y como solo el 3 % de los propietarios riega más de 50 hectáreas. Esta situación es bastante representativa de realidad de las comunidades de regantes de olivar de la provincia de Jaén.

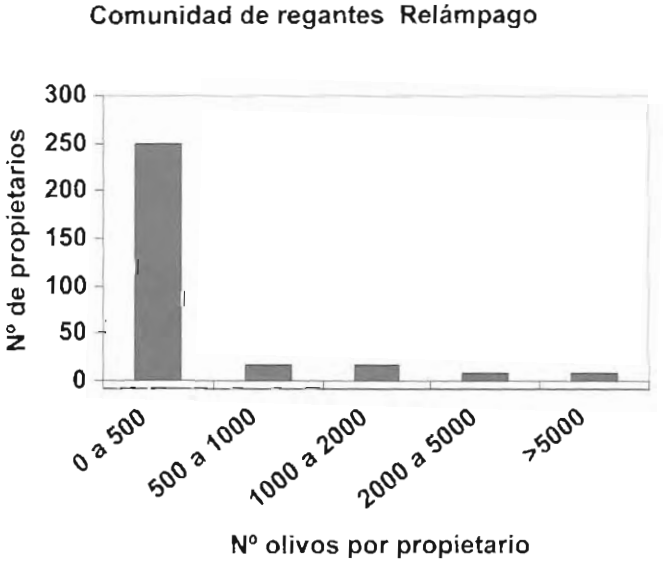


Figura 1.4: Estructura de la propiedad en la comunidad de regantes de Relámpago en Torreperogil (Jaén) en la que se riegan más de 1.500 has de olivar.

Cuando el agua se utiliza de forma racional, el olivar es capaz de rentabilizar el agua de riego más que cualquiera de los cultivos extensivos, permitiendo generar una gran cantidad de empleo (**30-35 jornales / ha**), y no solamente en épocas de recolección de las aceitunas, lo cual tiene una gran importancia en una región cuya economía depende en gran medida del cultivo del olivar, y cuya actividad económica ha resucitado en muchas comarcas tras las transformaciones en regadío. No olvidemos que cada euro de beneficio en el sector primario podría convertirse en dos euros para el conjunto de la economía andaluza.

Por otro lado, el olivar se encuentra en zonas relativamente **alejadas de los ríos** y con **importantes elevaciones geométricas** sobre ellos, por lo que el agua utilizada tiene un gran coste económico, lo que igualmente ocurre con las **aguas subterráneas**, muy profundas en la mayoría de los casos, que obligan a la realización de profundas y costosas obras de captación (pozos sondeo). Estas inversiones, a las que los olivareros han destinado una buena parte de sus ahorros, autofinanciando sus propias instalaciones de riego, deben ser amortizadas rápidamente, por lo que es necesario obtener la máxima producción, junto con unos razonables costes de cultivo.

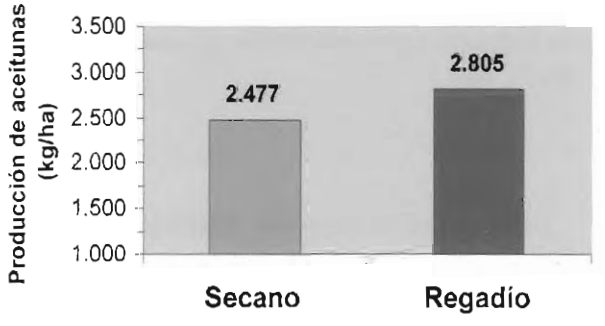


Figura 1.5: Producciones medias obtenidas en secano y regadío en el olivar andaluz (Fuente: CAP, El Olivar Andaluz, 2003)

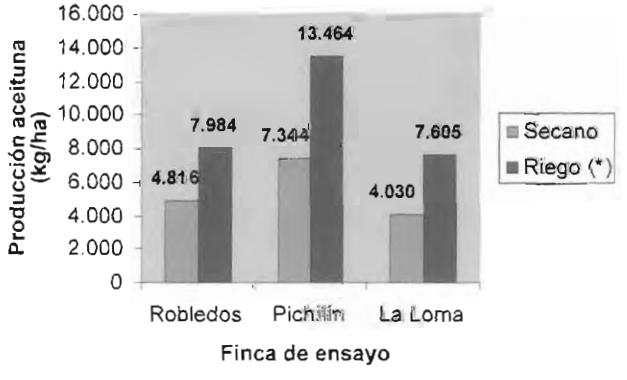


Figura 1.6: Producciones obtenidas en secano y regadío (*utilizando la dosis autorizada por C.H. del Guadalquivir), en ensayos realizados bajo supervisión oficial en la provincia de Jaén. Los datos mostrados representan la media de 7 años (Pastor *y col.*, 1999; Hidalgo *y col.*, datos no publicados).

Si tenemos en cuenta los datos de la **figura 1.5**, que muestra las producciones medias del olivar andaluz (CAP, 2003), donde se observan relativamente pequeños incrementos de producción en regadío con respecto al secano, y si también tenemos en cuenta los espectaculares aumentos de producción observados en regadío (**figura 1.6**) en los ensayos realizados bajo supervisión oficial (Pastor *y col.*, 1999; Pastor *y col.*, 2002), así como en comunidades de regantes piloto asesoradas por los Servicios de Asesoramiento al Regante incentivadas por la CAP, debemos pensar que las mejoras en el manejo del riego y de las técnicas de cultivo asociadas al regadío en el olivar regado es fundamental para obtener una adecuada productividad y rentabilidad del agua utilizada. Ello pone en evidencia las **urgentes necesidades de programas eficientes de transferencia de la tecnología del riego al sector.**

En la mayoría de los olivares transformados en regadío se han realizado unas instalaciones modernas y eficaces (ver **figura 1.3**) , pero este hecho contrasta con la poco eficiente utilización de las mismas por muchos de los olivareros y comunidades de regantes, no utilizándose en la mayoría de los casos una metodología correcta para la programación de los riegos, y aún menos de la fertirrigación. En el pasado más próximo, y en la mayoría de los casos, este hecho pudo en parte estar motivado por no disponerse de adecuados conocimientos sobre la tecnología del riego localizado, y también por no conocer *a priori* los olivareros cuando iban a poder disponer del agua de riego a lo largo de la campaña. En los últimos años la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir informa a las Asociaciones de Regantes con suficiente antelación, lo que permite conocer los calendarios de desembalse, así como las fechas en que podrá bombearse el agua. Ello facilita y facilitará enormemente la programación del riego en el futuro. Estas actitudes se ven favorecidas por la generalizada disciplina de los regantes en el cumplimiento de las normas establecidas por la C.H.G..

2.- ORIGEN DEL AGUA PARA RIEGOS

En Andalucía, igual que en otras regiones de clima mediterráneo, existe un marcado **déficit hídrico**, que en la cuenca del río Guadalquivir se ha evaluado en unos 500 hm^3. El citado río y sus afluentes es el principal abastecedor de agua de riego al olivar andaluz. Pero cuando comenzaron las transformaciones en regadío este agua ya estaba comprometida para otros usos y cultivos en la mayoría de los casos, por lo que el olivar, último cultivo en incorporarse cronológicamente al regadío, parece condenado a conformarse con regar en los momentos en los que existen aguas superficiales de escorrentía no reguladas, y/o aplicando los riegos de socorro que concede el Organismo Regulador de la Cuenca.



Fotografía 1.2: Teniendo en cuenta la irregular pluviometría interanual, los embalses son fundamentales para asegurar las dotaciones de agua necesarias para el regadío y abastecimientos en Andalucía. Embalse de La Fernandina (244 hm3) en la provincia de Jaén.

En el Guadalquivir el 23% de las precipitaciones totales se mueve superficialmente por nuestros ríos. De este modo la cantidad media de agua que circula por esta cuenca hidrográfica es de 8.601 hm^3 al año.

Los órdenes de magnitud de la realidad de los diferentes consumos del agua son aproximadamente los que se muestran en la figura 1.7.

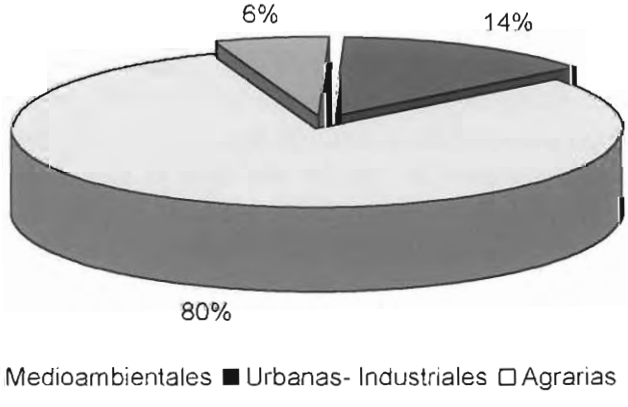
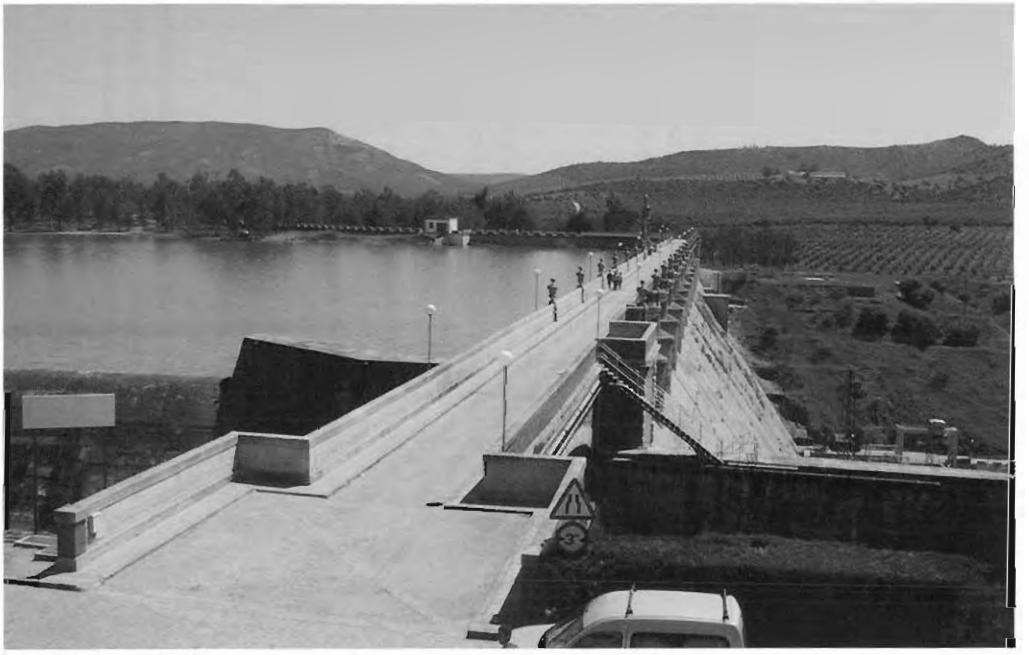


Figura 1.7: Destino sectorial del agua disponible en Andalucía.

La citada cuenca hidrográfica, como todas las situadas en regiones de clima mediterráneo, muestra irregularidades pluviométricas interanuales, lo que dificulta enormemente el manejo de la cuenca, a pesar de existir un importante número de infraestructuras de almacenamiento.

Sin embargo, estas infraestructuras parecen en la actualidad insuficientes para abastecer la demanda de los diferentes usos, ya que difícilmente sobrepasamos una capacidad de almacenamiento del 40% (unos 3.600 hm^3), sin llegar en ningún caso al 45% de los recursos hídricos de los ríos de la cuenca, por lo que una importante proporción de los recursos se vierten al mar.



Fotografía 1.3: Embalse del Guadalén (168 hm^3) en la provincia de Jaén. Detalles de la presa y en primer plano el aliviadero.

Otro de los problemas planteados es la dificultad de asegurar anualmente el suministro de agua a los cultivos, especialmente en los períodos de sequía, siendo numerosos los años en los que las dotaciones asignadas por hectárea son muy inferiores que las necesidades de los cultivos (Orgaz y Fereres, 2001). Esta eventualidad viene determinada por la irregularidad de las precipitaciones. La **figura 1.8** muestra las lluvias medias anuales de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo 1.969 – 1.999. Vemos que con relación a la precipitación media y tomando ésta como referencia, 18 de los 30 años considerados fueron secos o muy secos, y solo en 12 de ellos la precipitación considerada superó a la media del período. Un segundo factor a tener en cuenta es el desequilibrio regional de la pluviometría dentro de la

comunidad autónoma. De todos es sabido la diferencia entre las lluvias de nuestras sierras y las lluvias de nuestras campiñas y la existente entre las que se disfrutan en las vegas del Guadalquivir y en algunos de los afluentes por la margen izquierda, como puede ser el caso del Guadiana Menor. La relación de pluviometrías dentro del mismo año entre el primer caso y el último puede llegar a ser de cinco a uno.

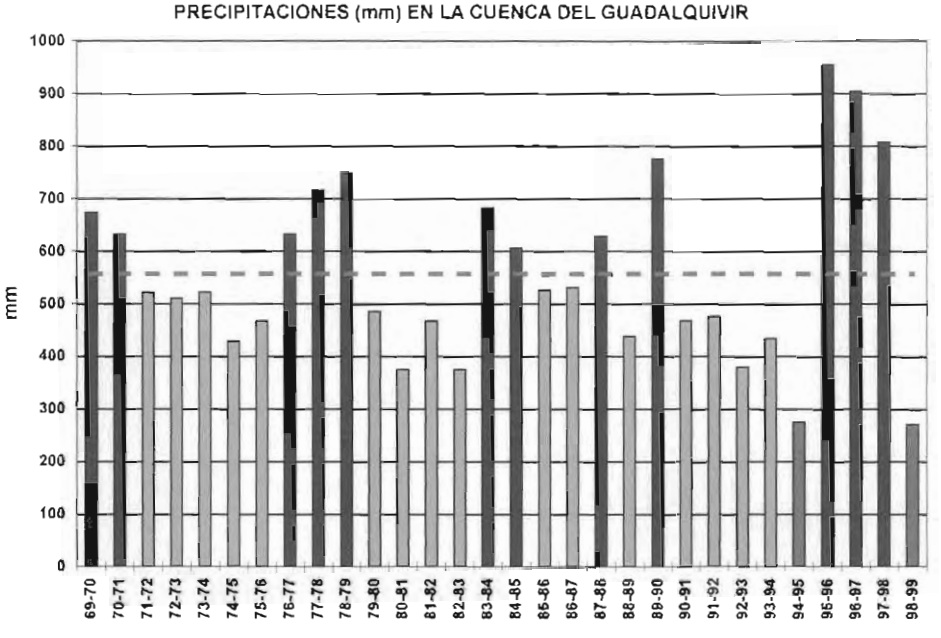


Figura 1.8: Precipitaciones anuales y precipitación media del periodo (línea de trazos discontínuos) de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo 1.969 – 1.999. (Fuente: CHG)

3.- AGUAS SUBTERRÁNEAS

3.1.- Utilización de aguas subterráneas en Agricultura en Andalucía

Las aguas subterráneas suministran agua a un 29% de la superficie regada en Andalucía, aunque esta utilización es muy diferente en las distintas provincias, desde el 11% en Jaén, al 77% en Huelva, con una utilización de unos 1.140 hm^3/año y una dotación estimada de 5.870 m^3/ha, aunque las dotaciones empleadas en olivar sean muy inferiores a esta cifra (inferiores en la mayoría de los casos a los 1.000 m^3/ha).



Fotografía 1.4: Una gran superficie de olivar se riega en Andalucía empleando aguas subterráneas. Máquina de perforación por rotopercusión ejecutando un sondeo.

Las estimaciones sobre el empleo de aguas subterránea en la agricultura y las extracciones se resumen en:

- Superficie de regadío con aguas subterráneas 197.000 ha.
- Extracción desde los acuíferos 1.140 hm^3/año,

3.2.- Evaluación de los recursos

Existe igualmente la posibilidad de aumentar las disponibilidades de agua en la cuenca del Guadalquivir mediante la explotación de los **recursos subterráneos.** Andalucía presenta una

extensión de 85.701 km². La extensión de los acuíferos comprende 21.250 Km² (25% del total de la Comunidad Autónoma) lo que supone la presencia de 3.800 millones de metros cúbicos en forma de recursos renovables, con independencia de las reservas subterráneas que son muy superiores.

Estos recursos se encuentran almacenados en 158 Unidades Hidrogeológicas repartidas en unos 200 acuíferos.

Frente a estos recursos disponibles, la explotación para el total de usos podría alcanzar un techo máximo de 1.000 hm³, inferior a las extracciones que la Consejería de Agricultura estimaba en año 2.000.

La precipitación anual sobre la región Andaluza se estima en 54.000 hm³/año y la descarga fluvial es del orden de 8.000 a 9.000 hm³/año, menos de la quinta parte. Esta baja escorrentía superficial viene condicionada por circunstancias de clima, relieve y tipo de terreno. La cuenca presenta 130 embalses, 70 de los cuales deben considerarse como de gran entidad, con una capacidad de regulación del orden de 3.600 hm³/año, tal como se dijo anteriormente.



Fotografía 1.5: Una vez ejecutado un sondeo el siguiente paso es la realización de un aforo, bombeándose al menos durante 72 horas. De este aforo, realizado por una empresa cualificada, se obtendrán datos como el caudal que suministra el pozo y el nivel dinámico al que suministra dicho caudal, datos fundamentales a la hora de diseñar posteriormente el bombeo. Aforo de aguas termales en el acuífero Carbonatado de la Loma en la provincia de Jaén.

Aproximadamente un tercio del caudal descargado por los ríos proviene de los aportes subterráneos de los acuíferos. En una situación en la que el emplazamiento de posibles nuevos embalses está, desde el punto de vista social y económico, en los límites de las posibilidades, podría parecer oportuno aumentar parte de la **regulación adicional de una forma eficiente, utilizando métodos de explotación de las aguas subterráneas, así como los grandes embalses subterráneos.**

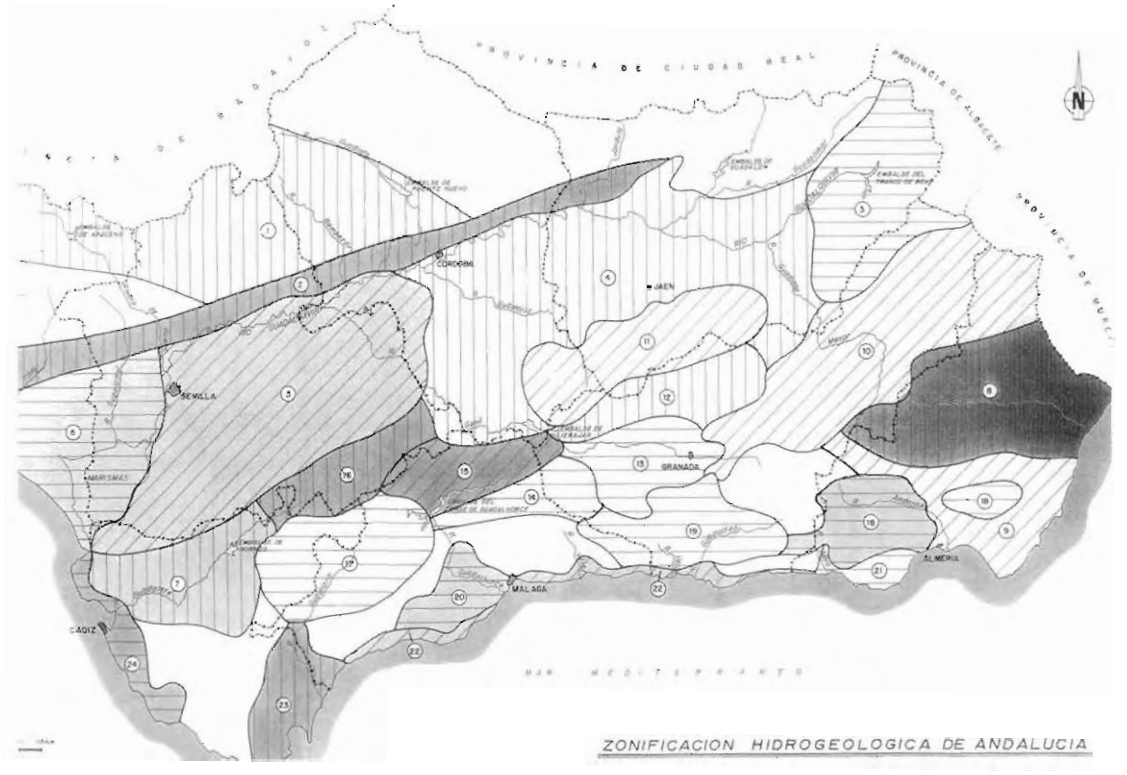


Figura 1.9: Zonificación hidrológica de Andalucía: Meseta (zonas hidrogeológicas 1 y 2), Alto Guadalquivir (zona hidrogeológica 3), Depresión del Guadalquivir (zonas hidrogeológicas 4, 5, 6 y 7), Sierras y Depresiones Internas (zonas hidrogeológicas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17), Cadenas Prelitorales (zonas hidrogeológicas 18, 19 y 20), Litoral Mediterráneo (zonas hidrogeológicas 21, 22 y 23) y Litoral Atlántico (zonas hidrogeológicas 24 y 25). Fuente I.G.M.E.

La explotación racional de los recursos hídricos, bien mediante embalses para el caso de las aguas superficiales, bien mediante obras de captación del recurso subterráneo (sondeos, pozos o galerías), se impone, entendiendo esta **explotación sostenible en sentido amplio** incluyendo:

a) operaciones conjuntas de **recarga artificial en acuíferos** que presenten en las proximidades excedentes de agua superficial (lo que permite la disponibilidad de recursos muy superiores a la recarga anual renovable de los acuíferos),

b) recarga inducida de acuíferos conectados a través de la explotación de acuíferos conectados a la red fluvial, permitiendo la utilización de recursos superficiales utilizando el acuífero como intermediario.

Geográficamente, los distintos acuíferos se pueden agrupar formando 25 zonas hidrogeológicas que a su vez se han reunido en siete grandes conjuntos, cuyas características más destacadas (figura 1.9) son las siguientes:



Fotografía 1.6: Máquina de perforación por rotación que es capaz de realizar sondeos de gran diámetro a profundidades de 40-50 metros.

La Meseta (ver figura 1.9): Los sistemas acuíferos que incluye presentan en conjunto una recarga natural media anual superior a los 100 hm^3. La explotación actual es del orden de los 40 hm^3/año y se centra en los acuíferos del borde de la Meseta Castellana. Debido a la disposición relativa de los mismos, la explotación de las aguas subterráneas debe orientarse a la resolución de las numerosas demandas puntuales.

Zona	MESETA	Recarga natural media (hm^3/año)	Explotación (hm^3/año)
1	Acuíferos carbonatados en Sierra Morena	63	10
2	Acuíferos en el borde de la Meseta	50	30
	Total	113	40

*Alto Guadalquivir*_(ver **figura 1.9**): Incluye una única zona hidrogeológica, prácticamente sin explotar, con una **recarga natural media anual** del orden de **500 hm^3**.

Zona	ALTO GUADALQUIVIR	Recarga natural media (hm^3/año)	Explotación (hm^3/año)
3	Acuíferos del Alto Guadalquivir	505	1
	Total	505	1

Depresión del Guadalquivir (ver **figura 1.9**): Se han agrupado cuatro zonas hidrogeológicas, con una **recarga natural media anual del orden de 740 hm^3** y una **explotación actual próxima a los 200 hm^3/año**. Dentro de este conjunto se encuentra el importante acuífero de Almonte-Marismas, donde las aguas (superficiales y subterráneas) presentan un gran interés para la ecología del Parque Nacional de Doñana. En general, en esta zona, puede incrementarse la explotación de las aguas subterráneas en todos los acuíferos.

Zona	DEPRESIÓN Guadalquivir	Recarga natural media (hm^3/año)	Explotación (hm^3/año)
4	Acuíferos en la Campiña de Córdoba y Jaén	64	5
5	Acuíferos en la Campiña y Vega de Sevilla	347	100
6	Acuíferos en el Condado-Aljarafe-Marismas	285	68
7	Acuíferos en la Campiña gaditana	43	20
	Total	739	193

Sierras y depresiones internas (ver **figura 1.9**): Agrupa diez zonas hidrogeológicas, con una **recarga natural media total del orden de los 1.500 hm^3** anuales y una **explotación actual superior a los 300 hm^3 al año.** Algunos sistemas se encuentran sobreexplotados o al límite de explotación, tales como los incluidos en las zonas denominadas "Sierras y depresiones del NE

de Almería", "Depresiones y llanuras del SE de Almería" y "Acuíferos de la zona de Antequera". Gran parte de los recursos restantes se generan en zonas montañosas, por lo que la utilización de los mismos podría orientarse hacia la regulación de los ríos correspondientes, empleándose las aguas alumbradas en zonas más bajas. Se incluyen en este grupo los **acuíferos de la depresión de Granada**, con una **recarga** natural media anual del orden de **280 hm³** y una **explotación actual** del orden de **40 hm³ al año**; es claro que en esta zona podrían emplearse los excedentes en incrementar los regadíos existentes.

Zona	SIERRA Y DEPRESIONES INTERNAS	Recarga natural media (hm³/año)	Explotación hm³/año)
8	Acuíferos en las sierras y depresiones del noreste de Almería	50	66
9	Acuíferos en las depresiones y llanuras del sureste de Almería	50	62
10	Acuíferos en las depresiones intramontañosas y sierras asociadas del sector Padul-La Puebla de Don Fadrique	252	30
11	Acuíferos en la sierra sur de Córdoba y Jaén	248	20
12	Acuíferos en el borde norte de la depresión de Granada	87	9
13	Acuíferos en la depresión de Granada	280	39
14	Acuíferos en las sierras del Torcal y Gorda	156	11
15	Acuíferos en la zona de Antequera	73	45
16	Acuíferos en la sierra sur de Sevilla	17	10
17	Acuíferos en las sierras de Ronda y Grazalema	310	12
	Total	1.523	304

Cadenas prelitorales (ver figura 1.9): Incluye tres zonas que presentan una recarga natural media, conjunta, próxima a los 550 hm³ anuales y una explotación actual de las aguas subterráneas próxima a los 210 hm³/año. Los acuíferos de Sierra de Gádor y Sierra Alhamilla se encuentran sobreexplotados y los del bajo Guadalhorce al límite de explotación. Por el contrario, los acuíferos de la Sierra de Almijara y borde sur de Sierra Nevada, con una recarga de 295 hm³/año, están prácticamente sin explotar.

Zona	CADENAS PRELITORALES	Recarga natural media (hm³/año)	Explotación hm³/año)
18	Acuíferos en la Sierra de Gádor y Sierra Alhamilla (incluidos acuíferos inferiores)	108	120
19	Acuíferos en la Sierra de Almijara y borde sur de Sierra Nevada	295	5
20	Acuíferos en el Bajo Guadalhorce y Sierra Blanca-Sierra de Mijas	150	87
	Total	553	212

Litoral mediterráneo (ver figura 1.9): Incluye tres zonas hidrogeológicas con una recarga natural media anual del orden de 240 hm^3 y una explotación actual equivalente a 167 hm^3 al año. Los acuíferos del Campo de Dalías, en Almería, se consideran sobreexplotados. En los acuíferos costeros de Granada y Málaga podría aumentarse sensiblemente la explotación, salvo en el aluvial de algunos ríos, en los que las extracciones actuales superan a los recursos.

Zona	LITORAL MEDITERRÁNEO	Recarga natural media (hm^3/año)	Explotación (hm^3/año)
21	Acuíferos en el Campo de Dalías (excluidos acuíferos inferiores)	24	60
22	Acuíferos costeros de Granada y Málaga	175	100
23	Acuíferos en el Campo de Gibraltar	40	7
	Total	239	167

Litoral atlántico (ver figura 1.9): Incluye los acuíferos costeros de Cádiz y los del litoral occidental de Huelva. Presentan una recarga natural media anual del orden de 170 hm^3 y una explotación actual algo inferior a los 100 hm^3 al año. Son acuíferos muy explotados, con algún problema grave de sobreexplotación, como en el caso de Rota-Sanlúcar-Chipiona y algún área de los acuíferos del litoral de Huelva (Lepe-La Redondela-Cartaya).

Zona	LITORAL ATLÁNTICO	Recarga natural media (hm^3/año)	Explotación (hm^3/año)
24	Acuíferos costeros de la provincia de Cádiz	79	58
25	Acuíferos en el litoral de Huelva, entre Huelva y Portugal	90	37
	Total	169	95

3.3.- Calidad de las aguas subterráneas

En líneas generales los acuíferos carbonatados de Andalucía presentan en general agua de buena calidad química natural, con una salinidad agronómica aceptable desde el punto de vista del cultivo del olivo. Las facies de estas son bicarbonatadas cálcicas, magnésicas o ambas, con mineralizaciones de ligeras a notables y conductividades medias entre 0,3 y 0,9 dS/m, predominando aguas de dureza media (200 - 300 mg/l $CaCO_3$).

Ocasionalmente, a consecuencia del substrato impermeable triásico de margas y yesos, estas aguas ven incrementada su dureza y mineralización cambiando a facies sulfatadas e incluso cloruradas.

Las aguas de **formaciones detríticas** tienen una composición variable, pero de **mayor mineralización** frente a las **calcáreas**. Las facies son variables, desde bicarbonatadas cálcico-magnésicas en áreas internas a cloruradas sódicas en las áreas costeras. La mineralización es notable, con **conductividades de 0,6 – 0,9 dS/m y durezas medias a duras** (300-400 mg/l $CaCO_3$) en el caso de aguas bicarbonatadas. Para las sulfatadas y cloruradas las conductividades son superiores a **1,0 dS/m** y la dureza de dura a muy dura (500-700 mg/l de Ca CO_3).

La intrusión marina provoca **incrementos importantes de la salinidad** y da lugar a **aguas muy duras y conductividades** de 3 – 4 dS/m pudiendo llegar a 10 dS/m en algunos casos.

3.4.- Recomendaciones generales para la explotación sostenible de las aguas subterráneas

Sería muy recomendable que se aumentaran los esfuerzos de los organismos estatales y autonómicos para la necesaria planificación, correcta aplicación y debida protección de este recurso de importancia vital.

Para satisfacer las demandas de agua con máxima garantía en la disponibilidad del recurso, tanto en cantidad como en calidad, parece oportuna la **integración de las aguas subterráneas en los grandes sistemas de gestión de recursos hídricos**, bien sea para **regadío, abastecimiento, industria** o para el **mantenimiento de ecosistemas** como parte inseparable del ciclo hídrico, junto a las aguas superficiales.

Debe plantearse un control riguroso de la evolución de:

- la piezometría,
- la calidad del agua
- la cuantía de las extracciones,

contemplándose la mejora de su situación mediante **recarga artificial**.

Es totalmente necesaria la **vigilancia** de los acuíferos y el mantenimiento de bases de datos en relación con la evolución de niveles acuíferos, quimismo, procesos contaminantes, drenajes naturales, etc.

En la captación de las aguas subterráneas es preciso que se cumplan una serie de condiciones de modo que se pueda garantizar en el tiempo la cantidad, regularidad caudales y calidad suficientes.

Referencias bibliográficas

Consejería de Agricultura y Pesca. 2000. Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía. Ed. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Junta de Andalucía

Consejería de Agricultura y Pesca. 2003. El olivar andaluz. Servicio de Publicaciones y Divulgación. CAP. Junta de Andalucía.

López Geta, J.A., Rubio Campos, J.C., González Ramón, A., 1997. Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén. Ed. Diputación Provincial de Jaén - Instituto Tecnológico Geominero de España.

Martín Pérez, J., 2001. Perspectivas del Regadío de olivar en Andalucía. Mercacei, 27: 268-278.

Orgaz, F., Fereres, E., 2001. Riego. En: *El cultivo del olivo,* 4ª ed., D. Barranco, R., Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). 724 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Pastor, M.; Castro, J.; Mariscal, M.J.; Vega, V.; Orgaz, F.; Fereres, E.; Hidalgo, J., 1999. Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Investigación *Agraria: Producción Vegetal* 14(3):393-404.

Pastor, M.; Hidalgo, J., Orgaz, F., Moriana, A., Fereres, E., 2002. Riego de olivar: estudio de la respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. Actas de I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva. Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología- INIA. Madrid , 53-61.

Rubio Campos, J.C., 2001. Recursos de Aguas Subterráneas en Andalucía. Mercacei, 27: 289-294.

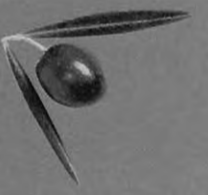
Touzani, A., 2001. La coltivazione dell' olivo e il ruolo dell'irrigazione in olivicoltura. Actas del Corso Internazionale di Agiornamento Técnico Científico. Gestione dell'acqua e del territorio per un olivicoltura sostenibile. Ed.COI – CNR Istituto Irrigazione. 52-59.



CAPÍTULO 2

ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO DE OLIVAR

María Dolores Arjona Carpintero





1.- ANTECEDENTES

2.- NORMATIVA LEGAL

3.- LOS ÓRGANOS GESTORES DE LAS AGUAS EN ANDALUCÍA

4.- ORGANIZACIÓN DE UNA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA

5.- LEGALIZACIÓN DE APROVECHAMIENTOS
- 5.1.- Procedimiento de concesiones
- 5.2.- Dotaciones

6.- INNOVACIONES DEL TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

7.- RÉGIMEN SANCIONADOR DE LA LEY DE AGUAS

1.- ANTECEDENTES

La asignación, coste y distribución del agua en nuestro país ha alcanzado su punto culminante a raíz de la larga sequía del periodo de 1.992 a 1.995.

El riego del olivar es, en la actualidad, el cultivo de la Cuenca del Guadalquivir que mayor rentabilidad social y económica obtiene del agua.

No debemos olvidar que el agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para la mayoría de las actividades económicas. Asimismo el agua constituye un recurso unitario, que se renueva a través del ciclo hidrológico.

No cabe distinguir entre aguas superficiales y subterráneas. Unas y otras se encuentran relacionadas, presentan una identidad de naturaleza y función y, en su conjunto, deben estar subordinadas al interés general y puestas al servicio de los ciudadanos, no solo en la cantidad necesaria, sino también en la calidad precisa.

2.- NORMATIVA LEGAL

El Real Decreto legislativo 1 / 2.001, de 20 de Julio, aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, donde se refunde y articula la normativa legal existente en materia de aguas.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas, entró en vigor el día siguiente de su publicación en el B.O:E. (25 de Julio de 2.001).

El objeto de esta Ley es regular el Dominio Público Hidráulico, el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho Dominio en el marco de las competencias delimitadas en el art. 149 de la Constitución.

3.- LOS ÓRGANOS GESTORES DE LAS AGUAS EN ANDALUCÍA

Los órganos gestores de las aguas, subterráneas y superficiales, son las **Confederaciones Hidrográficas.**

En Andalucía son cuatro las Confederaciones que gestionan el agua en su territorio:

- **Confederación Hidrográfica del Guadalquivir**, gestiona la cuenca del Guadalquivir y sus afluentes y las cuencas de los ríos Guadalete, Barbate y Almodovar.

  Comprende las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla completas, gran parte de Granada, mas de media provincia de Cádiz y pequeñas zonas de Huelva, Málaga, Almería, Ciudad Real, Albacete y Badajoz. Tiene su sede en Sevilla y delegaciones en Jaén, Córdoba, Granada y Jerez de la Frontera.

- **Confederación Hidrográfica del Sur**, gestiona los ríos andaluces que desembocan directamente en el Mediterráneo desde el Guadarranque (Algeciras – Cádiz) hasta Almería. Las provincias de Málaga y Almería casi en su totalidad están incluidas en esta Confederación, además de la parte costera de Granada y la parte oriental de la provincia de Cádiz. Tiene sus oficinas centrales en Málaga y cuenta con delegaciones en Almería y Granada.

- **Confederación Hidrográfica del Guadiana**, se ocupa de gran parte de la provincia de Huelva, incluyendo las cuencas de los ríos Tinto, Odiel y Piedras, tiene sus oficinas en Huelva.

- **Confederacion Hidrográfica del Segura**, se ocupa una pequeña parte de la provincia de Jaén, tiene sus oficinas en Murcia.

4.- ORGANIZACIÓN DE UNA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA

La Junta de Gobierno es el máximo órgano rector, cuya presidencia la ostenta el Presidente de la Confederación y en la que figuran diferentes representantes de los distintos departamentos de la Administración Central y Autonómica, implicados en la gestión del recurso, así como de la Administración Local y, además, los usuarios del agua.

La Asamblea de Usuarios, la Comisión de Desembalses, las Juntas de Explotación y las Juntas de Obras son los órganos de gestión encargados de coordinar la explotación de las obras hidráulicas y de los recursos del agua.

El Consejo del Agua de la Cuenca es el órgano de planificación, entre cuyas funciones están la elaboración del Plan Hidrológico de la Cuenca y la ordenación, explotación y tutela del Dominio Público Hidráulico.

La Confederación, encabezada por el Presidente, que ejerce la superior función directiva y ejecutiva, está compuesta por:

- **La Dirección Técnica,** cuyas competencias son el estudio, construcción, inspección y explotación de las obras y aprovechamientos financiados con fondos de la Confederación Hidrográfica, o que encomienden a ésta el Estado, las Comunidades Autónomas, las Corporaciones Locales y otras entidades públicas o privadas.

- **La comisaría de Aguas,** vela por los aprovechamientos hidráulicos en su autorización, inspección u vigilancia, guardería fluvial y registro de los mismos, así como en la constitución de comunidades, etc. Es competente en todas las materias relativas al régimen de aguas continentales y subterráneas y control de vertidos.

- **La Secretaría General,** que le corresponde la gestión de los asuntos relativos al funcionamiento de los órganos de gobierno, así como las misiones propias del funcionamiento interno del Organismo (gestión presupuestaria, actuación administrativa, actuación patrimonial, informática, asesoría jurídica)

- **La Oficina de Planificación Hidrológica,** que le corresponde la recopilación y, en su caso, la realización de los trabajos y estudios necesarios para la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de la cuenca, de acuerdo con la Ley de Aguas. Informar de la compatibilidad con el Plan Hidrológico de cuenca de las actuaciones propuestas por los usuarios. La redacción de los Planes de ordenación de las extracciones en acuíferos declarados sobreexplotados o en riesgo de estarlo y de aquellos otros en proceso de salinización.

5.- LEGALIZACIÓN DE APROVECHAMIENTOS

El derecho al uso privativo de aguas que son de dominio público solo se puede adquirir:

- Por disposición legal.
- Por concesión administrativa.

Todas las concesiones son temporales y no garantizan que los caudales concedidos estén disponibles siempre.

El otorgamiento de una concesión es un poder discrecional del Estado, es decir no esta obligado a dar la concesión, aunque la resolución ha de justificar la negativa y proteger el interés público.

Una concesión no es inamovible, sino que puede ser revisada, puede caducar y estar sujeta a expropiación forzosa.

Hay un **orden de preferencia**, tanto para **otorgar concesiones** como para la **expropiación** forzosa a favor de otro uso o aprovechamiento. Su orden lo establece el Plan Hidrológico de Cuenca:

1: Abastecimiento de población, incluyendo industrias de poco consumo, conectadas a la red municipal.
2: Regadíos y usos agrarios
3: Usos industriales para producción de energía eléctrica.
4: Otros usos industriales.
5: Agricultura
6: Usos recreativos.
7: Navegación y transporte acuático.
8: Otros aprovechamientos.

5.1.- Procedimiento de concesiones

El procedimiento ordinario de otorgamiento de concesiones se ajustará a los principios de **publicidad y tramitación en competencia,** prefiriéndose, en igualdad de condiciones, aquellos que proyecten la más racional utilización del agua y una mejor protección del entorno.

En el caso de concesiones y autorizaciones en materia de regadíos y otros usos agrarios, será preceptivo un informe de la correspondiente Comunidad Autónoma y del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en relación con las materias propias de su competencia, y en especial respecto a su posible afección a los planes de actuación existentes.

Los usuarios del agua y otros bienes del dominio público hidráulico de una misma toma o concesión deberán constituirse en **comunidad de usuarios**. Cuando el destino dado a las aguas fuese principalmente el riego, se denominarán comunidades de regantes.

Quien desee obtener una **concesión** deberá:

1º.- Presentar una **Instancia al Organismo**:
- Peticionario
- Destino del aprovechamiento

¬ Canales
¬ Corriente de donde se va a derivar las aguas
¬ Término Municipal

2º.- El Organismo de Cuenca redactará el anuncio de Publicación en los Boletines Oficiales (Competencia de Proyectos)

3º.- La **instancia** se acompañará:

¬ **Proyecto** por cuadruplicado suscrito por técnico competente
¬ Documentos públicos fehacientes que acrediten la propiedad

4º.- **Compatibilidad** previa con el Plan Hidrológico de Cuenca.

5º.- **Información Pública** en boletines oficiales y Ayuntamientos afectados

6º.- Simultáneamente con la Información Pública, se remitirá el expediente al **Comunidad Autónoma** para que manifieste en el plazo de 3 meses lo que estime oportuno en materia de su competencia.

7º.- **Visita de confrontación** sobre el terreno, levantamiento de Acta.

8º.- **Informe – Propuesta de Concesión**.

9º.- **Informe de la Abogacía del Estado**.

10.- **Resoluciones** otorgando concesión administrativa.

5.2.- Dotaciones

Atendiendo al principio de racionalización, en la Cuenca del Guadalquivir solo se autoriza el sistema de riego localizado (goteo, etc..)

El Plan Hidrológico de Cuenca estima que los caudales y dotaciones de riego en olivar de marco tradicional (100 olivos/ha) son:

Caudal Continuo : 0,15 l/s Ha.

Dotación anual : 1.500 m^3/ha/año

6.- INNOVACIONES DEL TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

Contrato de cesión de derechos

Los Titulares de una derecho al uso privativo de las aguas (concesionarios) podrán, con carácter temporal, ceder a otro titular de derecho de igual o mayor rango (según el orden de preferencia establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca) la totalidad o parte de los derechos de uso que le correspondan, previa autorización administrativa.

La formalización y autorización de estas cesiones debe recogerse en contratos de cesión, por escrito y remitidos al Organismo de Cuenca y a las Comunidades de Usuarios a las que pertenezcan el cedente y cesionario.

En el caso de cesiones entre usuarios de agua para riego, deberá constar en el contrato la identificación expresa de los predios que el cedente renuncia a regar o se compromete a regar con menos dotación,, así como la de los predios que regará el adquirente con el caudal cedido.

El volumen anual susceptible de cesión en ningún caso superará el realmente utilizado por el cedente.

La cesión de derechos de uso del agua podrá conllevar una compensación económica que se fijará de mutuo acuerdo entre los contratantes y deberá explicitarse en el contrato.

7 .- RÉGIMEN SANCIONADOR DE LA LEY DE AGUAS

Se establece en los Arts. 116 y siguientes del texto refundido de la Ley de Aguas.

Se consideran infracciones administrativas:

a) Las acciones que causan daños a los bienes de D.P.H: y a las obras hidráulicas.
b) La derivación de agua de sus cauces y el abastecimiento de aguas subterráneas sin la correspondiente concesión o autorización administrativa.
c) El incumplimiento de las condiciones impuestas en las concesiones y autorizaciones administrativas.
d) La ejecución, sin la debida autorización administrativa, de obras, trabajos, siembras o plantaciones en los cauces públicos o en las zonas sujetas legalmente a algún tipo de limitación.

e) La invasión, la ocupación o la extracción de áridos de los cauces, sin la correspondiente autorización.
f) Los vertidos que puedan deteriorar la calidad del agua o las condiciones de desagüe del cauce receptor, efectuadas sin autorización administrativa.
g) El incumplimiento de las prohibiciones establecidas en la presente Ley o la omisión de los actos a que obliga.
h) La apertura de pozos y la instalación en los mismos de instrumentos para la extracción de aguas subterráneas sin disponer previamente de concesión o autorización del Organismo de cuenca para la extracción de las aguas.

Calificación de las Infracciones

Atendiendo a su repercusión en el orden y aprovechamiento del D.P.H., a su trascendencia por lo que respecta a la seguridad de las personas y bienes y a las circunstancias del responsable, así como el deterioro producido en la calidad del recurso. Sancionándose con las siguientes multas:

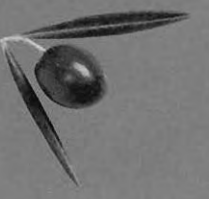
Infracciones	Leves	– multa de hasta 6.010,12 Euros.
"	Menos Graves	– multa de 6.010,12 a 30.050,61 Euros.
"	Graves	– multa de 30.050,61 a 300.506,06 Euros.
"	Muy Graves	– multa de 300.506,06 a 601.012,10 Euros.



CAPÍTULO 3

RELACIONES SUELO – AGUA - PLANTA

Elías Fereres Castiel
Francisco Orgaz Rosúa
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- EL AGUA EN EL SUELO

2.- LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS

Referencias bibliográficas

1.- EL AGUA EN EL SUELO

El suelo además de ser el soporte físico para el olivo y la fuente de suministro de la mayoría de los nutrientes, es el medio en el que se almacenan el agua y el oxigeno que absorben sus raíces. Igualmente es el hábitat de multitud de microorganismos, insectos etc., que pueden modificar de forma sustancial sus propiedades físicas (estructura y densidad) y químicas (contenido en materia orgánica, determinados nutrientes).

La **textura** de un suelo refleja el contenido relativo de cada uno de los distintos tamaños de partículas minerales (arenas, limos y arcillas) que componen el mismo:

Clasificación	Fracción	Diámetro partículas (mm)
USDA	Arena	2,0 – 0,05
	Limo grueso	0,05 – 0,02
	Limo fino	0,02 – 0,002
	Arcilla	< 0,002

La **estructura** de un suelo se refiere a la forma en que están agrupadas las partículas minerales entre sí.

Las propiedades físicas de un suelo son las que mayor importancia tienen sobre de las relaciones **suelo-agua- planta**, pues nos van a determinar:

- la cantidad de agua que es capaz de almacenar ese suelo,
- la facilidad con que el olivo va a poder disponer del agua del suelo,
- el diseño de la instalación, y
- el manejo del riego.

El suelo está formado por una fase **sólida** (partículas minerales y materia orgánica) y otras fases, **líquida** y **gaseosa**, que ocupan el espacio no ocupado por la primera, conocido como **espacio poroso del suelo**.

La relación entre la masa de un suelo seco y su volumen es la **densidad aparente (Da)**, y su valor depende de la porosidad del mismo (a mayor porosidad menor densidad aparente y

viceversa), de su textura y del contenido en materia orgánica. La siguiente expresión relaciona la textura y contenido en materia orgánica de un suelo con su densidad aparente (Marañés y *col.*, 1998):

$$Da\ (g/cm^3) = 1{,}5456 + [(0{,}0015 \cdot Ar) - (0{,}0022 \cdot Arc) - (0{,}1219 \cdot CO)]$$

siendo **Ar**, **Arc** y **CO** respectivamente los porcentajes de arena, arcilla y carbono orgánico (**CO% = MO% x 0,58**) del suelo.

La **densidad real (dr)** de un suelo es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen ocupado por las partículas sólidas, obteniéndose como diferencia entre el volumen del mismo y el ocupado por los poros. Tiene un valor relativamente constante e independiente del tipo de suelo. Se considera un valor medio de igual a **2,70 gr/cm³**.

El **contenido de agua de un suelo** depende de su estado de humedad. Si todos los poros están ocupados por agua, se dice que el suelo está **saturado**, mientras que si todos los poros están ocupados por aire se dice que el suelo está **seco**.

Cuando un suelo está **saturado** por el agua de lluvia o el riego (**figura 3.1**), parte del agua se mueve hacia capas más profundas por efecto de la fuerza de la gravedad (agua libre o gravitacional). Cuando este movimiento cesa decimos que el suelo se encuentra a **capacidad de campo** (**CC**). El exceso de agua, que no puede ser almacenada en el suelo explorado por las raíces, se pierde por escorrentía superficial o por precolación profunda hacia zonas donde no puede ser extraída por el sistema radicular del cultivo.

Después de una lluvia o riego (**figura 3.1**), la humedad del suelo disminuye gradualmente en el tiempo por efecto de la evaporación hacia la atmósfera y por transpiración por el cul-

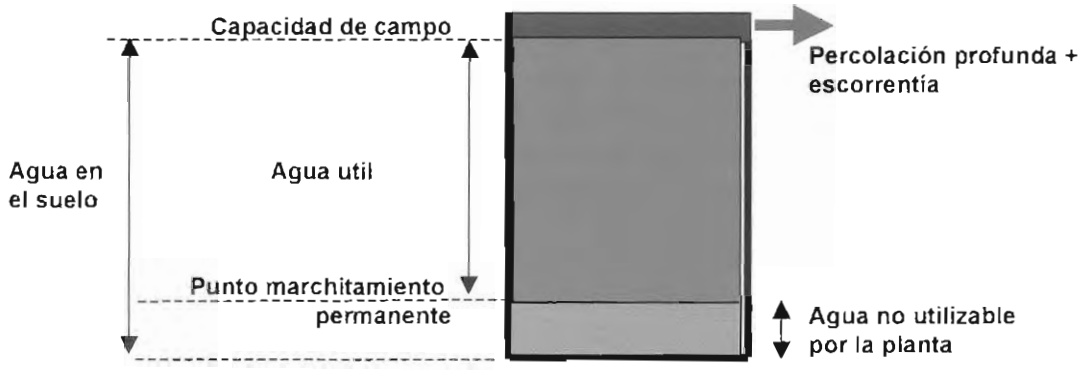


Figura 3.1: Desde el punto de vista de su utilización por la planta el agua en el suelo, se comporta como un depósito de grandes dimensiones, depósito que almacena el agua aportada por la lluvia y/o el riego. De este depósito la planta extrae agua para la transpiración, produciéndose pérdidas por evaporación directa a la atmósfera. Las aportaciones excedentarias de riego y/o lluvia se pierden por escorrentía superficial o por precolación profunda.

tivo del agua absorbida por su sistema radicular. Progresivamente el terreno se va secando, y cada vez se va haciendo más difícil la extracción de agua del suelo por la planta, reduciéndose su transpiración, y por lo tanto se produce una progresiva reducción del crecimiento, pudiéndose llegar, si la aportación de agua (lluvia o riego) no se produce a tiempo, a un estado de marchitez irreversible para la planta. Este nivel de humedad en el suelo es el conocido como **punto de marchitez permanente (PMP)**.

La diferencia en el contenido de agua entre estos dos niveles (**CC – PMP**) es lo que conocemos como **agua útil (AU)** de un suelo, que es la cantidad máxima de agua que puede almacenar un suelo para el crecimiento de las plantas. Existe una considerable variación de los valores de la **CC**, **PMP** y **AU** para los **diferentes tipos de suelo**. La **arena** tiene valores bajos para los tres, mientras que una **arcilla** tiene valores altos de la CC y PMP y moderadamente alta el agua útil. Un **suelo franco**, que contiene parecidas proporciones de arena, limo y arcilla, mostraría valores intermedios entre una arena y una arcilla en términos de CC y PMP (**tabla 3.1**).

Tabla 3.1: Valores medios de CC, PMP y agua útil (AU) en suelos de diferentes texturas. Valores expresados en porcentaje sobre suelo seco.

Textura del suelo	Humedad del suelo (% peso seco)		
	CC	PMP	AU
Arenosa	6-12 (9)*	2-6 (4)	5
Franco-arenosa	10-18 (14)	4-8 (6)	8
Franca	18-26 (22)	8-12 (10)	12
Franco-arcillosa	25-31 (27)	11-15 (13)	14
Arcillo-limosa	27-35 (31)	13-17 (15)	16
Arcillosa	31-39 (35)	15-19 (17)	18

* Valor medio

Cuando el contenido de agua de un suelo se expresa en unidades de peso, es decir, peso de agua con relación al peso seco del suelo, hablamos de **humedad gravimétrica** (θg), y se expresa normalmente en porcentaje (% en peso de suelo seco). Si por el contrario, el contenido en agua lo expresamos en volumen, es decir, volumen de agua por volumen de suelo, hablamos de **humedad volumétrica** (θ_v), expresándose usualmente en este caso en **cm^3 de agua / cm^3 de suelo**. Una y otra se relacionan empleando la densidad aparente:

$$\theta_v = Da \times \theta_g$$

empleando esta expresión y los valores mostrados en la **tabla 3.1**, podemos obtener los datos de CC, PMP y agua útil expresados en términos de **humedad volumétrica** (**tabla 3.2**).

Tabla 3.2: Valores medios de humedad volumétrica para CC, PMP y agua útil (AU) en suelos de diferentes texturas. Valores expresados en cm^3 de agua por cada cm^3 de suelo.

Textura del suelo	Humedad del suelo (cm^3/cm^3)		
	PMP	CC	AU
Arenosa	0,07	0,15	0,08
Franco-arenosa	0,09	0,21	0,12
Franca	0,14	0,31	0,17
Franco-arcillosa	0,17	0,36	0,19
Arcillo-limosa	0,20	0,40	0,20
Arcillosa	0,21	0,44	0,23

Recientes trabajos realizados en suelos de olivar de la provincia de Jaén (Soria Herrera, 2002) han relacionado la textura con los valores de **densidad aparente**, humedad a **capacidad de campo**, **punto de marchitamiento permanente** y **agua disponible** en el suelo. La fracción de partículas del suelo con tamaño inferior a 0,02 mm, **limo fino + arcilla (LFA)**, es el parámetro que mejor explica los anteriores valores, habiéndose obtenido las siguientes expresiones de ajuste:

$$Da\ (g/cm^3) = 1{,}5868 - 0{,}0026\ LFA\ (\%)$$

$$CC\ (\%) = 3{,}10 \times LFA^{0{,}56}$$

$$PMP\ (\%) = 0{,}60 \times LFA^{0{,}79}$$

El máxima cantidad de agua disponible de un suelo (**AU**), expresada en **mm de altura de lámina de agua**, para una determinada profundidad **z** (mm) del perfil explorado por las raíces del cultivo, vendrá dada por:

$$AU = Da\ (g/cm^3) \times [CC\ (\%) - PMP\ (\%)] \times z\ (mm) / 10$$

Utilizando las anteriores expresiones, y para una **profundidad de suelo de 10 cm**, y en función del contenido de **limo fino+arcilla (%)**, dato que nos proporciona el análisis de suelo, la **tabla 3.3** nos da estimaciones de los valores medios de CC, PMP y AU.

Tabla 3.3: Valores medios de densidad aparente (Da), CC, PMP y agua útil (AU)en suelos de diferentes texturas definida esta en este caso en función de la fracción limo fino + arcilla (partículas < 0,02 mm). Valores de CC y PMP expresados en porcentaje de agua sobre suelo seco, mientras que el agua útil se expresa en mm por cada 10 cm de profundidad de suelo.

LFA (%)	Da (cm^3/cm^3)	CC (%)	PMP (%)	AU (mm)*
5	1,57	7,39	2,14	8,3
10	1,56	10,75	3,70	11,0
15	1,55	13,38	5,10	12,8
20	1,53	15,63	6,40	14,2
25	1,52	17,63	7,63	15,2
30	1,51	19,45	8,81	16,1
35	1,50	21,14	9,95	16,7
40	1,48	22,72	11,06	17,3
45	1,47	24,22	12,14	17,8
50	1,46	25,63	13,19	18,1
60	1,43	28,29	15,24	18,7
70	1,40	30,74	17,21	19,0
80	1,38	33,04	19,12	19,2

(*) Datos referidos a 10 cm de profundidad de suelo
Fuente: adaptado de Soria Herrera(2002)

La energía con que el agua es retenida en el suelo es lo que conocemos como **potencial hídrico del suelo (PH)**. Dado que es una energía que generalmente tiene que aplicar la planta para extraer el agua, el **PH** tiene un **valor negativo**. El agua en el suelo tenderá a desplazarse desde las zonas húmedas, puntos de alto potencial (potencial menos negativo), hacia las zonas secas, puntos de bajo potencial (potencial más negativo).

El agua, además de ser un elemento básico en los procesos biológicos, tiene la misión de actuar como medio de transporte de sales minerales, oxigeno etc. Las plantas la absorben a través de las raíces y la evaporan a la atmósfera desde las hojas, a través de los estomas. Al igual que ocurría en el suelo, el movimiento del agua en la planta sigue un gradiente de potencial hídrico.

2.- LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS

La **fotosíntesis** (**figura 3.2**) es un proceso por el que las plantas superiores fabrican los hidratos de carbono (asimilados) a partir del agua que extraen del suelo a través del sistema

radicular (precipitaciones de lluvia + riego) y del CO_2 atmosférico que entra en la planta a través de los estomas. En este proceso, y también a través de los estomas, las plantas liberan una importante cantidad de vapor de agua a la atmósfera (**transpiración**). Para que la fotosíntesis se pueda realizar se necesita un aporte energético, la **radiación solar**. Desde la superficie del suelo se producen pérdidas de agua, la **evaporación**, agua que no es aprovechada por el cultivo para fijar CO_2.

Teniendo en cuenta que la radiación solar no tiene coste alguno para los cultivos, al olivo, como todas las plantas superiores, se le presenta un dilema: permitir la entrada de la máxima cantidad de CO_2, necesario para la **fotosíntesis**, o cerrar los estomas para limitar al máximo la pérdida de vapor de agua a la atmósfera (**transpiración**). En definitiva, la ***transpiración es un impuesto*** que la planta tiene que pagar por producir los asimilados necesarios para la formación de las hojas, brotes, madera y frutos.

Casi todos los **cultivos herbáceos** han sido seleccionados desde tiempo inmemorial por su productividad, por lo que tienden a mantener sus estomas totalmente abiertos aceptando tasas de transpiración elevadas, que son necesarias para mantener al máximo nivel el flujo de entrada de CO_2 y con ello las máximas tasas de fotosíntesis (Fereres, 1984).

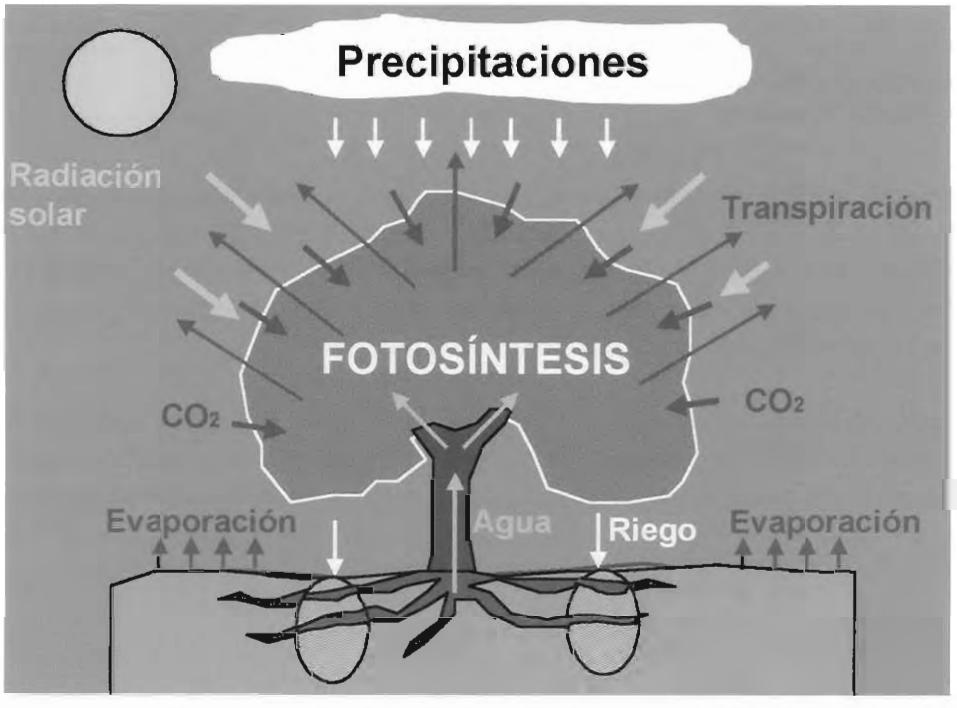


Figura 3.2: Representación esquemática del proceso por el que las plantas superiores fabrican los hidratos de carbono (fotosíntesis) a partir del agua que extraen del suelo a través del sistema radicular (precipitaciones + riego) y del CO_2 atmosférico. En este proceso las plantas liberan una importante cantidad de vapor de agua a la atmósfera (transpiración). Para que la fotosíntesis se pueda realizar se necesita un aporte energético, la radiación solar. Desde la superficie del suelo se producen pérdidas de agua, la evaporación, agua que no es aprovechada por el cultivo para fijar CO_2.

El **olivo**, como cualquier otra planta que ha evolucionado en clima mediterráneo, mantiene un balance más ajustado entre fotosíntesis y transpiración. Fereres (1984) midió el comportamiento estomático del olivo en relación con el del girasol en condiciones de amplio suministro de agua. Mientras que el girasol mantuvo los estomas completamente abiertos durante todo el día, el olivo mostró la máxima apertura estomática (máxima ***conductancia estomática***) en las primeras horas de la mañana, reduciendo dicha apertura en las horas centrales del día, hasta valores inferiores al 50% de la conductancia observada en el girasol.

Este comportamiento demuestra que el olivo tiene una gran capacidad de adaptación a las condiciones limitantes de agua, puesto que durante la mañana el ***déficit de presión de vapor de agua*** (**DVP**) del aire es mínimo (= alto valor relativo de la humedad relativa del aire), llegando al mediodía solar a valor un máximo. Por tanto, puesto que la transpiración está directamente relacionada con el **DPV**, por la mañana la mayor apertura estomática permite la entrada de CO_2 a un coste transpirativo menor que al mediodía. Este patrón de apertura estomática permite al olivo maximizar la fotosíntesis por unidad de agua consumida (**máxima eficiencia en transpiración**).

Naturalmente, el cierre estomático parcial supone que las tasas de fotosíntesis del olivo al mediodía sean inferiores a las de muchos cultivos herbáceos, hecho que queda compensado por la naturaleza perenne del olivo. Al vegetar durante todo el año sin limitación hídrica la productividad anual de un olivar supera a la de la mayoría de los cultivos herbáceos que pueden competir con él en climas similares.



Fotografía 3.1: Bomba de presión, utilizada para la medida del potencial de agua en hoja: permite estimar el estado hídrico de los olivos en un determinado momento del ciclo del cultivo. Este instrumento es muy útil en el asesoramiento al regante, ya que las medidas realizadas antes del amanecer nos informan de un modo indirecto del contenido de agua en el suelo, y en definitiva de la adecuación del programa de riego que estamos empleando. Los elementos fundamentales de este instrumento son la cámara, cilindro hueco de acero inoxidable con tapadera de seguridad que permite el cierre hermético, cámara en la que se introduce el brote en el que vamos a realizar la medida del potencial permitiendo que su pedúnculo asome hacia el exterior; bombona (color azul) que contiene nitrógeno a presión en su interior, y que está conectada mediante un conducto con la mencionada cámara, lo que permite crear en su interior y de forma progresiva (mediante una llave de paso) una determinada presión; finalmente el manómetro nos informa de la presión dentro de la cámara.

Podría decirse, pues, que el olivo dispone de mecanismos de regulación estomática que le permiten evitar la deshidratación en condiciones de déficit hídrico, por lo que el estado hídrico del árbol debe ser favorable incluso en situaciones de limitación hídrica. Los estudios realizados sobre el estado hídrico del olivo en condiciones de campo, mediante medida del ***potencial hídrico de la hoja*** **(PH)**, indican que **árboles sin limitación de suministro de agua** mantienen al mediodía en verano un **PH** de alrededor de –1,5 Mpa (-15 Kg/cm^2). El **PH** permanece relativamente constante entre las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, precisamente por la regulación estomática que modula la tasa de transpiración en función de la demanda evaporativa de la atmósfera.

A medida que el suelo se seca, el árbol debe disminuir su **PH** para mantener el flujo de agua que compense las pérdidas por transpiración. El olivo tiene una gran capacidad para disminuir su **PH,** por debajo de valores que causarían la deshidratación y muerte de la casi totalidad de las plantas cultivadas. Fereres *y col.* (1996) observaron que olivos en condiciones de sequía extrema redujeron su **PH** a valores de alrededor de –8 Mpa. Esta cifra contrasta con valores superiores a –5,0 Mpa, que pueden provocar una deshidratación total y marchitamiento irreversible en un cultivo de trigo o de girasol. En resumen, **el olivo es capaz de disminuir su PH a valores muy bajos, lo cual le permite captar agua del suelo incluso por debajo del punto de marchitez permanente**. Esta combinación de mecanismos de control estomático que evitan la deshidratación y marchitez irreversible de la planta, con otros que permiten tolerar bajos valores de **PH**, es muy poco frecuente en la mayoría de los cultivos y es lo que ha dotado al olivo de una capacidad de **resistencia a la sequía extraordinaria**. A dicha capacidad debe contribuir, sin duda, un extenso sistema radical que, desgraciadamente, está poco estudiado.



Fotografía 3.2: La medida del potencial de agua en hoja se realiza utilizando una hoja o la porción terminal del brote del año (dos pares de hojas y 3 ó 4 nudos) separada del árbol inmediatamente antes de realizar la medición (a la izquierda). A la derecha medición en campo del potencial hídrico utilizando la cámara de presión. La aguja del manómetro muestra el valor de la presión dentro de la cámara. El potencial hídrico del árbol es la presión registrada por el manómetro en el momento en que una pequeña gota de savia aparece en el xilema del corte practicado para separar el brote del árbol.

A pesar de esta resistencia a la sequía, la productividad del olivo, como la de todas las plantas, responde negativamente a la falta de agua. En el capítulo 4 se expondrán las respuestas observadas en los procesos de crecimiento y producción del olivo cuando se aplica un déficit hídrico en las distintas fases del desarrollo del cultivo. Estas respuestas han de tenerse siempre en cuenta a la hora de decidir las estrategias de **riego deficitario** en los casos en los que disponemos de cantidades limitadas de agua de riego.

Referencias bibliográficas

Fereres, E., 1984. Variability in Adaptative Mechanisms to Water Deficits in Annual and Perennial Crops Plants. Bulletin Société Botanique de France. *Actualités Botaniques.* 131: 17-32.

Fereres, E., Ruz, C., Castro, J., Gómez, J.A., Pastor, M., 1996. Recuperación del olivo después de una sequía extrema. Actas del XIV Congreso Nacional de Riegos. Almería.

Marañés, A., Sánchez, J.A., De Haro, S., Sánchez, S.T., Del Moral, F., 1998. Análisis de suelos. Metodología e Interpretación. Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.

Orgaz, F., Fereres, E., 2001. Riego. En: *El cultivo del olivo,* 4ª ed., D. Barranco, R., Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). 724 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Soria Herrera, L., 2002. Fertilización y Riego en el Olivar de la Provincia de Jaén: Comarcas de La Loma y Sierra Morena. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén.



CAPÍTULO 4

CICLO ANUAL DEL OLIVO Y SENSIBILIDAD AL DÉFICIT HÍDRICO

Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- CALENDARIO MEDIO DE LOS CICLOS VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO

2.- CRECIMIENTO VEGETATIVO

3.- CICLO REPRODUCTIVO
- 3.1. - Inducción floral
- 3.2.- Iniciación floral
- 3.3.- Reposo de yemas
- 3.4.- Desarrollo floral
- 3.5.- Floración, polinización y fecundación
- 3.6.- Cuajado y caída de frutos
- 3.7.- Crecimiento y desarrollo del fruto
- 3.8.- La maduración de la aceituna

4.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO.
- 4.1.- Periodo desde brotación de las yemas hasta la floración.
- 4.2.- Crecimiento del fruto hasta el endurecimiento del hueso
- 4.3.- Endurecimiento del hueso hasta comienzo de la maduración

Referencias bibliográficas

1.- CALENDARIO MEDIO DE LOS CICLOS VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO

Para poder iniciarnos en la programación del riego y de la fertilización del olivo, en primer lugar es necesario conocer perfectamente el ciclo anual y los procesos de producción de este árbol, con objeto de considerar su sensibilidad estacional al déficit hídrico y nutricional en los procesos que van a suceder en cada momento del ciclo.

La producción del olivo depende de la evolución de los procesos vegetativos y reproductores que tienen lugar a lo largo de un ciclo bianual. Tengamos en cuenta que la producción del año actual se localiza en las brotaciones o crecimientos vegetativos producidos durante el año anterior.

El calendario medio de los ciclos vegetativo y reproductivo del olivo se presenta esquemáticamente en la **figura 4.1**. En las explicaciones relativas a la evolución fenológica del olivo hemos adaptado la descripción de Rallo (1994). Debemos tener en cuenta que las fechas presentadas pueden variar de unas zonas a otras, e incluso de unos años a otros dentro de una determinada zona, o incluso en enclaves dentro de una determinada explotación, ya que la evolución fenológica depende del régimen primaveral de temperaturas.

2.- CRECIMIENTO VEGETATIVO

Las **yemas** vegetativas, o **de madera,** brotan con el comienzo de la primavera, algo después que las **yemas de flor**. Como ya hemos dicho, tanto el inicio de la brotación como el ritmo de crecimiento de los brotes depende del régimen de temperaturas, así como de las disponibilidades de agua en el suelo.

El **crecimiento vegetativo de primavera** es cuantitativamente el más importante, y dura aproximadamente hasta mitad de junio. Un segundo ciclo de crecimiento, de menor importancia cuantitativa que el de primavera, puede ocurrir entre septiembre y mitad de octubre,

Ciclo Anual del Olivo

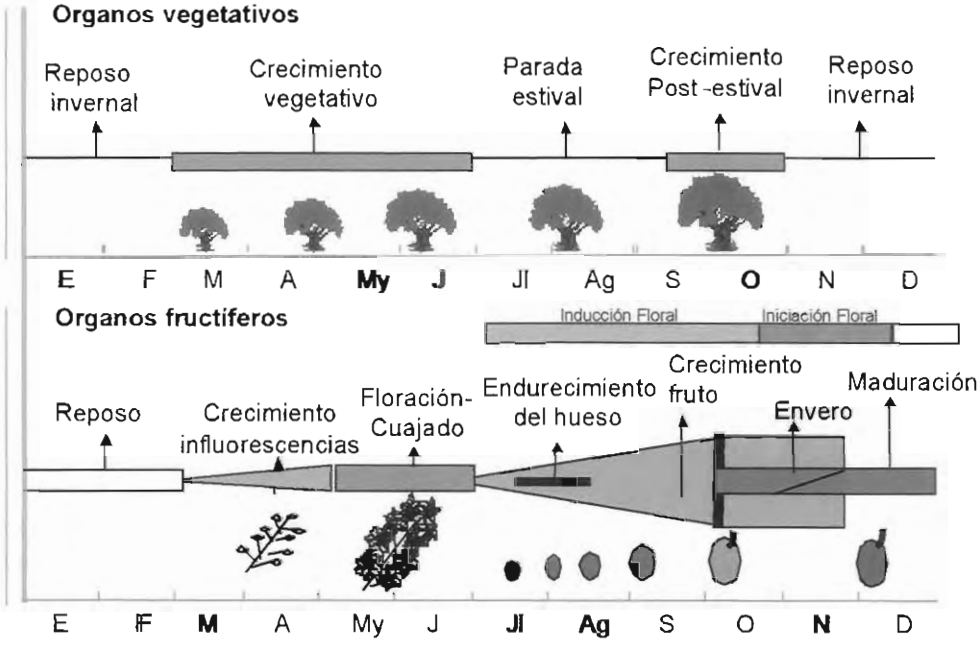


Figura 4.1: Ciclo anual del olivo, donde se resume la paralela evolución de los procesos vegetativos (crecimiento de brotes) y reproductor (floración, fructificación y crecimiento del fruto). Fuente: Girona (2001)

estando condicionado en secano por el hecho de que se produzcan lluvias a comienzos de otoño, y tanto en secano como en regadío por el hecho de que el árbol esté en carga o en descarga (**figura 4.2**). En años de descarga los árboles pueden mostrar un crecimiento continuo pero irregular desde abril hasta final de octubre. El crecimiento de los brotes se ve muy afectado por la cosecha presente en el árbol, ya que en un olivo adulto en carga los frutos acaparan gran parte de los asimilados que sintetiza la planta (**efecto sumidero**), reduciéndose, por tanto, el crecimiento vegetativo con respecto al de un olivo en descarga (**figura 4.2**). En regadío los brotes tienen una mayor longitud que en secano, y para igual cantidad de agua de lluvia, un olivo en secano crece menos y más lentamente que uno de riego (**figura 4.2**).

En **regadío**, además de un **mayor crecimiento** por brote, se produce un mayor número de brotes, por lo que los árboles acaban haciéndose no solo **más grandes**, sino más **frondosos** que en secano, por lo que adquieren una mayor capacidad productiva (mayor producción de asimilados). Por esta razón, al ser capaces los árboles regados de producir un mayor número de inflorescencias, el número de frutos cuajados por olivo también será mayor, primera de las bases para explicar la mayor producción en regadío que en secano.

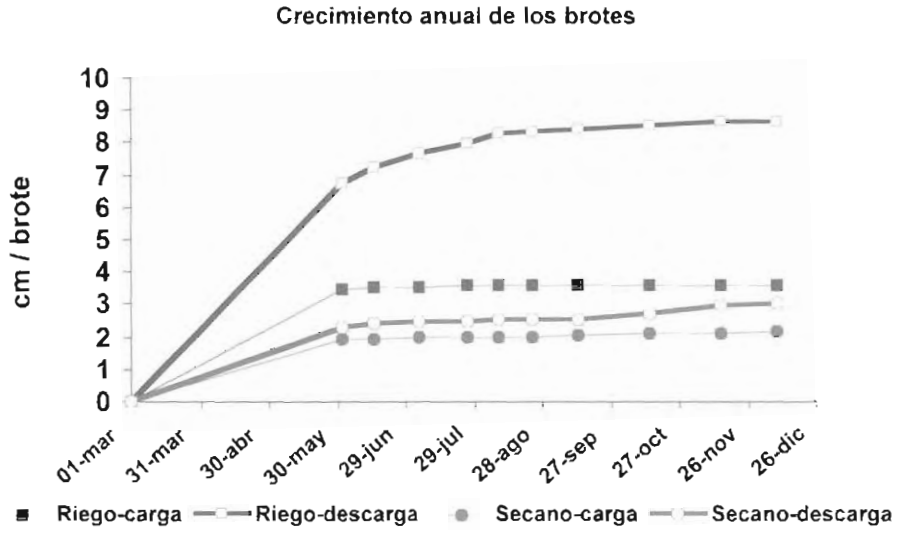


Figura 4.2: Evolución del crecimiento de los brotes fructíferos de olivos de secano y riego, tanto en carga como en descarga. Finca Alameda del Obispo (Córdoba) año 1.999. Marco de plantación 6x6 m. Edad 20 años (Datos del autor).

3.- CICLO REPRODUCTIVO

3.1. - Inducción floral

En cada una de las axilas de las hojas de los brotes en crecimiento se forma una yema. El proceso por el que las yemas experimentan cambios fisiológicos que conducen a la formación de **yemas de flor,** en lugar de yemas de madera, se llama **inducción floral**. Por otra parte el **endurecimiento del hueso** parece contemporáneo con el comienzo de la **inducción floral**, de manera que la presencia de frutos más allá de este período tiene un claro efecto inhibidor sobre la floración al año siguiente. Este efecto podría ser una de las razones por las que se produce la llamada **vecería** o alternancia de producción del olivo.

El fruto en desarrollo se muestra como inhibidor de la **inducción floral**, de modo que en los **árboles en descarga**, con toda seguridad se producirá una abundante floración al año siguiente. La intensidad de floración dependerá de la carga de los árboles, así como de la fecha de recolección. En la **tabla 4.1** podemos ver como el **retraso de la fecha de recolección** puede reducir la intensidad de floración del año siguiente (menor porcentaje de yemas de flor), observándose también en dicha tabla como recolecciones posteriores a la segunda mitad del mes de enero reducen no solo la intensidad de floración, también lo hace la producción

3.5.- Floración, polinización y fecundación

La **floración** es un período crítico para la futura cosecha. Durante la misma tienen lugar una serie de acontecimientos de los cuales depende la fructificación (conversión del ovario de la flor en fruto). La **polinización** y la **fecundación** son los procesos determinantes del cuajado inicial del fruto, caracterizado por el comienzo del crecimiento de la aceituna. Llegado el momento de la apertura de las flores tiene lugar la polinización, es decir la transferencia de polen de las antenas de una flor al estigma de la misma u otra flor.

El principal agente de este **transporte del grano de polen** hasta el estigma de la flor es el **viento**. La producción de polen no es, en general, un factor limitante para la fructificación. No obstante, la polinización puede limitar la cosecha en alguna ocasión. Por un lado hay alguna variedad que es incapaz de producir polen, pero también puede suceder que el polen tenga bajo poder germinativo (por ejemplo 'Gordal Sevillana') o lo pierda por condiciones ambientales adversas (por ejemplo con temperaturas superiores a 30ºC en el momento de plena floración). En esta situación la polinización cruzada (presencia de variedades polinizadoras) podría evitar en algunos años el **corrimiento de flores** por falta de fecundación.

El proceso de fecundación consiste en una doble fusión:

- la de un gameto masculino (tras la germinación del tubo polínico) y la oosfera, lo que dará lugar a la formación del cigoto (futuro embrión).
- por otro lado de la fusión de otro gameto masculino y los núcleos polares del saco embrionario, lo que originará el **endospermo** de la semilla.



Fotografía 4.1: Brotación del crecimiento del año anterior con yemas de flor en estado de plena floración. Muchos de los estambres han liberado ya los granos de polen, observándose los estimas de las flores receptivos.

3.6.- Cuajado y caída de frutos

Después de la fecundación de uno de los cuatro óvulos del ovario (*óvulo funcional*), aquél inicia su crecimiento. El endospermo es la parte del óvulo que, en su tránsito a semilla, primero crece. El cigoto permanece un cierto tiempo en una especie de latencia. Su transformación en embrión sólo tiene lugar algunas semanas más tarde, cuando ya la futura semilla ha alcanzado un cierto tamaño. Parece que el endospermo actúa como motor del crecimiento inicial de la semilla.

La demanda de asimilados se incrementa al comenzar el crecimiento de los pequeños frutos, lo que origina una acusada competencia entre los mismos, traduciéndose esto en una masiva caída de jóvenes frutos y ovarios no fecundados. El período de **caída de frutos** comienza tan pronto como inician el crecimiento los primeros frutos, y se prolonga hasta unas 6-7 semanas después de la floración.

En años de gran intensidad de floración puede llegar a caer por causas no parasitarias hasta un 98-99% de las flores de un olivo, lo que puede no ser obstáculo para que haya una muy buena cosecha. Una vez establecida la población definitiva de frutos (unos **40 días después de plena floración**), éstos prosiguen su crecimiento hasta la maduración, sin que en general se produzcan ya nuevas caídas, salvo por causas accidentales (granizadas, estrés severos por falta de agua o nutrientes) o por causas parasitarias (insectos fundamentalmente).



Fotografía 4.2: Tras la fecundación los pequeños frutos comienzan su crecimiento, produciéndose una gran demanda de asimilados, lo que origina una acusada competencia entre los frutos, traduciéndose esta demanda en una masiva caída de ovarios no fecundados yjóvenes frutos. El período de caída de frutos comienza tan pronto como se inicia el crecimiento los primeros frutos, y se prolonga hasta unas 6-7 semanas después de la floración, quedando por término medio, en las variedades de fruto grueso, no más de un fruto por inflorescencia, superándose este número en las variedades de fruto pequeño, por ejemplo en 'Arbequina' donde la fructificación se produce en ramilletes.

3.7.- Crecimiento y desarrollo del fruto

La aceituna (**figura 4.3**) está constituida por un **exocarpo**, la capa exterior fina y protectora (piel),; un **mesocarpo**, la pulpa o carne; y finalmente por un **endocarpo** endurecido, el hueso. De estos tejidos el mesocarpo o pulpa es el de mayor interés económico, al ser la parte comestible de la aceituna de mesa y el tejido en cuyas células se acumula el aceite, dependiendo de su buen desarrollo y crecimiento la producción final del árbol, así como el rendimiento graso de la aceituna. La formación del mesocarpo está condicionado por los procesos de división y expansión celular (Rapoport y Manrique, 2003).

Estudios sobre las **primeras semanas del desarrollo de la aceituna** indican que en el crecimiento de los frutos participan tanto la expansión celular como la división celular (Rallo y Rapoport, 2001). En frutos de la variedad 'Picual', Manrique *y col.* (1999) observaron que con posterioridad a la octava semana se producía un incremento en el desarrollo celular superior al 60%, mientras que el incremento del número de células era inferior al 15%.

Rapoport y Manrique (2003) profundizaron en el estudio de las pautas de crecimiento del fruto del olivo, caracterizando la influencia del riego y de la variedad.

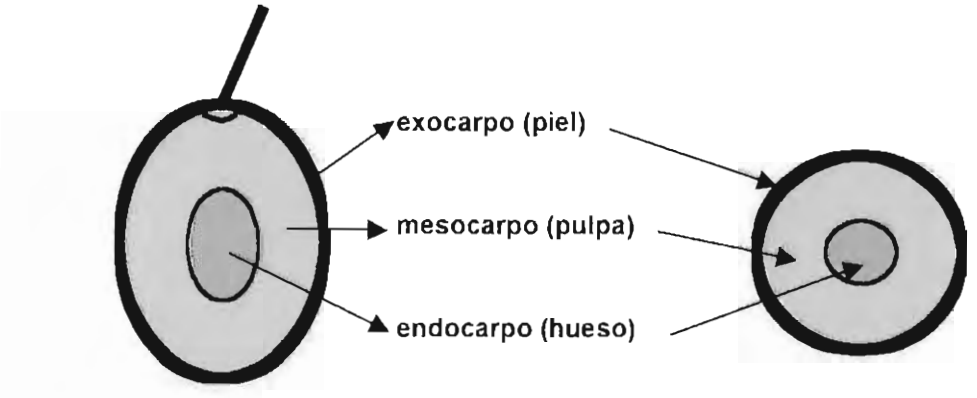


Figura 4.3: Estructura de la aceituna. Cortes longitudinal (izquierda) y transversal (derecha).

En el mismo medio productivo el **mesocarpo** de frutos de **riego** es mayor que el de los frutos producidos en **secano** (**figura 4.4**). Estas diferencias en el tamaño de la pulpa, que se mantuvieron en el periodo comprendido entre PF+8 semanas (endurecimiento del hueso) y PF+27 semanas (recolección), se debieron fundamentalmente a diferencias en el tamaño de las células, mientras que el número de células resultó ser similar en las aceitunas de riego y en las de secano (**figura 4.5**).

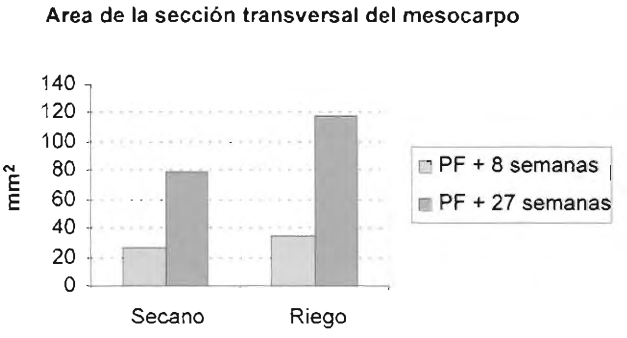


Figura 4.4: Área de la sección transversal del mesocarpo de frutos de la variedad 'Picual' procedentes de olivos regados y de secano, 8 y 27 semanas después del momento de plena floración (PF). Fuente: Rapoport y Manrique (2003).

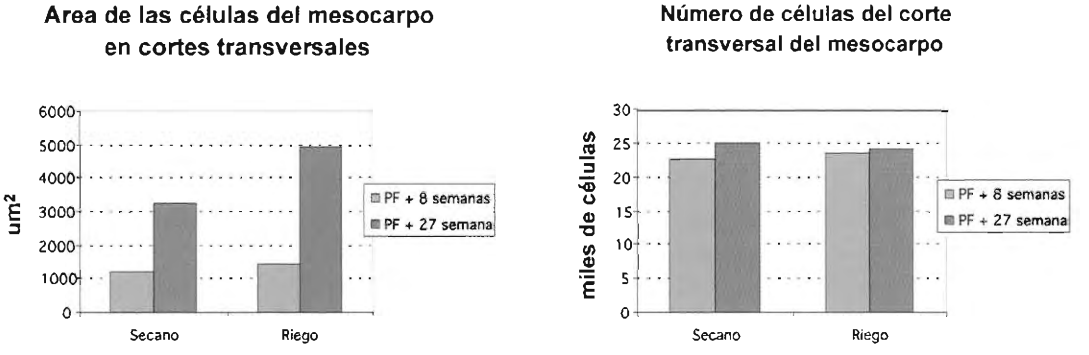


Figura 4.5: Área transversal (μm²) de las células del mesocarpo en cortes transversales centrados (foto superior), y número total de células del corte transversal del mesocarpo (debajo) de frutos de la variedad 'Picual' procedentes de olivos regados y de secano, 8 y 27 semanas después del momento de plena floración (PF). Fuente: Rapoport y Manrique (2003).

Las distintas **variedades** muestran tamaños del mesocarpo muy diferentes, como corresponde a la gran variabilidad existente en el tamaño de frutos de las diferentes variedades cultivadas en la cuenca mediterránea (Caballero y del Río, 2002). Las diferencias entre variedades en el tamaño de fruto parecen deberse mayormente a diferencias en el número de células del mesocarpo, y relativamente poco al tamaño de las células (**figura 4.6**).

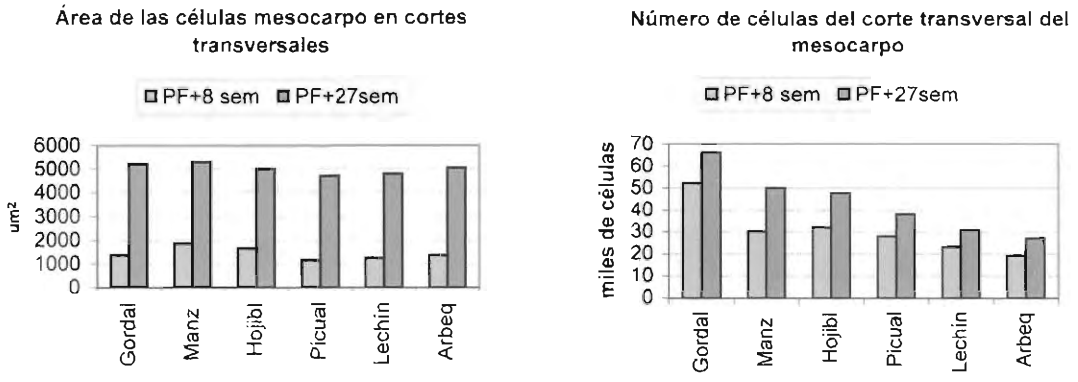


Figura 4.6: Área transversal (μm²) de las células del mesocarpo en cortes transversales centrados (izquierda), y número total de células del corte transversal del mesocarpo (derecha) de frutos de las variedades 'Gordal', 'Manzanilla', 'Hojiblanca', 'Picual', 'Lechín' y 'Arbequina' cultivadas en el mismo medio, 8 y 27 semanas después del momento de plena floración (PF). Fuente: Rapoport y Manrique (2003).

Desde el punto de vista cuantitativo el crecimiento de la aceituna se ajusta básicamente al modelo presentado en la **figura 4.7**. Como ya se ha dicho anteriormente, durante una primera fase de crecimiento del fruto al aumento de su tamaño contribuyen tanto de división celular (aumento del número de células) como la expansión celular (aumento del tamaño de las células). Esta fase concluye aproximadamente con el final del **endurecimiento del hueso**, que sucede entre las 7 y 9 semanas después de la floración. Luego, en los días más calurosos del verano, hay un período de tiempo durante el cual el crecimiento de la aceituna se hace más lento (incluso en árboles bien regados) o se detiene, este es el caso de los olivos de **secano** cuando han agotado la reserva de agua del suelo. En general el grado de detención del crecimiento del fruto siempre va asociado al grado de estrés hídrico a que se somete el olivar, por lo que la aplicación de **riegos deficitarios** significa asumir una reducción del crecimiento en esta fase del cultivo.

Al final de verano-principio de otoño, con el descenso de las temperaturas y especialmente cuando se producen las primeras lluvias o se riega con una cantidad suficiente de agua (**figura 4.7**), el fruto experimenta un incremento rápido del tamaño, y al final de esta fase ocurre el enverado o cambio de color de la epidermis, que determina el comienzo de la maduración.

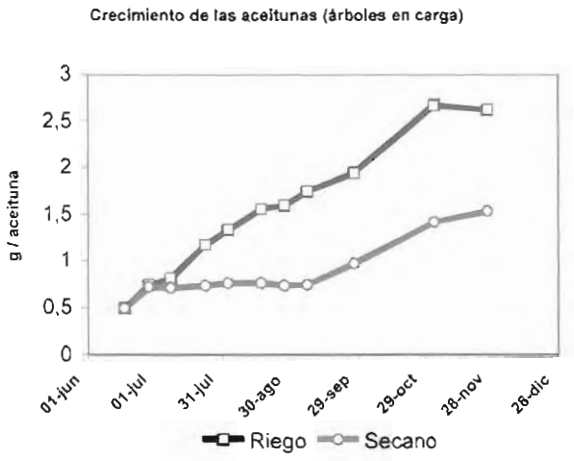


Figura 4.7: Evolución anual (1.999) del crecimiento del fruto en árboles en carga, en olivos de secano y regadío de la variedad 'Picual'. Finca Alameda del Obispo (Córdoba). Plantación de 20 años y marco 6x6 m. Este año la pluviometría no superó los 250 mm, aunque el otoño fue bastante lluvioso (Datos del autor).

El **endurecimiento del hueso**, que se inicia pocos días después de la floración, es un estado de desarrollo del fruto al que se ha prestado gran importancia con relación a la práctica del riego. De la correcta determinación del momento en que ello ocurre depende el éxito de muchos de los programas de **riego deficitario controlado** (Girona, 2001).



Forografía 4.3: Las disponibilidades de agua por el cultivo a lo largo del verano influyen sobre el crecimiento de los frutos. A la izquierda frutos tomados en agosto procedentes de árboles bien regados, a la derecha frutos de árboles a los que se ha aplicado un programa de riego muy deficitario. El déficit hídrico no solo ha afectado al crecimiento del fruto, sino que al haberse prolongado el estrés se ha arrugado la aceituna al haber consumido el olivo para transpiración el agua de constitución de la aceituna. Cuando se produzcan las lluvias los frutos recuperan su tersura, pero probablemente ya se ha ya se ha afectado negativamente la producción tanto de aceite como de aceitunas (Ver figuras 4.7 y 4.8).

La **figura 4.8** muestra la **pauta de acumulación de aceite en aceitunas** de la variedad 'Picual' en olivos en carga de secano y regadío. Vemos como la formación de aceite se inicia realmente a mitad de julio (unas 10 semanas después de plena floración) y continua hasta final de noviembre, momento en el que se estabiliza la cantidad total de aceite contenido en el fruto, momento en el que debemos hacer la recolección. Estos datos confirman estudios previos sobre el rendimiento graso de la aceituna (Humanes, 1976), que indican que la cantidad de aceite por fruto alcanza su techo cuando desaparecen los últimos frutos verdes del árbol, lo cual es cierto en variedades como 'Picual', 'Manzanilla' y 'Hojiblanca', aunque otras variedades como 'Arbequina' y 'Picudo' siguen un patrón de maduración relativamente diferente, llegándose en este caso a alcanzar la cantidad máxima de aceite sin que se haya desarrollado el color negro en la toralidad de la epidermis de la aceituna.

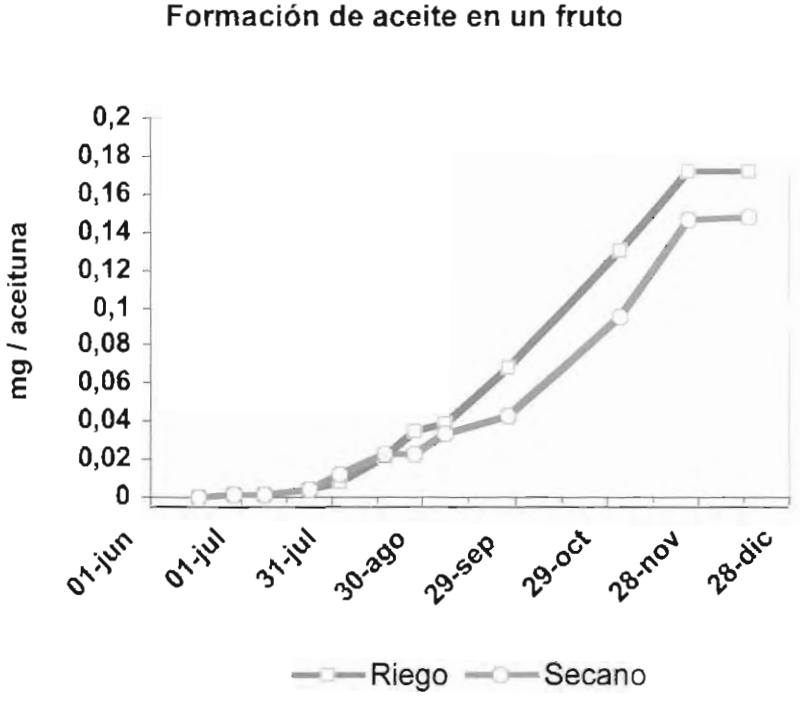


Figura 4.8: Formación de aceite en árboles de la variedad 'Picual' en año de carga (1999) en cultivo en riego y en secano. Finca Alameda del Obispo (Córdoba). Plantación de 20 años y marco 6x6 m. Este año la pluviometría no superó los 250 mm, aunque el otoño fue bastante lluvioso.

A partir de esta época las fluctuaciones observadas por los agricultores en el rendimiento graso de las aceitunas se deben fundamentalmente a variaciones en el contenido de agua de la pulpa, y no a la acumulación de aceite en el fruto (**figura 4.8**).

Desde el punto de vista de la **calidad del aceite** producido, el momento óptimo coincide básicamente con el momento en que los frutos alcanzan el máximo contenido graso. A partir de ese momento pueden afectarse negativamente las características organolépticas del aceite. Si compaginamos calidad y cantidad, la recolección debería de comenzarse antes de alcanzarse el mencionado momento, por lo que en parcelas de olivar de cierta extensión con el adelanto de la fecha de recogida conseguiríamos obtener una máxima cantidad de aceite de muy buena calidad.

En la evolución del crecimiento del fruto, y para una determinada disponibilidad de agua en el suelo, la **carga del árbol** (número de aceitunas cuajadas por olivo) es posiblemente el factor que más influye en el tamaño final de la aceituna, por lo que en la medida que aumenta el número de frutos por árbol es previsible que disminuya el peso medio final del fruto.

El tamaño final que alcanza una aceituna en el momento de su recolección depende del número de frutos cuajados por olivo, y solamente con la reducción de la población de flores o de la de pequeños frutos recién cuajados puede esperarse un aumento del tamaño final de la aceituna. Para un determinado número de frutos cuajados por olivo el **riego** es capaz de **aumentar el tamaño medio de la aceituna** (**figura 4.5**), y el empleo de una mayor dosis de agua de riego se traduce (**Figura 4.9**), en una mayor capacidad de llenado de los frutos (mayor tamaño), y en definitiva en una mayor producción.

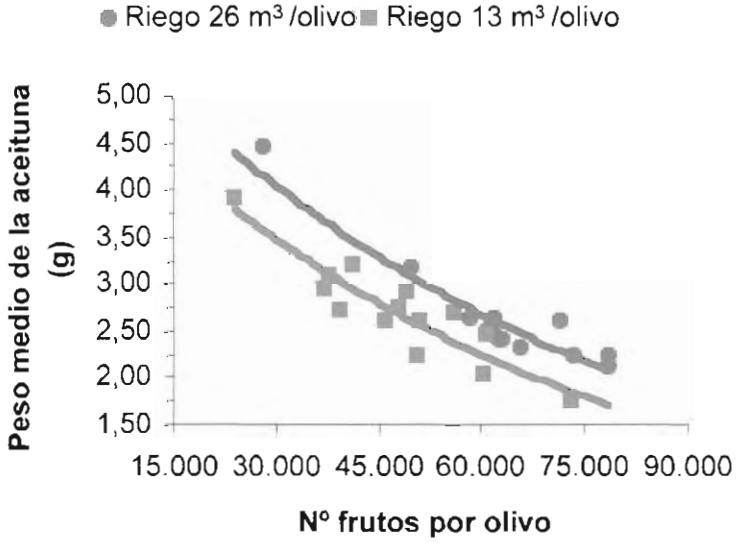


Figura 4.9: Relación entre el número de frutos por olivo y el tamaño medio de la aceituna en un ensayo de riego en el que se aplicaron dos dosis de agua a lo largo de la campaña, 26 y 13 m3/olivo. La mayor dosis de riego aumentó la capacidad de llenado de los frutos y por tanto la capacidad productiva de los árboles. CC.RR. Relámpago (Torreperogil-Jaén)

3.8.- La maduración de la aceituna

El período de maduración de la aceituna, que se inicia con su cambio de color, es un momento muy crítico para el olivo, en el que las **necesidades de agua son máximas**. Aunque durante el verano se haya producido una cierta restricción en el suministro de agua, si en septiembre se aplicara un riego abundante y/o las lluvias otoñales fueran igualmente abundantes y tempranas, el árbol aún es capaz de recuperar el crecimiento de los frutos y la acumulación de aceite.

La **figura 4.10** muestra como árboles que durante el verano fueron sometidos a un fuerte estrés hídrico (riego con el 25 % ETc entre PF+40 días y 10 de septiembre)), lo que supuso que en esta época se produjese una reducción muy significativa del crecimiento del fruto y de la formación de aceite. Cuando a partir del día 10 de septiembre los árboles recibieron suficiente cantidad de agua de riego como para cubrir las máximas necesidades del cultivo, se produjo una recuperación del crecimiento de la aceituna que permitió que en el momento de la recolección la producción de aceite por árbol fuese igual que la de los olivos que durante toda la campaña se habían regado con la dosis óptima de agua.

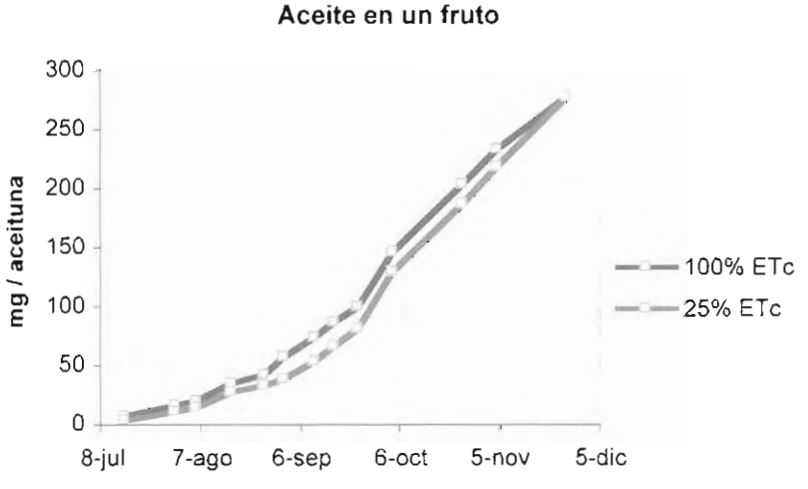


Figura 4.10: Evolución del contenido de aceite en un fruto en olivos jóvenes de la variedad 'Arbequina' regados con el 100 % de la ETc durante toda la campaña o aquellos en los que en el periodo comprendido entre PF+ 40 días y el día 10 de septiembre se redujo la dotación de riego al 25 % de ETc. Ambos tratamientos de riego recibieron desde el día 11 de septiembre el 100% de la ETc.

Es muy importante que durante el período de **maduración** los árboles presenten un estado hídrico adecuado, para que además del llenado del fruto se puedan acumular reservas (asimilados y nutrientes) para el año siguiente, antes de la llegada del invierno (frío), época en la que se reduce la fotosíntesis y con ello la producción de asimilados, lo que podría afectar negativamente a la futura cosecha.

Aunque en cualquier momento del ciclo anual se debe evitar que el olivo padezca déficit hídrico durante largos períodos de tiempo, parece que en **verano es la época del año con una menor sensibilidad al déficit**. Pero para satisfacer la demanda de asimilados de los frutos, no suelen ser suficientes las reservas del árbol y es necesario que en esta época se puedan mantener las hojas con un mínimo de funcionalidad, para que no se vea afectada de forma drástica la fotosíntesis; de lo contrario podría resentirse el crecimiento del fruto. Por esta razón, **en verano y tras el endurecimiento del hueso podría reducirse la dosis de agua de riego** (aplicar entre un 50 - 60 % de la ETc) sin que probablemente llegue a afectarse la producción, pero nunca se debe interrumpir el riego, a no ser que podamos afirmar que la reserva de agua en el suelo es suficiente como para mantener un aceptable estado hídrico de la plantación.

Con la aplicación de **restricciones en el aporte de agua de riego durante el verano** debemos asumir una **restricción en el crecimiento vegetativo del olivo**, especialmente de las ramas más vigorosas (chupones), lo cual puede ser incluso interesante en plantaciones adultas que ya han alcanzado su óptimo desarrollo. Un excesivo crecimiento de ellas en verano solo se traducirá en un excesivo volumen de copa de los árboles, lo que acaba siendo un inconveniente para el manejo de la plantación (recolección, tratamientos fitosanitarios, etc.), que finalmente se traducirá en la necesidad de realizar podas más severas.

Teniendo en cuenta el párrafo anterior, en **plantaciones jóvenes,** en rápido crecimiento, no deben plantearse restricciones en el suministro de agua, ya que ello afectaría al crecimiento vegetativo de los árboles. En esta fase de la vida de la plantación el objetivo principal es alcanzar el volumen de copa óptimo en un mínimo número de años, lográndose de este modo obtener la máxima producción, tanto a corto como a largo plazo.



Fotografía 4.4: Olivo de la variedad 'Picual' cuyas hojas, vueltas hacia el exterior mostrando el envés, evidencian que el árbol sufre un fuerte estrés hídrico. Esta plantación solamente recibe una reducida aportación anual de agua de riego.

4.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO.

La **tabla 4.2** muestra, como **resumen**, los posibles efectos del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción del olivo.

4.1.- Período desde brotación de las yemas hasta la floración.

Durante la fase comprendida entre el comienzo del crecimiento de las inflorescencias y hasta la floración es importante que no exista déficit hídrico, porque:

- éste afectaría a la calidad de las flores (aborto ovárico), y en consecuencia al número de frutos cuajados por árbol, lo que afectaría negativamente a la producción del presente año.
- en esta época tiene lugar el máximo crecimiento de las brotaciones (**figura 4.2**), por lo que un buen estado hídrico de los árboles permitiría:
  - conseguir una superficie foliar suficiente como para proporcionar los asimilados necesarios para llenar los frutos (aumento del tamaño de las aceitunas),
  - proporcionar los crecimientos vegetativos suficientes, que serán los portadores de la cosecha del año siguiente.

4.2.- Crecimiento del fruto hasta el endurecimiento del hueso

Al inicio del crecimiento del fruto, y durante las primeras fases de desarrollo hasta el endurecimiento del hueso, se produce una primera **caída fisiológica de frutos**. Para reducir esta caída, que en muchas ocasiones podría llegar a reducir irreversiblemente el número de frutos por olivo, y especialmente para asegurar el adecuado nivel de reservas del árbol, es importante que éste permanezca en el mejor estado hídrico y nutritivo posible. En este periodo no deberían aplicarse restricciones en el riego, de modo que la suma **reserva de agua en el suelo + riego** sean capaces de permitir la máxima evapotranspiración del olivo.

A nivel de fruto como individuo, el déficit hídrico en este periodo disminuye el tamaño de la aceituna en recolección, afectando principalmente a los procesos de división celular (Gucci *y col.*, 2001).

4.3.- Endurecimiento del hueso hasta comienzo de la maduración

El verano, y a partir del **endurecimiento del hueso**, como ya se ha dicho anteriormente, se podría aplicar un cierto recorte en el suministro de agua de riego, pero procurando que el

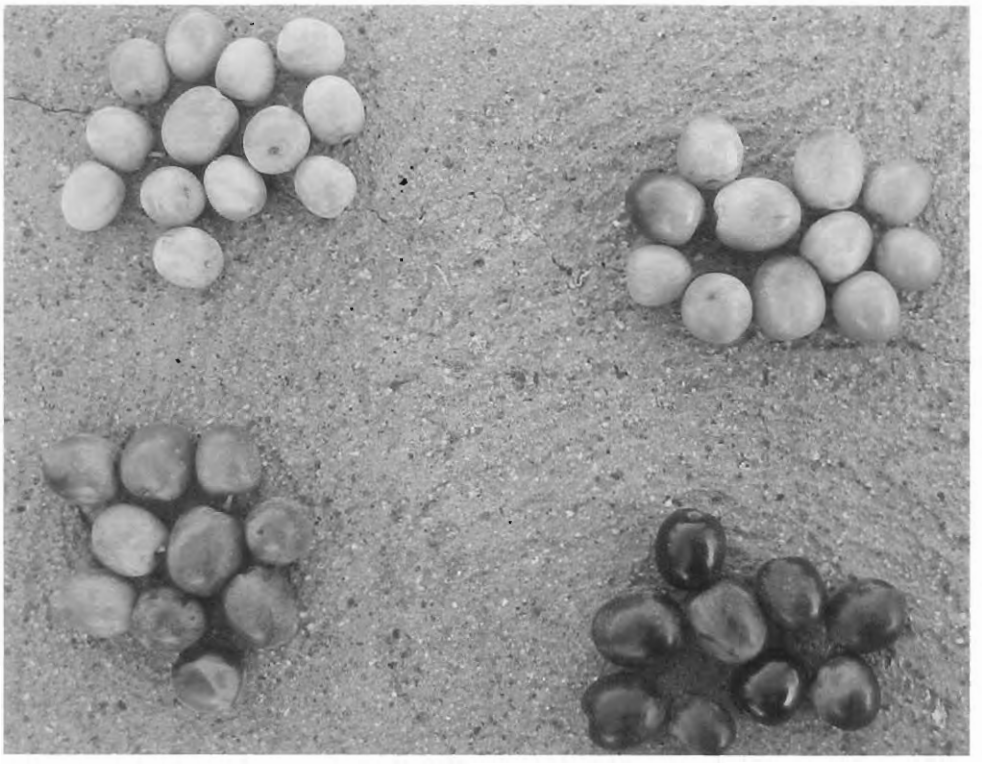
estrés hídrico no llegue a un nivel que reduzca el crecimiento de la aceituna de forma irreversible. A nivel de fruto como individuo, el déficit hídrico en este periodo disminuye el tamaño de la aceituna en recolección, afectando principalmente a los procesos de expansión celular (Beede y Goldhamer, 1994; Gucci *y col.*, 2001).

Tabla 4.2: Efectos del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción del olivo (Orgaz y Fereres, 2.001)

PROCESO	PERÍODO	EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO
Crecimiento vegetativo	Todo el año	Reducción del crecimiento y del número de flores al año siguiente
Desarrollo de yemas florales	Febrero-Abril	Reducción número de flores.
		Aborto ovárico
Floración	Mayo	Reduce fecundación
Cuajado de frutos	Mayo-junio	Aumenta la alternancia
Crecimiento inicial del fruto	Junio-Julio	Disminuye el tamaño del fruto (menor número de células por fruto)
Crecimiento posterior del fruto	Agosto-Cosecha	Disminuye el tamaño del fruto (menor tamaño de las células del fruto)
Acumulación de aceite	Julio-Noviembre	Disminuye el contenido de aceite por fruto

En los países mediterráneos los **otoños** suelen ser lluviosos, aunque a veces se retrasan las lluvias. Cuando en esta época el aporte de agua (lluvia + riego) es suficiente se produce un intenso crecimiento del fruto y finalmente una correcta maduración de las aceitunas. Es una época en la que el olivo es **extremadamente sensible al déficit hídrico**, por lo que el estrés hídrico reduciría la cosecha y se produciría igualmente una reducción del rendimiento graso de las aceitunas, afectando negativamente, y con bastante seguridad, a la producción del año siguiente.

Ante eventuales sequías que obligaran a restricciones institucionales del suministro de agua, parece fundamental asegurar el riego durante el otoño, bien mediante el almacenamiento de la dotación en balsas propias, o comprometiendo el desembalse de las cantidades no consumidas en otros momentos del año. Un experimento realizado en Jaén durante diez años, en el que se estudió la respuesta al riego aplicado con cobertura total en distintas épocas, puso de manifiesto que el riego en otoño es el que proporciona una mayor rentabilidad.



Fotografía 4.5: La maduración del fruto en el olivo es escalonada, coexistiendo en el mismo árbol aceitunas en diferentes estados fenológicos. Aceitunas de la variedad 'Arbequina', caracterizada por una maduración muy escalonada, en estados (de arriba abajo y de izquierda a derecha) 1, 2, 3 y 4. En este árbol ya debería haberse realizado la recolección de la aceituna.

Referencias bibliográficas

Beede, R.H., Goldhamer, D., 1994. Olive irrigation management. En: *Olive Production Manual.* L. Ferguson, G.S. Sibbett, G.C. Martin. ED.Division of Agriculture and Natural Resources. University of California. Publ. 3353. 61-68.

Caballero, J.M., del Río, C., 2002. Caracterización del banco de germoplasma y ensayos comparativos de olivo por caracteres morfológicos. Actas I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva. Ed. Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica – INIA. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 9-14.

Girona, J., 2001. Estrategias de riego deficitario controlado en olivo. Mercacei, 27: 222-231.

Gucci, R., Rapoport, H., Costagli, G., 2001. Stato hidrico dell'olivo e sviluppo del fruto. Actas Curso COI *Gestione dell'acqua e del territorio per un'olivicoltura sostenible.* Septiembre 2001.

Humanes Guillén, J., 1976. Recolección mecanizada de la aceituna. En: *Olivicultura Moderna*. FAO-INIA (Eds). Editorial Agrícola Española, S.A., 293-316.

Manrique, T., Castro, J., Pastor, M., Rapoport, H., 1999. Mesocarp cell división and expansion in the growth of olive fruits. Acta Horticulturae, 474: 301-304.

Orgaz, F., Fereres, E., 2001. Riego. En: *El cultivo del olivo,* 4ª ed., D. Barranco, R., Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). 724 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Pastor, M., Humanes, J., 2000. Poda del olivo. Moderna Olivicultura. Ed. Agrícola Esañola (4ª edición).

Rallo,L., Rapoport, H., 2001. Early growth and development of the olive fruit mesocarp. Jour. Hort. Sci.Biotech., 76: 408-412.

Rallo, L., 1994. Fructificación y producción en olivo. Agricultura, 746: 725-728.

Rapoport, H., Manrique, T., 2003. Pautas de crecimiento del fruto del olivo. Mercacei, 36: 174-177.

Tous, J., 1991. Principales aspectos agronómicos del olivo. En: *El olivo. Situación y Perspectivas en Tarragona.* Ed. Diputació de Tarragona. 101-121.



CAPÍTULO 5

PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN PLANTACIONES DE OLIVAR. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO EN EL OLIVAR REGADO POR GOTEO

Francisco Orgaz Rosúa
Francisco Villalobos Martín
Luca Testi
Miguel Pastor Muñoz-Cobo
Juan Carlos Hidalgo Moya
Elías Fereres Castiel





1.- EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO.
- 1.1.- Evapotranspiración de referencia.
- 1.2.- El coeficiente de cultivo.
  - 1.2.1.- Transpiración del olivar.
  - 1.2.2.- Evaporación desde la superficie del suelo.
  - 1.2.3.- Evaporación desde la superficie del suelo humedecida por los goteros.
- 1.3.- Procedimiento de cálculo del coeficiente de cultivo (Kc)
- 1.4.- Ejemplo de cálculo del coeficiente de cultivo y de la evapotranspiración de una plantación de olivar
- 1.5.- Consideraciones sobre los valores de Kc y ETc en plantaciones regadas de olivar

2.- FUNDAMENTO DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR. MÉTODO DEL BALANCE DE AGUA.
- 2.1.- Déficit de agua en el suelo
- 2.2.- Cálculo de las necesidades de agua de riego

3.- PROGRAMACIÓN DE RIEGOS CUANDO SE EMPLEAN SISTEMAS DE ALTA FRECUENCIA
- 3.1.- Programación de riegos teniendo en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa..
- 3.2.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa

4.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR
- 4.1.- Programación del riego con agotamiento progresivo de la reserva de agua del suelo.
- 4.2.- Programación de riegos utilizando la reserva de agua del suelo comenzando la campaña de riegos cuando hemos agotado la reserva.
- 4.3.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua del suelo.

5.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN UNA PLANTACIÓN JOVEN
5.1.- Cálculo de la transpiración de los árboles
5.2.- Cálculo de la evaporación de agua desde los bulbos humedecidos por los goteros
5.3.- Ejemplo de cálculo de las necesidades de riego en una plantación joven

6.- CONCLUSIONES

Referencias bibliográficas

1.- EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO.

El agua perdida por las plantas en **transpiración** es el coste que éstas deben pagar para producir la biomasa (raíces, madera, hojas y frutos). Este agua debe ser repuesta a los tejidos mediante la extracción del suelo por el sistema radical del cultivo.

Para alcanzar la **máxima producción** el contenido de agua en el suelo debe permitir que el cultivo pueda extraer la cantidad de agua que le demanda la atmósfera. Esa cantidad de agua, transpiración (**T**), unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo y desde los goteros (**E**), constituye lo que se conoce como **evapotranspiración máxima del cultivo (ETc)** (figura 1):

$$ETc = E + T$$

que debe ser satisfecha mediante la lluvia y/o el riego para que la producción del cultivo no se reduzca como consecuencia del déficit hídrico.

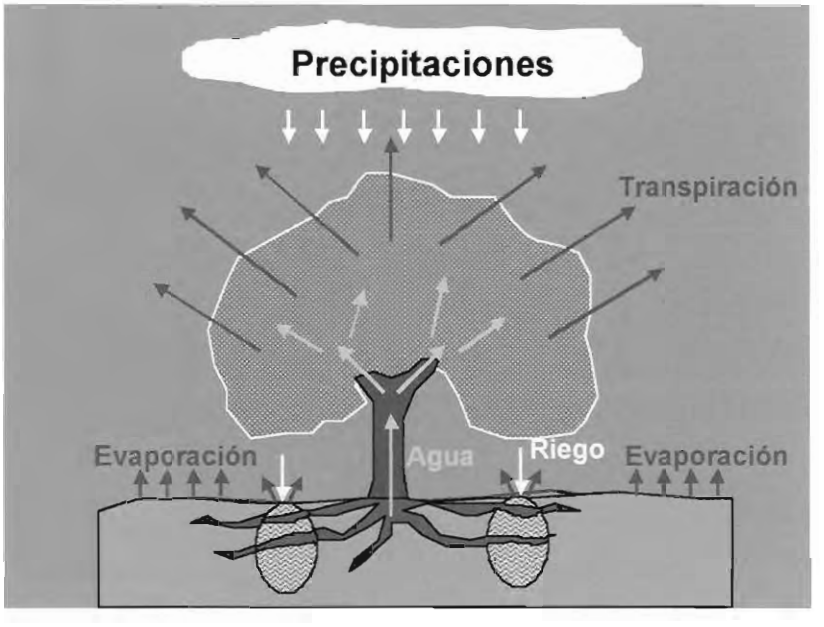


Figura 5.1: La cantidad de vapor de agua que fluye a la atmósfera a través de los estomas de las plantas, transpiración (T), unida a la que se pierde por evaporación (E) directa desde la superficie del suelo (pérdida desde la superficie del suelo después de cada evento de lluvia + pérdida después de cada riego desde los bulbos humedecidos por los goteros) , constituye lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc). ET = E + T. Este agua es aportada al sistema agua-suelo en forma de precipitaciones de lluvia y mediante el riego.

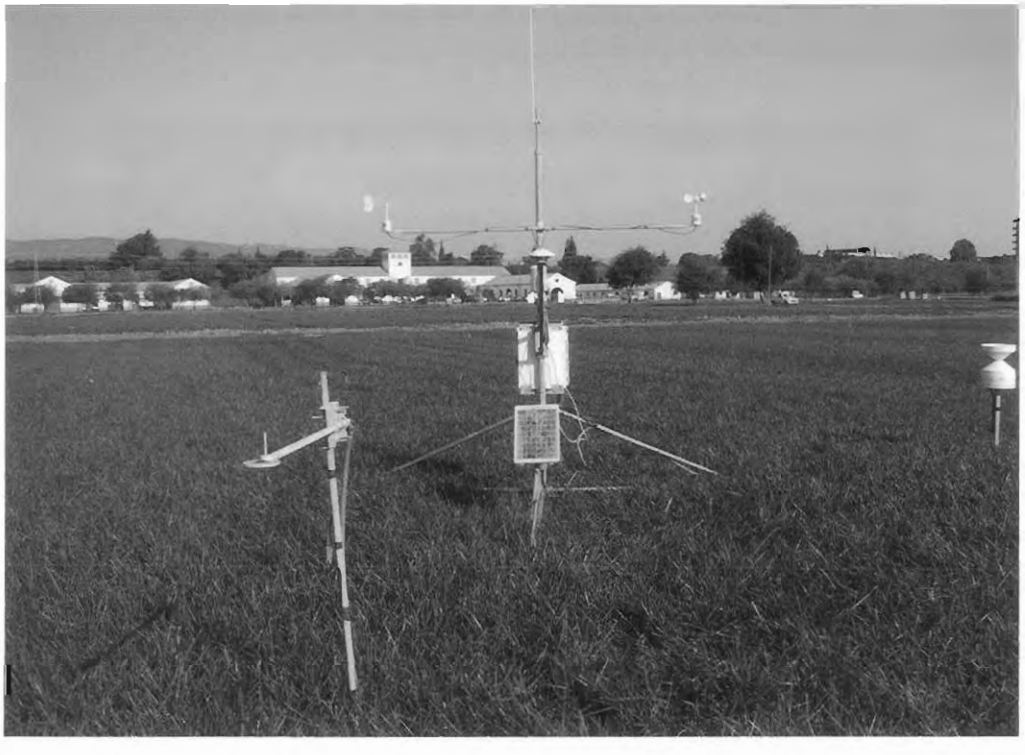
Para el cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar adulto, se puede emplear una expresión en la que la **ETc** se calcula como el producto de dos términos:

$$\mathbf{ETc = ETo \times Kc} \quad [1]$$

expresión en la que ETo es la evapotranspiración de referencia; **Kc** es el **coeficiente de cultivo**, en este caso el del olivar. A continuación explicaremos el significado y la metodología de cálculo de los términos de la expresión [1].

1.1.- Evapotranspiración de referencia.

La **ETo**, denominada **evapotranspiración de referencia**, cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera y corresponde a la **evapotranspiración de una pradera de gramíneas** que cubre totalmente el suelo y que mediante siega mecánica se mantiene con una altura comprendida entre 10 y 15 cm, que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades.



Fotografía 5.1: Estación meteorológica automática ubicada en la finca Alameda del Obispo (Córdoba) en una pradera de gramíneas. Se toman datos de los parámetros climáticos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) aplicando la expresión de Penman-Monteith que requiere datos diarios de temperatura, radiación solar, humedad relativa del aire y velocidad del viento. Esta parcela tiene instalado un lisímetro de pesada de suficiente precisión que permite la calibración local de fórmulas empíricas para la estimación de la ETo.

La **ETo** se mide utilizando un **lisímetro** en condiciones estandarizadas. Pero es difícil, por no decir imposible por su coste, disponer de una red de lisímetros a nivel regional, comarcal o local. Por esta razón, para estimar la **ETo** se han calibrado diferentes fórmulas empíricas, la más adecuada, sin duda, es la de **Penman-Monteith** que requiere datos diarios de temperatura, radiación solar, humedad relativa del aire y velocidad del viento. Esta expresión podría emplearse a su vez para calibrar a nivel local otras expresiones en el caso en que solamente se disponga de información de un menor número de parámetros climáticos.

En ningún caso debe emplearse cualquiera otra expresión para estimar **ETo** sin que ésta haya sido previamente calibrada a nivel local.

En la actualidad la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ha instalado una red de **89 estaciones agrometeorológicas automáticas**, cuyos datos diarios (temperaturas máximas y mínimas, radiación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, lluvia y ETo) se muestran diariamente en la página web de la Consejería de Agricultura y Pesca (**www.cap.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/estacionesAgroclimaticas/indice-.jsp**). En dicha red los valores de **ETo** (mm/día) se calculan aplicando la expresión de Penman-Monteith. En la provincia de Jaén el Servicio de Asesoramiento a Regantes de Olivar en su página web (**www.sarcajarural.com**) también muestra mensualmente valores de **ETo** para 6 localidades de la citada provincia. El Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba (CSIC) también posee una red de estaciones meteorológicas automáticas que, también a tiempo real, proporciona en su página web (**www.uco.es/grupos/meteo**) datos meteorológicos completos, así como valores de **ETo**. Otras comunidades autónomas disponen igualmente de información agrometeorológica de las localidades representativas de las comarcas en las que el riego tiene una cierta importancia. En Cataluña podemos consultar **www.gencat.es/servmet/**, en Extremadura **www.juntaex.es/consejerias/aym/riegos**, en la comunidad Valenciana en **www.ivia.es/estacion/**, en Murcia en **www.carm.es/cagr/cida/siam.htm**, en Aragón en **www.eead.csic.es/oficinaregante/** y en Castilla La Mancha en **www.jccm.es/agricul/siar/**.

Cuando no se dispone de una estación meteorológica cercana y representativa de la finca que vamos a regar, en la programación del riego para olivares situados en el valle del Guadalquivir el valor de la **ETo** podría estimarse con bastante aproximación aplicando la expresión de Hargreaves (Orgaz y Fereres, 2001; Mantovani *y col.*, 1993; Vanderlinden *y col.*, 1999) :

$$ET_o = 0{,}0023 \times R_a \times (T_m + 17{,}8) \times \sqrt{T_{max} - T_{min}} \qquad [2]$$

en la que **ETo** es la evapotranspiración de referencia, en mm/día; T_{max}, T_{min} y T_m son respectivamente las temperaturas medias (°C) de las máximas, las mínimas y las medias durante el período de tiempo considerado; R_a es la radiación extraterrestre, expresada en mm/día, parámetro que para diferentes latitudes N está tabulado (**tabla 5.1**) para los distintos meses del año.

1.2. El coeficiente de cultivo

Para una determinada demanda evaporativa (**ETo**), la cantidad de agua perdida por evapotranspiración en un olivar es la suma de tres procesos:

a) la **transpiración del olivo**, que depende de su tamaño y de la época del año;
b) la **evaporación desde la superficie del suelo**, que depende de la energía disponible y de su contenido de humedad; y
c) la evaporación que, en riego localizado, **se produce desde la superficie del suelo humedecida por los emisores**, y que depende de su nivel de exposición al sol, del tamaño de los bulbos y de la frecuencia de riegos.

Todos estos factores están incluidos en lo que se denomina **coeficiente de cultivo** (ver expresión [1]), por lo que éste coeficiente es extraordinariamente variable a lo largo de los meses del año para las distintas combinaciones de marco de plantación, tamaño de los olivos, frecuencia de lluvias y sistema de riego, que podemos encontrarnos en cualquier plantación comercial.



Fotografía 5.2: Frutales de pepita que se cultivan en un lisímetro de pesada en Lérida en las instalaciones del IRTA diseñado por J. Girona. Esta instalación permite el cálculo diario de la ETc del cultivo, y con ayuda de una estación meteorológica automática muy próxima al lisímetro poder calcular los coeficientes de cultivo (Kc) de la plantación.

Hasta ahora, la metodología disponible para la programación de riegos en el olivar proponía el cálculo del **coeficiente de cultivo (Kc)** como el producto de un valor máximo, mensual; correspondiente a un olivar intensivo y adulto, por un coeficiente reductor que incorporaba el efecto del tamaño de los árboles (ver Orgaz y Fereres 2001). Esta aproximación, que ignora muchos de los factores antes descritos, ha dado buenos resultados en general, pero puede provocar errores en determinadas situaciones. Los errores pueden ser particularmente importantes en condiciones de lluvias frecuentes y volúmenes de copa reducidos. De los trabajos realizados recientemente por el grupo de relaciones hídricas del Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba (CSIC), ha resultado el desarrollo de una metodología alternativa para el cálculo de la **ETc** del olivar. Este método fracciona el coeficiente de cultivo en tres componentes; que corresponden a cada uno de los tres procesos antes descritos:

$$\mathbf{Kc = Kt + Ks + Kg} \quad [3]$$

en donde:

Kt es el coeficiente de transpiración
Ks es el coeficiente de evaporación desde la superficie del suelo
Kg es el coeficiente de evaporación desde los bulbos de goteo.

1.2.1. Transpiración del olivar

Testi (2003) ha desarrollado un modelo complejo de transpiración del olivar, que ha sido verificado con éxito para situaciones muy diversas de tamaño de los árboles, marco de plantación y época del año. A partir del modelo complejo, se ha parametrizado un modelo simple que calcula el coeficiente de transpiración como:

$$\mathbf{Kt = Q_d \times F_1 \times F_2} \quad [4]$$

donde: $\mathbf{F_1}$ y $\mathbf{F_2}$ son dos parámetros de ajuste que dependen, respectivamente, de la densidad de plantación y de la época del año, parámetros cuyos valores se muestran en 1.1.3 ; y $\mathbf{Q_d}$ es la fracción de radiación solar interceptada por la copa de los olivos. Más adelante aprenderemos a calcular estos valores.

1.2.2. Evaporación desde la superficie del suelo.

Es un proceso que ocurre en distintas fases sucesivas. En una primera, justo tras realizar un riego o producirse una lluvia, hay agua disponible en la superficie del suelo y la evaporación está limitada únicamente por la energía disponible a nivel de la superficie del suelo. Una vez que se secan los primeros centímetros del suelo empieza otra fase en la que el principal factor

Se define como **índice de forma IF** a la relación existente entre el diámetro de la copa del olivo y su altura (ver figura 4):

IF = D/H **0,8 < IF < 1,5** (depende de densidad y edad de la plantación)

En **plantaciones adultas** este **índice de forma** varía con la densidad de plantación y el volumen de copa de los árboles, adoptando los valores mostrados en la **tabla 5.3**, correspondientes a plantaciones que ya han alcanzado volúmenes superiores a 5.000 m^3/ha. En plantaciones jóvenes el valor de este IF es inferior a 1.

Tabla 5.3: Valores de índices de forma (IF = D /H) para olivares adultos plantados con diferentes densidades y para volúmenes de copa en el entorno del óptimo productivo.

N (olivos/ha)	IF = D / H
menor 55	1,50 – 1,60
60 - 90	1,40 – 1,45
100 - 125	1,30 – 1,35
130 -170	1,20 – 1,25
175 - 230	1,10 – 1,15
240 -275	1,00 –1,05
280 - 350	0,90 – 0,95
más 360	0,80

Realizando elementales cálculos aritméticos, la expresión para el cálculo de **D** en función del volumen de copa y de la densidad de plantación es la siguiente:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 \times IF \times Vo}{\pi \times dp}}$$

Utilizando esta expresión se han calculado los datos presentados en la **tabla 4**, que muestra el **diámetro medio de la copa** de un olivar adulto en función de su **densidad de plantación** (**dp**) y del **volumen** de copa por hectárea.

Teniendo en cuenta que la superficie por hectárea de suelo cubierto por la copa de los olivos es:

$$CS = \frac{\pi \times D^2 \times Vo}{4}$$

y que :

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 \times IF \times Vo}{\pi \times dp}}$$

(ver **tabla 5.4**)

$$H = \frac{D}{IF}$$

la cobertura del suelo en función del volumen de copa y de la densidad de plantación será:

$$CS = \frac{1.21 \times \sqrt[3]{IF^2 \times Vo^2 \times dp}}{10.000}$$

Tabla 5.4: Diámetros medios de copa (m) correspondientes a olivares con diferentes volúmenes de copa (m3 / ha) de copa y plantados con diferentes densidades (olivos/ ha).

Volumen copa	Densidad de plantación (olivos/ ha)								
m^3/ha	50	70	100	125	150	200	250	300	400
6.000	7,1	6,2	5,4	4,9	4,5	4,0	3,6	3,3	2,8
7.000	7,5	6,5	5,7	5,2	4,7	4,2	3,8	3,4	3,0
8.000	7,8	6,8	5,9	5,4	5,0	4,4	3,9	3,6	3,1
9.000	8,1	7,1	6,1	5,6	5,2	4,6	4,1	3,7	3,3
10.000	8,4	7,3	6,4	5,8	5,3	4,7	4,2	3,9	3,4
11.000	8,7	7,6	6,6	6,0	5,5	4,9	4,4	4,0	3,5
12.000	8,9	7,8	6,8	6,2	5,7	5,0	4,5	4,1	3,6

Por **ejemplo**, calcular la cobertura del suelo de un olivar plantado con una densidad de 100 olivos/ha, si conocemos que su volumen de copa es 9.000 m^3/ha. De la **tabla 5.3** obtenemos el valor de índice de forma IF = 1,35 , luego:

$$CS = \frac{1.21 \times \sqrt[3]{1,35^2 \times 9.000^2 \times 100}}{10.000} = 0,29$$

b.4. **Densidad de área foliar** (m^2 de hoja / m^3 de copa):

$$LAD\ (m^2 / m^3) = 2 - \frac{V_0 - 20}{100}$$

Los valores máximos observados de LAD nunca superan el valor de $2m^2/m^3$, por lo que deberá tenerse en cuenta esta restricción cuando el volumen de copa sea inferior a 20 m^3/olivo ($LAD \leq 2m^2/m^3$).

Cálculo de los coeficientes de evaporación desde el suelo

Igualmente podemos calcular los valores de **Ks** y **Kg** sin más que aplicar las expresiones [5], [6] y [7]. Podremos así obtener los valores de:

Transpiración del olivo: T = Kt x ETo
Evaporación de agua de lluvia desde la superficie del suelo: Es = Ks x ETo
Evaporación de agua de riego desde los bulbos húmedos: Eg = Kg x ETo

Evapotranspiración del olivar = T + Es + Eg = (Kt + Ks + Kg) x ETo

1.4. Ejemplo de cálculo del coeficiente de cultivo y de la evapotranspiración de una plantación de olivar

Queremos calcular los coeficientes mensuales de cultivo y la evapotranspiración de un olivar con una densidad de plantación de 100 olivos/ha; el diámetro medio de la copa de los árboles es 6,50 m y su altura 4,75 m (V = 10.500 m^3/ha = 1,05 m^3/m^2); y el agua se aplica utilizando una instalación de riego localizado con 4 emisores por árbol con un caudal de 4 l/h, que producen bulbos cuya mancha húmeda en superficie tiene 1,1 metros de diámetro. El olivar está previsto regarlo cada 2 días. Los valores mensuales de ETo, precipitación total mensual y número de días de lluvia de cada mes se muestran en la **tabla 5.5**. Se regará el olivar en el período **abril a octubre**.

Tabla 5.5: Valores medios mensuales de ETo , precipitación total y número de días de lluvia.

Mes	ETo (mm/d)	ETo (mm/mes)	Precipitación (mm/mes)	días lluvia/mes
E	1,07	33,2	51	5
F	1,64	45,9	53	8
M	2,81	87,1	59	8
A	3,68	110,4	46	5
My	4,97	154,1	35	3
Jn	5,65	169,5	10	1
Jl	6,80	210,8	5	1
Ag	5,88	182,3	7	1
S	4,07	122,1	7	3
O	2,60	80,6	42	7
N	1,42	42,6	47	8
D	0,96	29,8	66	5

A continuación se expone de forma ordenada el cálculo del valor **Kc** y finalmente el de la **ETc** del olivar:

a) Datos de entrada

a.1. **De cultivo**

- Densidad de plantación: **dp** = 100 olivos / ha
- Diámetro de copa: **D** = 6,50 m
- Altura de la copa: **H** = 4,75 m

a.2. **De clima** (ver **tabla 5.5**)

- Evapotranspiración de referencia: **ETo** (mm/d)
- Número mensual de días de lluvia: **n** (días/mes).

a.3. **Del sistema de riego**

- Número de goteros por árbol: **ng** = 4 goteros/olivo
- Diámetro medio del suelo humedecido por cada gotero : **Dg** = 1,1 m
- Intervalo entre riegos: **i** = 2 días

b) Cálculos intermedios

b.1. **Volumen de copa por olivo**:

$$\mathbf{V_0(m^3/olivo)} = \frac{1}{6}\pi \times D^2 \times H = 0{,}5236 \times 6{,}5^2 \times 4{,}75 = \mathbf{105\ m^3/olivo}$$

b.2. **Volumen de copa por unidad de superficie de suelo**:

$$\mathbf{Vu}\ (m^3/m^2) = V_0 \times \frac{dp}{10.000} = 105 \times 100 / 10.000 = \mathbf{1{,}05\ m^3/m^2}$$

b.3. **Fracción de suelo cubierto por la copa del olivar**:

$$\mathbf{CS}\ (\text{fracción}) = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{dp}{10.000} = (3{,}14 \times 6{,}5^2 \times 100) / 40.000 = \mathbf{0{,}33}$$

b.4. **Densidad de área foliar** (m^2 de hoja / m^3 de copa):

$$\text{LAD}\ (m^2/m^3) = 2 - \frac{V_0 - 20}{100} = 2 - (105 - 20)/100 = \mathbf{1{,}15\ m^2/m^3}$$

b.5. **Coeficiente de extinción de la radiación:**

$$Kr = 0.52 + 0.00079 \times dp - 0.76 \times e^{-1.25 \cdot LAD}$$

$$Kr = 0.52 + 0.00079 \times 100 - 0.76 \times 2{,}7183^{-1.25 \cdot 1.15} = \mathbf{0{,}418}$$

b.6. **Fracción de radiación interceptada por la copa de los olivos:**

$$Qd = 1 - e^{-Kr \times Vu}$$

$$Qd = 1 - 2{,}7183^{-0{,}418 \times 1{,}05} = \mathbf{0{,}355}$$

b.7. **Frecuencia mensual de lluvias:**

F = n / nº días del mes

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Nº días de lluvia	5	8	8	5	3	1	1	1	3	7	8	5
F	0,16	0,29	0,26	0,16	0,1	0,03	0,03	0,03	0,1	0,22	0,27	0,16

b.8. **Fracción de suelo humedecido por los goteros:**

- Durante la campaña de riegos

$$fw = \frac{\pi \times D_g^2}{4} \times \frac{n_g \times dp}{10.000} = (3{,}14 \times 1{,}1^2 \times 4 \times 100) / 40.000 = \mathbf{0{,}038}$$

- Fuera de la campaña de riegos

fw = 0

Estamos ya en condiciones de calcular los coeficientes mensuales de cultivo:

Coeficiente de transpiración, empleamos mensualmente la expresión:

$$Kt = Qd \times F_1 \times F_2$$

MES	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Qd	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
F1	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
F2	0,7	0,75	0,8	0,9	1,05	1,25	1,25	1,2	1,1	1,2	1,1	0,7
Kt	**0,18**	**0,19**	**0,20**	**0,23**	**0,27**	**0,32**	**0,32**	**0,31**	**0,28**	**0,31**	**0,28**	**0,18**

Coeficiente de evaporación desde la superficie del suelo, empleamos mensualmente la expresión:

$$Ks = \left[0{,}28 - 0{,}18 \times CS - 0{,}03 \times ETo + \frac{3{,}8 \times F \times (1 - F)}{ETo}\right] \times (1 - fw)$$

pero los valores de **Ks** mensualmente siempre deben ser superiores a un valor mínimo:

$$\mathbf{Ks_{min} = 0{,}3 \ / \ ETo}$$

MES	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
CS	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
ETo	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,8	5,88	4,07	2,6	1,42	0,96
F	0,16	0,29	0,26	0,16	0,1	0	0	0	0,1	0,22	0,27	0,16
fw	0	0	0	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0	0
Ks	**0,67**	**0,65**	**0,40**	**0,25**	**0,13**	**0,05**	**0,04**	**0,05**	**0,18**	**0,38**	**0,68**	**0,72**
Ksmin	0,2804	0,18	0,11	0,08	0,0604	0,05	0,04	0,05	0,07	0,12	0,21	0,31

En los meses de julio y agosto al ser **Ks** < **Ks** $_{min}$ se ha utilizado el valor de **Ks** $_{min}$.

Coeficiente de evaporación desde el suelo humedecido por los goteros (bulbos), empleamos mensualmente la expresión:

$$Kg = \frac{1{,}4 \times e^{-1{,}6 \times Qd} + (4{,}0 \times \frac{\sqrt{i-1}}{ETo})}{i} \times fw$$

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
ETo	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,8	5,88	4,07	2,6	1,42	0,96
Qd	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
i	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
fw	0	0	0	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0	0
Kg	0	0	0	0,036	0,03	0,029	0,03	0,03	0,03	0,044	0	0

La cantidad de agua evaporada desde los goteros será: **Eg = ETo x Kg**

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
ETo	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,8	5,88	4,07	2,6	1,42	0,96
Kg	0	0	0	0,036	0,03	0,029	0,03	0,03	0,034	0,044	0	0
Eg(mm/d)	0	0	0	0,131	0,15	0,161	0,18	0,16	0,137	0,115	0	0
Eg(mm/m)	0	0	0	3,9	4,7	4,8	5,5	5,1	4,1	3,6	0	0
Total (mm/año)												**31,8**

Finalmente, el coeficiente de cultivo resulta de: $K_c = K_t + K_s + K_g$

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Kt	0,18	0,19	0,20	0,23	0,27	0,32	0,32	0,31	0,28	0,31	0,28	0,18
Ks	0,67	0,648	0,396	0,249	0,135	0,049	0,04	0,05	0,176	0,378	0,679	0,724
Kg	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,00	0,00
Kc	**0,85**	**0,84**	**0,60**	**0,51**	**0,43**	**0,40**	**0,39**	**0,38**	**0,49**	**0,73**	**0,96**	**0,90**

Recordemos que para calcular la evapotranspiración (**ETc**) mensual de la plantación que vamos a regar debemos emplear la expresión [1]:

ETc = ETo x Kc

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
ETo (mm/d)	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,8	5,88	4,07	2,6	1,42	0,96	**1.269**
Kc	0,85	0,84	0,60	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,49	0,73	0,96	0,90	
ETc (mm/d)	0,91	1,38	1,69	1,89	2,16	2,24	2,62	2,26	2,00	1,90	1,36	0,87	
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
ETc (mm/mes)	**28,2**	**38,6**	**52,4**	**56,8**	**66,8**	**67,3**	**81,3**	**70,1**	**59,9**	**58,8**	**40,9**	**26,9**	**648**

Luego nuestro olivar y como resultado de los cálculos realizados tiene una **evapotranspiración anual de 648 mm**, con valores mensuales de ETc que se especifican en la tabla anterior, y que oscilan entre **26,9 mm** para el mes de diciembre, de menor demanda, y **81,3 mm** para el mes de julio, máxima demanda.

Junto con este libro se entrega un CD que contiene una aplicación informática realizada en EXCEL con la que el lector podrá realizar los cálculos de **Kc** y **ETc** para todo tipo de olivar, utilizando los datos de partida que se detallan en el presente apartado: características de la plantación (densidad, dimensiones de los árboles), datos climáticos (ETo, pluviometría y número de días de lluvia), características de la instalación de riego (número de goteros) y finalmente manejo de la instalación de riego(intervalo entre riegos, diámetro de los bulbos).

1.5.- Consideraciones sobre los valores de Kc y ETc en plantaciones regadas de olivar.

Aunque caigamos en la trampa de ser reiterativos, queremos recordar, finalmente, que la **ETc** de un determinado olivar depende fundamentalmente de:

- el **marco de plantación**,
- el **tamaño de los árboles** D y H (ver figura 5.4),
- la **práctica de poda**, que permite reducir o aumentar el volumen de copa de los olivos (**CS**), y modificar por tanto el consumo de agua por la plantación.
- la **historia previa de riego o secano del olivar que vamos a regar**.

Así, en un olivar de 200 árboles / ha bien regados y poco podados, los valores de **Kc** serán altos, por lo que podría llegarse a alcanzar altos valores de ETc (altas necesidades de agua de riego), muy superiores a los que se alcanzarían en un olivar tradicional con una poda clásica de secano. En olivares tradicionales (50 – 100 árboles/ha) de secano el marco de plantación y la poda que tradicionalmente se realiza limitan el consumo de agua, adaptándolo a las disponibilidades que dictan las condiciones de secano, condicionado por la lluvia anual y el tipo de suelo (capacidad de retención y profundidad); si estos mismos olivares se transformaran en regadío su volumen de copa aumentaría notablemente en el transcurso de los años y con ello el valor del **Kc**, no llegándose a alcanzar una **ETc máxima** hasta transcurrido un cierto tiempo desde la puesta en riego, lo que debe ser siempre tenido en cuenta a la hora de diseñar el sistema de riego (ver capítulo 10) y en la programación anual de riego en los años sucesivos.

Como ejemplo de los expuesto en el párrafo anterior, y reiterando los cálculos expuestos en 1.1.4 para las condiciones agronómicas y de manejo del riego que hemos analizado anteriormente, utilizando los datos climáticos mostrados en la **tabla 5.5**, en la **tabla 5.6** mostramos los valores de los coeficientes de cultivo que habría que aplicar a diferentes plantaciones de olivar en función de su densidad de plantación (100, 200 y 300 olivos/ha) y del volumen de copa de los árboles (7.000 , 9.000 y 11.000 m^3/ha), en las mencionadas condiciones agroclimáticas.

Tabla 5.6: Valores del coeficiente de cultivo Kc para plantaciones de olivar en función de su densidad de plantación y volumen de copa, para las condiciones climáticas y de cultivo mostradas en el apartado 1.1.4. Se considera que en el olivar con 100 olivos/ha se instalan 4 goteros/árbol, mientras que en los olivares con 200 y 300 olivos/ha se instalan 2 goteros/árbol . El diámetro medio de los bulbos en la superficie del suelo es de 1,1 m.

Mes	N= 100 olivos/ha			N= 200 olivos/ha			N= 300 olivos/ha		
	Volumen de copa (m^3/ha)			Volumen de copa (m^3/ha)			Volumen de copa (m^3/ha)		
	7.000	9.000	11.000	7.000	9.000	11.000	7.000	9.000	11.000
E	0,80	0,82	0,82	0,83	0,85	0,87	0,83	0,85	0,88
F	0,82	0,83	0,84	0,84	0,87	0,90	0,85	0,88	0,90
M	0,58	0,59	0,60	0,60	0,64	0,66	0,61	0,64	0,67
A	0,48	0,50	0,51	0,52	0,55	0,58	0,53	0,57	0,59
My	0,40	0,42	0,44	0,44	0,48	0,51	0,45	0,49	0,53
Jn	0,37	0,40	0,42	0,42	0,47	0,51	0,43	0,49	0,53
Jl	0,33	0,37	0,40	0,38	0,44	0,49	0,40	0,46	0,51
Ag	0,35	0,38	0,40	0,40	0,45	0,49	0,41	0,46	0,51
S	0,45	0,48	0,49	0,49	0,54	0,57	0,51	0,55	0,59
O	0,69	0,72	0,74	0,74	0,79	0,83	0,75	0,80	0,85
N	0,94	0,97	0,99	0,98	1,03	1,07	0,99	1,04	1,08
D	0,88	0,89	0,90	0,90	0,93	0,95	0,90	0,93	0,95



Fotografía 5.4: Al fondo olivares de secano (izquierda) y riego (derecha) en la comarca de La Loma (provincia de Jaén), en los que a simple vista se observan notables diferencias de volumen de copa y frondosidad, y en definitiva diferente índice de área foliar. Es lógico pensar que no se podrían regar estos dos olivares con idéntica dosis de agua. En la programación de riegos es fundamental el conocimiento del tamaño medio de la copa de los árboles de la plantación a regar, y es la primera información de la que debemos disponer.

En Andalucía y en suelos franco-arcillosos podemos considerar que el valor de **Kc** para los **olivares adultos tradicionales** (100 árboles/ha) oscila en el intervalo comprendido entre 0,33 - 0,99 dependiendo ello del mes y del volumen de copa de los olivos (**tabla 5.6**), dependiendo ello del tipo de poda realizada que restringe o permite el desarrollo de los árboles. En función de estos valores de Kc y de los valores de ETo, los valores de **ETc** para estas plantaciones pueden estar comprendidos (**tabla 5.7**) entre 605 y 660 mm/año. Si se tratara de **plantaciones intensivas** (> 200 olivos/ha), los valores de Kc (**tabla 5.6**)estarían comprendidos entre 0,38 – 1,08, y los valores de ETc (**tabla 5.7**) serían cosiderablemente superiores a los obtenidos en olivar tradicional que, en función de la densidad de plantación y del volumen de copa, podrían estar en el rango de 656 a 783 mm anuales.

Para el cálculo de los datos que mostramos en las referidas tablas hemos empleado las expresiones [1] y [3], teniendo en cuenta el sistema de riego localizado que incluye la instalación de 4 emisores por olivo en el olivar tradicional y 2 en el intensivo; y las datos climáticos correspondientes a la estación meteorológica de Santo Tomé (**tabla 5.5**). Estos datos solamente son válidos en las mencionadas condiciones agroclimáticas.

Tabla 5.7: Evapotranspiración (mm) mensual y anual de plantaciones de olivar en función de su densidad de plantación y volumen de copa, para las condiciones climáticas y de cultivo mostradas en el apartado 1.1.4 y tabla 5.6.

Mes	N= 100 olivos/ha			N= 200 olivos/ha			N= 300 olivos/ha		
	Volumen de copa (m^3/ha)			Volumen de copa (m^3/ha)			Volumen de copa (m^3/ha)		
	7.000	9.000	11.000	7.000	9.000	11.000	7.000	9.000	11.000
E	28	29	29	29	30	31	29	30	31
F	38	38	39	39	40	41	39	40	41
M	50	52	53	53	55	58	53	56	58
A	53	56	57	57	61	64	59	62	66
My	61	65	67	67	74	79	70	76	82
Jn	63	68	71	70	79	87	73	82	90
Jl	70	78	83	80	93	104	84	97	108
Ag	64	70	73	72	81	89	75	84	92
S	55	59	60	60	66	70	62	67	72
O	56	59	60	60	64	67	61	65	69
N	40	42	42	42	44	46	42	44	46
D	26	27	27	27	28	29	27	28	29
TOTAL	**605**	**641**	**660**	**656**	**714**	**762**	**675**	**733**	**783**

2.- FUNDAMENTO DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR. MÉTODO DEL BALANCE DE AGUA.

El objetivo del riego es evitar que el contenido de agua del suelo descienda por debajo de un nivel umbral por debajo del cual el cultivo sufre déficit hídrico (ver capítulo 3), situación en la que la producción se reduciría. Para alcanzar el objetivo de máxima producción las **técnicas de programación de riego** permiten determinar:

- **cuándo es necesario regar**
- **qué dosis de agua hay que aplicar en cada uno de los riegos.**

El método FAO de **balance de agua** (Doorenbos y Pruitt, 1977) es el más extendido para programar riegos, y consiste en calcular las variaciones en el contenido de agua en el suelo en un determinado periodo de tiempo, como la diferencia entre las entradas y las salidas de agua al sistema (parcela). La ecuación del balance de agua se puede escribir como:

$$AS_t = AS_{t-1} + RN + PE - ETc \quad [8]$$

en la que AS_i son los ***contenidos de agua del suelo*** (mm) al **inicio** ($i = t-1$) y **final** ($i = t$) del período de tiempo considerado, periodo que puede oscilar entre 1 día y un mes; **RN, PE** y **ETc** son, respectivamente, las cantidades de **riego neto**, la **precipitación efectiva** y la **evapotranspiración máxima del cultivo** durante el periodo de tiempo considerado, cantidades expresadas en mm.

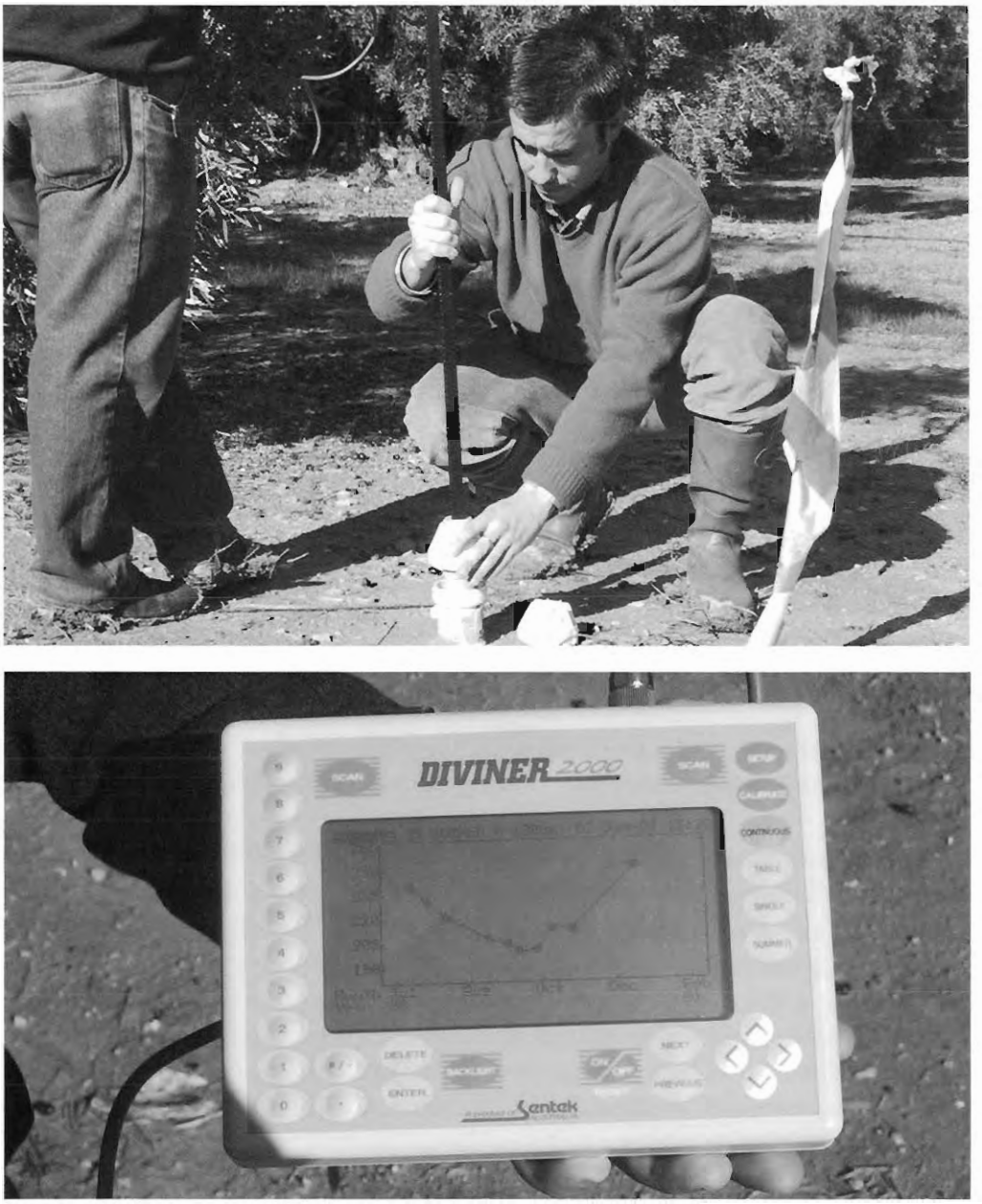
2.1.- Déficit de agua en el suelo

Para programar el riego resulta conveniente expresar el contenido de agua del suelo en términos de **déficit de agua en el suelo (DAS)** o cantidad de agua que le falta al suelo para estar lleno (capacidad de campo). Luego la expresión [4] se puede escribir:

$$DAS_t = DAS_{t-1} + ETc - RN - PE$$

en donde DAS_{t-1} y DAS_t son respectivamente el **déficit de agua en el suelo** (en mm) al inicio y al final del período de tiempo considerado.

El cálculo del **DAS** mediante esta expresión permite programar los riegos adoptando como regla de decisión que el **DAS** ha de ser siempre inferior a un valor umbral, denominado **déficit de agua en el suelo permisible (DASP)**, valor por debajo del cual la producción probablemente se vea afectada por el déficit hídrico.



Fotografía 5.5: Para programar anualmente el riego resulta conveniente conocer el contenido de agua del suelo al final del invierno, ya que este agua puede cubrir parte de las necesidades del cultivo a lo largo de la primavera y el verano. Un método no destructivo y rápido de evaluar esta disponibilidad de agua es emplear sondas, con ayuda de las cuales (tras una minuciosa calibración) podemos calcular dicha disponibilidad hídrica. En la imagen de la izquierda técnico del Servicio de Asesoramiento al Regante midiendo el contenido de agua en el perfil a través de un tubo de acceso a sonda FDR colocado hasta 1,3 m de profundidad en este caso. Esta sonda mide con intervalo de 10 cm de profundidad, almacenándose los datos en un ordenador. La fotografía de la derecha muestra el display con los contenidos puntuales de agua en el perfil, así como la evolución de dicho contenido a lo largo de la campaña. En la imagen una medición realizada a mitad del mes de enero cuando el perfil ya se había recargado gracias a las lluvias de otoño e invierno.

En el olivar adulto en plena producción, debido a:

- la naturaleza perenne del cultivo,
- al buen desarrollo de su sistema radical que explora la totalidad del suelo
- a su **ETc** relativamente baja

probablemente podría agotarse el perfil hasta un **75% de la máxima cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo** (NAP = 0,75) sin que su producción se viera afectada, aunque su crecimiento sí que podría afectarse, lo cual tiene escasa importancia en olivares adultos. Por tanto, para programar los riegos para máxima producción en el **olivar de almazara en plena producción** se establecerá como criterio, ver expresión [9], que el déficit de agua del suelo no supere el siguiente valor umbral :

$$AD = \frac{0{,}75 \times (CC - PMP) \times Da \times z}{100} \qquad [9']$$

Si se tratase de la programación del riego de un **olivar joven en crecimiento**, utilizar un valor del NAP = 0,75 probablemente fuese arriesgado, ya que se afectaría el crecimiento de los árboles, y en este tipo de plantaciones debe aspirarse a alcanzar la máxima capacidad productiva en el mínimo tiempo posible.

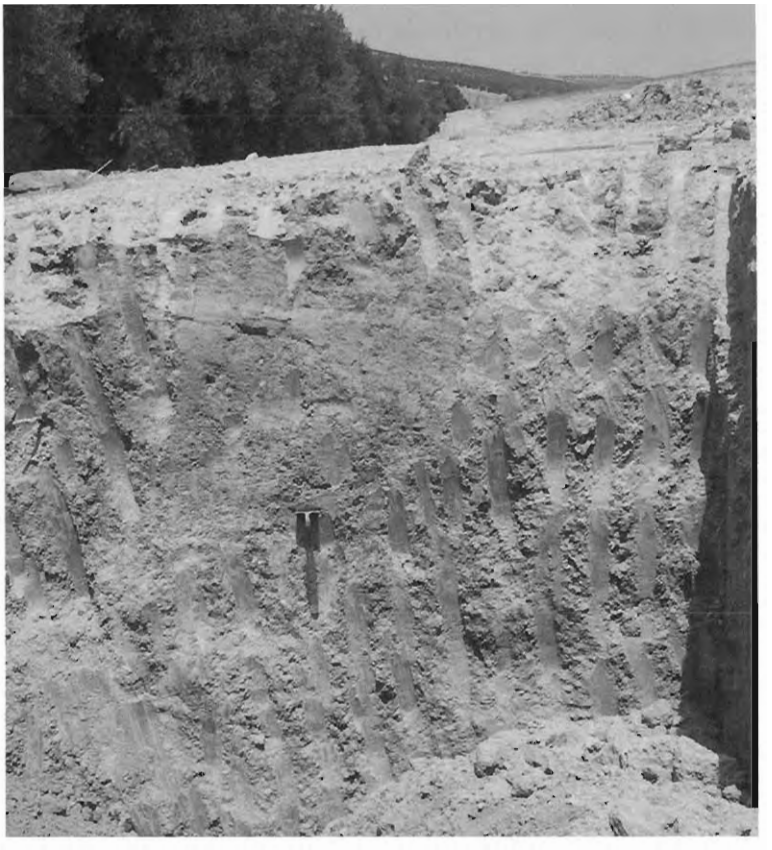
Aplicando la fórmula anterior [9'], en la **tabla 5.8** se calculan los valores de **DASP** para diferentes fracciones limo fino + arcilla (**LFA**), valores expresados en milímetros de lámina de agua para cada decímetro de profundidad del perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo.

Tabla 5.8: Valores medios de déficit de agua en el suelo permisible (DASP) para suelos con diferentes fracciones limo fino + arcilla (%). Valores expresados en mm por cada decímetro de suelo explorado por las raíces del cultivo.

LFA (%)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
DASP (mm/dm)	9,6	10,6	11,4	12,0	12,6	13,0	13,3	13,6	13,8	14,0	14,1	14,3	14,3

Con ayuda de la **tabla 5.8** podemos estimar el valor del **DASP** de un determinado suelo conociendo, para cada uno de los horizontes que componen el perfil, su profundidad y el valor de la fracción LFA . Por **ejemplo**, para un suelo compuesto por **dos horizontes** con profundidades de z_1 = 35 cm y z_2 = 65 cm cada uno de ellos, y con fracciones LFA iguales a 40 y 60 % respectivamente. Con esta información y recurriendo a la **tabla 5.8** los valores de $DASP_1$ = 13,0 mm/dm y $DASP_2$ = 14,00 mm/dm. Ahora podemos calcular el déficit permisible de agua en el suelo, que sería igual a:

DASP = z_1 (dm) x $DASP_1$ (mm/dm) + z_2 (dm) x $DASP_2$ (mm/dm) =
= (35 / 10) x 13,0 + (65 / 10) x 14,0 = **136,5 mm**





Fotografía 5.6: En la programación de riegos influye igualmente el tipo de suelo en el que vegeta la plantación de olivar. Arriba, suelo franco arcilloso de campiña muy profundo (> 1,5 m) de la comarca de la Loma, suelo que tiene una gran capacidad de almacenamiento de agua. Debajo, suelo pedregoso y muy poco profundo en la Fernandina en la comarca de Sierra Morena, con una reducida capacidad de almacenamiento de agua. Con una pluviometría similar y para idéntica plantación, en el primer suelo habría que emplear una dotación anual de agua de riego notablemente inferior que en el suelo de Sierra Morena.

En este suelo, el riego del olivar **partiendo de un perfil totalmente lleno de agua** se programará, como hemos dicho anteriormente, de manera que el déficit de agua en el suelo nunca supere el valor de **136,5 mm**, valor que podemos denominar **reserva máxima de agua en el suelo**. Para que se alcance dicho valor máximo debe producirse una adecuada pluviometría, siendo normal que en muchas plantaciones y/o años no se llegue a producir el llenado total del perfil. En este caso, si a principio de abril vamos a comenzar la campaña de riegos, para el cálculo del balance de agua partiríamos del contenido real de agua en el suelo a final del mes de marzo.

2.2.- Cálculo de las necesidades de agua de riego

Teniendo en cuenta lo expuesto en los párrafos anteriores, las necesidades de riego vendrían dadas por la expresión:

Riego = ETc – Reserva de agua almacenada en suelo – PE

siendo **PE** la **precipitación efectiva**, cuyo concepto y modo de cálculo explicaremos más adelante. Debemos tener en cuenta que en un determinado momento del ciclo vegetativo del cultivo la **reserva de agua almacenada en suelo** que aplicaremos para calcular la dotación de riego nunca puede ser mayor que el **DASP** que hemos calculado.

Esta cantidad de agua que teóricamente habría que aportar como riego hay que mayorarla, dividiendo por la **eficiencia de aplicación del sistema de riego** (ver capítulo 10), que en instalaciones de riego por goteo bien diseñadas puede alcanzar valores entre 0,9 y 0,95, luego:

Riego bruto (a aplicar) = **Riego neto** (calculado) / **Eficiencia de aplicación del sistema**

Por **ejemplo**, si las necesidades diarias calculadas fuesen de 80 litros por árbol y día (**riego neto**), y la eficiencia de aplicación del sistema es del 95 %, la cantidad de agua a aportar diariamente (**riego bruto**) sería:

Riego bruto = 80 / 0,95 = 85 litros / día

El **agua de lluvia** puede perderse por escorrentía superficial o por percolación profunda, y solamente una fracción de la misma, denominada **precipitación efectiva** (**PE**), queda almacenada en el suelo a disposición del cultivo. La **PE** es función de la intensidad de la lluvia y de las características del suelo que afectan a su **velocidad de infiltración**. La mayor

parte de los métodos propuestos para la estimación de **PE** son poco exactos por lo que en la programación de riegos utilizaremos las recomendaciones del Bureau of Reclamation (USA) que, en función de los datos de precipitación total mensual (**P**), propone el empleo de las siguientes expresiones:

Si P < 250 mm/mes
PE = P x [(125 – 0,2 x P) / 125] [10]
Si P > 250 mm/mes
PE = 125 + 0,1 x P

expresiones en las que **P** y **PE** se dan en mm/mes.

Se despreciarán las lluvias de escasa cuantía (inferiores a 25 mm/día) que se produzcan en los meses de verano (junio-agosto), las cuales se perderían por evaporación directa a la atmósfera sin que el cultivo pueda llegar a utilizarlas.

A continuación vamos a realizar un ejemplo que ilustrará el cálculo de la precipitación efectiva. Utilizaremos los datos de precipitación mensual que se muestran en la **tabla 5.9**. Teniendo en cuenta que en ninguno de los meses del año se superan los 250 mm de lluvia estimaremos la PE aplicando la expresión [10]. Hemos despreciado las precipitaciones de los meses de junio a agosto.

Tabla 5.9: Cálculo de la precipitación efectiva (PE) a partir de las lluvias mensuales.

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
P (mm)	51	53	59	46	35	10	5	7	45	42	47	66
PE (mm)	47	48	53	42	33	0	0	0	42	39	44	59

P = 466 mm/año
PE = 407 mm/año

En los meses junio, julio y agosto, por esporádicas, se desprecian como efectivas la precipitaciones producidas.



Fotografía 5.7: La dosis de agua de riego a aplicar depende de las características de la plantación en la que pretendemos aplicar el agua. A la izquierda plantación intensiva de la variedad 'Manzanilla' de tres años de edad con marco de plantación 7 x 3,5 m. A la derecha olivar tradicional de la variedad 'Picual', con 65 árboles/ha.

3.- PROGRAMACIÓN DE RIEGOS CUANDO SE EMPLEAN SISTEMAS DE ALTA FRECUENCIA

En los apartados 1 y 2 de este capítulo hemos presentado las bases para la programación de riego. Ahora ya estamos en condiciones de programar el riego para las diferentes situaciones: tipología de suelos y condiciones climáticas; tipo de olivar (volumen de copa y marco de plantación); sistema de riego de alta frecuencia (goteo o microaspersión de baja cobertura del suelo). No hacemos referencia a la programación de riegos cuando se emplean sistemas de riego de baja frecuencia (aspersión o riego a pie) por estar en desuso en la actualidad en olivar, ya que estos sistemas no se adaptan a la estructura del cultivo (suelos en pendiente, grandes elevaciones desde la fuente de agua), ni son compatibles con el coste real del agua. Además, en las concesiones administrativas se exigen sistemas de riego por goteo de alta frecuencia, pretendiendo con ello obtener una máxima eficiencia de aplicación.

Los sistemas de riego por goteo de alta frecuencia son muy eficaces porque con un coste de instalación similar al de otros sistemas, permiten obtener una mayor eficiencia de aplicación cuando el sistema está bien diseñado. Prueba de ello son los datos de un experimento llevado a cabo durante 8 años en un olivar de la isla de Córcega por Le Bourdelles *y col.* (1983), en el que compararon las producciones obtenidas con riego por goteo y con riego por aspersión. Los resultados medios obtenidos, en el mencionado periodo de tiempo, en lo referente a consumos de agua y aumentos de producción fueron los siguientes:

Sistema de riego	Agua aplicada m^3 / ha	Aumento de producción goteo/aspersión (%)
Aspersión	3.670	—
Goteo	2.360	8

En la tabla anterior vemos como en riego por goteo se ahorró un 55 % de agua con respecto al sistema de aspersión, consiguiéndose un aumento de producción del 8 %, lo que prueba la gran eficiencia de los sistemas de riego por goteo.

En función de las disponibilidades de agua, de la superficie de olivar a regar, de la climatología de la zona, del tipo de suelo y de la concesión administrativa de agua, la programación del riego podemos realizarla teniendo o no en cuenta la **reserva** de agua de lluvia almacenada en el suelo durante el invierno. Como veremos, en muchas situaciones la reserva puede abastecer una parte importante de las necesidades anuales del cultivo, por lo que cuando tenemos limitadas las disponibilidades de agua, la utilización de la reserva puede permitir regar una mayor superficie con un determinado volumen de agua de riego disponible.

A partir de los siguientes datos:

- tipo de olivar a regar
  - ¬ densidad de plantación,
  - ¬ diámetro y altura de la copa o volumen de copa de los árboles
- propiedades físicas de cada uno de los horizontes del suelo (profundidad y fracción limo fino + arcilla)
- datos climáticos:
  - ¬ valores medios mensuales de **ETo** y **PE** (si vamos a realizar calendarios fijos de riego), o
  - ¬ \estimaciones diarias actualizadas de **ETo** y **PE** (si vamos a realizar calendarios de riego a tiempo real).

la **programación de riegos** permite calcular la cantidad de agua a aportar (**riego neto**) en un determinado **periodo de tiempo** empleando la expresión:

Riego Neto = ETc – PE – Reserva del suelo que queramos consumir en el periodo

A continuación introduciremos al lector en la metodología de programación, mostrando las ventajas e inconvenientes de cada una de las estrategias propuestas.

3.1.- Programación de riegos teniendo en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa.

Una **primera estrategia** consistiría en regar "deficitariamente" durante los meses de máxima demanda, de manera que este déficit sea compensado por el árbol mediante la extracción del agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa (**reserva**). Puesto que la capacidad de almacenamiento de agua en determinado tipo de suelos (profundos y con alta capacidad de retención) es elevada, podría programarse el riego de modo que el **consumo de la reserva** se realice en los meses más deficitarios (verano), siempre que evitemos que no se vacíe el suelo por debajo del déficit permisible (**DASP**).

En suelos con adecuada capacidad de almacenamiento de agua, la ventaja que presenta esta estrategia de programación de riegos estriba en que las dosis de riego serían más o menos constantes durante los meses de verano, lo que facilitaría mucho el manejo de riego. Además, en este caso las necesidades punta se verían bastante reducidas (unos 50 mm/mes en olivar tradicional, equivalentes a un caudal ficticio continuo de 0,18 a 0,22 l/seg/ha).

Como inconveniente debemos advertir que con este tipo de estrategia de programación (programa fijo interanual), en los **años secos** se corre el riesgo de que el cultivo sufra déficit hídrico, y por tanto se reduzca su producción. La estrategia óptima dependerá de la disponibilidad de agua para riego, e idealmente debería ser ajustada a las condiciones ambientales de

cada año. Habrá que prestar especial atención al caso de **inviernos secos** en los que la campaña de riegos deberá comenzar antes (febrero – marzo) para evitar así que el cultivo sufra déficit hídrico en la fase de **diferenciación floral a floración**, época en la que el olivo es **muy sensible al déficit** (ver capítulo 4).

Es importante destacar que en las distintas zonas productoras de Andalucía es muy grande la variabilidad en cuanto a las condiciones:

- climáticas (demanda evaporativa y precipitación),
- de suelo y
- de cultivo.

Sin embargo, para una determinada zona, la variabilidad estacional interanual de **ETo** es relativamente pequeña, siendo **la pluviometría el parámetro que ofrece mayor incertidumbre a la hora de programar el riego** con utilización de la reserva almacenada en el suelo, pero este dato es fácil de medir.

Hay que tener también en cuenta que si en lugar de tratarse de un olivar de marco tradicional se tratase de uno intensivo, sus necesidades estacionales de riego serían superiores para las mismas condiciones de clima (ver datos de ETc en la **tabla 5.7**) y suelo, dependiendo ello del volumen de copa y la densidad de plantación empleada.

3.2.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa.

Teniendo en cuenta que cuando se dispone de una instalación de riego localizado bien diseñada se pueden aplicar los riegos con una gran frecuencia (normalmente riego diario o semanal a lo sumo), si se dispusiera de abundante cantidad de agua y esta tuviese un bajo coste, podría ignorarse el papel del suelo como almacén de agua. En este caso la estrategia de programación de riego por goteo consistiría en aplicar una cantidad de agua equivalente a la diferencia:

$$\text{Riego} = \text{ETc} - \text{PE}$$

habría que regar durante todos los meses deficitarios (abril – septiembre en Andalucía), es decir en los meses en los que **ETc** es mayor que la precipitación efectiva (ETc > PE). Esta estrategia ignora la reserva de agua almacenada en los suelos durante los meses excedentarios de agua (noviembre – marzo), por lo que teóricamente el suelo estaría siempre lleno de agua.

Esta forma de programar el riego presenta la ventaja de que la **reserva** actuaría como ***colchón de seguridad*** que puede absorber la infraestimación que en la **ETc - PE** se produce en los años secos. Sin embargo, presenta el inconveniente de que se desperdiciaría mucha agua (que en la mayoría de las situaciones no tenemos) al quedar relativamente lleno de agua el perfil al

final del periodo de riego, por lo que teóricamente parte del agua de lluvia iría a escorrentía o drenaje, y las necesidades serían muy es elevadas (90 mm/mes durante el mes de julio para un olivar de 100 árboles/ha y 9.000 m^3/ha de volumen de copa), lo que equivale a un caudal ficticio continuo de 0,45 l/seg/ha, del que casi nunca se dispone en las clásicas zonas olivareras.

4.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR

4.1.- Programación del riego con agotamiento progresivo de la reserva de agua del suelo.

Después de presentar los fundamentos genéricos de la programación del riego en el cultivo del olivar, con el cálculo de : **ETo, Kc, PE** y **DASP**, vamos a explicar la metodología de cálculo de las aportaciones diarias de agua de riego, aplicándola al caso concreto de un olivar tradicional adulto de la provincia de Jaén, olivar e instalación de riego que fue descrito en el apartado 1.1.4, apartado en el que se siguió el proceso de cálculo del coeficiente de cultivo (**Kc**) y el de la evapotranspiración (**ETc**).

Recordemos las características del olivar para el que vamos a programar el riego:

- **Marco de plantación** 10 x 10 m (100 olivos/ha)
- **Volumen de copa** 10.500 m^3/ha (diámetro de copa 6,5 m, altura 4,75 m).
- **Datos climáticos** (PE y ETo) : el olivar está situado en la localidad de Santo Tomé en la provincia de Jaén (ver datos de la **tabla 5.5**).
- El **suelo** en la zona explorada por las raíces del cultivo está constituido por dos horizontes de 35 y 65 cm de profundidad cada uno de ellos y con una granulometría cuyas fracciones limo fino + arcilla son 40% y 60 % respectivamente.
- **Instalación de riego**: se emplea un sistema de riego por goteo, habiéndose previsto la instalación de 4 emisores de 4 l/h por árbol, que en nuestro suelo produce unas manchas cuyo diámetro medio es 1,1 m. La finca se riega en dos sectores.

Pasos a seguir en la programación del riego

a) Cálculo o búsqueda de los valores de la ETo

Los datos se muestran en la tabla 5.5

b) Precipitación media total y efectiva.

Los valores de PE empleando para el cálculo la expresión [10] propuesta por el Bureau of Reclamation (USA) se muestran en la tabla siguiente:

MES	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
P (mm)	51	53	59	46	35	10	5	7	45	42	47	66
PE (mm)	47	48	53	42	33	0	0	0	42	39	44	59

Como vemos, los meses de julio y agosto son los de menores precipitaciones, seguidos por junio y septiembre, lo que califica claramente la sequía estival, típica de los entornos mediterráneos, lo que contrasta con la máxima **ETo** registrada en estos meses. Por el contrario, la pluviometría presenta máximos correspondientes a los bimestres febrero-marzo y noviembre-diciembre, épocas con unos pequeños valores de **ETo**. Este hecho permite que en el periodo otoño-invierno se acumule agua en el perfil constituyendo una reserva útil que en el periodo primavera-verano abastecerá una parte de las necesidades del cultivo.

c) Cálculo de la reserva máxima de agua en el suelo.

Un suelo no tiene una capacidad infinita para almacenar agua, por lo que una vez que el suelo se llena hasta capacidad de campo, el exceso se perdería por precolación profunda y/o por escorrentía superficial.

A efectos de programación de riego, el cálculo del valor de la **reserva máxima** utilizable que es capaz de almacenar el suelo, y para cada uno de los horizontes del perfil, se realizará utilizando los datos de la **tabla 5.8,** teniendo en cuenta asimismo la **profundidad** de cada uno de los horizontes y los correspondientes valores de la fracción **limo fino + arcilla**, datos que deben conocerse a la hora de programar el riego, por lo que es necesario haber realizado previamente los análisis de suelo. Para el cálculo de dicha reserva máxima se empleará la expresión:

$$\text{Reserva}_{máx} = z_1\ (\text{dm}) \times \text{DASP}_1\ (\text{mm/dm}) + z_2\ (\text{dm}) \times \text{DASP}_2\ (\text{mm/dm})$$

En nuestro ejemplo:
DASP_1 (para LFA = 40%) = 13,0 mm/dm (ver **tabla 5.8**)
DASP_2 (para LFA = 60%) = 14,0 mm/dm (ver **tabla 5.8**)

$$\text{Reserva}_{máx} = 3{,}5\ \text{dm} \times 13{,}0\ \text{mm/dm} + 6{,}5\ \text{dm} \times 14{,}0\ \text{mm/dm} = \mathbf{136\ mm}$$

Para evitar errores reiteramos que la **reserva máxima** (136 mm en este caso) es en realidad la cantidad máxima que puede almacenar el suelo en un año de alta pluviometría. Si la lluvia fuese excesiva se produciría escorrentía y/o precolación profunda, y la cantidad disponible por el cultivo para cubrir sus necesidades sería únicamente dicha reserva máxima, 136 mm; mientras que si la pluviometría fuese escasa está claro que no llegaría a llenarse el perfil, por lo que a efectos de la programación del riego para ese año el agua disponible para el cultivo sería muy inferior a dicho máximo. En este caso habría que realizar una medición directa (gravimetría,

sonda de neutrones, sondas FDR, etc.), o una estimación teniendo en cuenta la ETc y la PE en los diferentes meses del periodo otoño-invierno.

e) Cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

Para el cálculo de **ETc** emplearemos la expresión [1] y la aplicaremos para obtener los valores mensuales. En el apartado 1.1.4, se siguió el proceso de cálculo del coeficiente de cultivo (Kc) y el de la evapotranspiración (ETc). En la siguiente tabla mostramos un resumen de los valores que se obtuvieron:

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
ETo (mm/d)	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,8	5,88	4,07	2,6	1,42	0,96	**1.269**
Kc	0,85	0,84	0,60	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,49	0,73	0,96	0,90	
ETc (mm/mes)	28,2	38,6	52,4	56,8	66,8	67,3	81,3	70,1	59,9	58,8	40,9	26,9	**648**
PE (mm/mes)	47	48	53	42	33	0	0	0	42	39	44	58	**406**

f) Cálculo de le reserva real disponible de agua en el suelo a la salida del invierno

Para ello preparamos un estadillo u hoja de cálculo en EXCEL como el mostrado en la **tabla 5.12** en el que columna por columna y mes por mes vamos anotando los conceptos que a continuación se detallan:

En la primera columna se incluyen los meses del año, comenzando en octubre (comienzo de la estación lluviosa a efectos de almacenamiento de agua en el suelo) y finalizando en septiembre. **A final de este mes se debería llegar** con el perfil en DASP, o lo que es lo mismo **con la reserva de agua del suelo consumida.** Los valores medios mensuales de **ETc**, que habremos calculado anteriormente, serán trasladados a la segunda columna de la **tabla 5.12**, y a la tercera columna se trasladan los valores de precipitación efectiva (PE) expresados ambos en mm/día.

En la tabla 5.12 vemos como la **ETc anual** (suma de las ETc mensuales) ascendaría en este olivar a **656 mm**. También podemos observar como la precipitación efectiva (**PE**) media anual (suma de las PE mensuales) asciende a **406 mm**. La diferencia entre ambos valores habría que cubrirla con el **riego**:

Riego = ETc – PE = 651 mm/año – 408 mm/año = 243 mm/año < > **2.430 m³ / ha. año**

Tabla 5.12: Cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar con 100 árboles/ha y un volumen de copa de 10.500 m3/ha, con datos climáticos de la localidad de Santo Tomé (Jaén), planificando el consumo progresivo de la reserva de agua del suelo de modo que a final de verano hayamos dejado el suelo a nivel del DASP. Los datos de profundidad de suelo y fracción LFA aparecen en el texto (apdo. 4.1).

MES	ETc mm/día	PE mm/día	ETc-PE mm/día	RESERVA mm/mes	RESERVA ACUMULADA otoño-invierno mm	RIEGO l/ol.día	RIEGO mm/mes	RESERVA DISPONIBLE mm
O	1,92	1,26	0,66	-20,4	0,0	66	20,5	0
N	1,41	1,45	-0,04	1,3	1,3	0	0,0	1
D	0,87	1,90	-1,03	32,1	33,4	0	0,0	33
E	0,93	1,51	-0,61	18,8	52,2	0	0,0	52
F	1,38	1,73	-0,36	10,2	62,4	0	0,0	62
M	1,69	1,72	-0,03	1,1	63,4	0	0,0	64
A	1,88	1,42	0,46	-13,8		47	14,1	64
My	2,16	1,07	1,09	-33,8		160	49,6	80
Jn	2,35	0,00	2,26	-67,9		160	48,0	60
Jl	2,66	0,00	2,66	-82,4		160	49,6	27
Ag	2,32	0,00	2,27	-70,3		160	49,6	6
S	2,00	1,39	0,61	-18,2		40	12,0	0
Total	**651**	**408**					**243**	

La **reserva real de agua en el suelo** constituye la fracción de lluvia que se infiltra en el perfil y que no se evapora o es consumida por el cultivo:

Reserva mensual (mm) = [ETc (mm/día) – PE (mm/día)] x nº días del mes

En la columna 4 de la **tabla 5.12** se muestra el valor de la sustracción **ETc – PE**. En dicha columna observamos que existen valores mensuales positivos y negativos. Si la cantidad resultante fuese positiva (**ETc > PE**), en ese mes se produciría un consumo por el cultivo del agua almacenada en el perfil (se reduciría la reserva); mientras que si la cantidad resultante fuese negativa (**ETc < PE**), el perfil se iría recargando poco a poco, sin que en el transcurso del tiempo pueda llegarse a sobrepasar una cantidad máxima que hemos denominado **reserva máxima** cuyo valor en este caso es de **136 mm.** Vemos como durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, al ser **ETc < PE** se nos recargaría el perfil en:

Recarga mensual = [ETc –PE] mm/día

Si consideramos que a final del mes de septiembre hemos dejado el suelo vacío de agua, y si mes a mes vamos acumulando agua en el suelo a partir del día 1 de octubre, la reserva acumulada en el periodo lluvioso 1 de octubre - 31 de marzo, ascendería a (ver columna 6 de la **tabla 5.12**):

Reserva total disponible a 31 de marzo = 0,04 mm/día (noviembre) x 30 días/mes + 1,03 (diciembre) x 31 + 0,61 (enero) x 31 + 0,36 (febrero) x 28 + 0,03 (marzo) x 31 = 1,3 (noviembre) + 32,1 (diciembre) + 18,8 (enero) + 10,2 (febrero) + 1,1 (marzo) = **63,4mm/año**

vemos que esta cifra es bastante menor que la **reserva máxima** de 136 mm, que anteriormente calculamos, por lo que a efectos de programación del riego en este caso consideramos como **reserva disponible** al final de la estación lluviosa la cantidad de **63,4 mm** (para el año medio, para ese suelo y para ese olivar), agua que podría ser utilizada por el cultivo desde el comienzo de la temporada de riego.

g) Cálculo de la dosis de agua de riego

Una vez calculada la reserva de agua almacenada en el suelo (**tabla 5.12**) deberemos decidir como vamos a programar el consumo de dicha reserva. Por las razones expuestas en el apartado 3.1 de este capítulo proponemos, como modelo más racional para las condiciones agronómicas de una parte muy importante del olivar andaluz de regadío, un **programa de riego con agotamiento progresivo de la reserva del suelo a lo largo de la campaña** (abril – septiembre), de modo que no dejemos vacío el perfil hasta final del mes de septiembre. De este modo evitaremos tener que emplear grandes caudales de agua para satisfacer las necesidades diarias de los meses del verano, caudales de los que casi nunca se dispone, en especial cuando se emplean aguas reguladas de los ríos (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en sus concesiones para riego de olivar limita al caudal continuo a derivar a 0,15 l / s.ha).

Por esta razón proponemos realizar un programa anual medio de riego (**tabla 5.12**) con el que trataremos de mantener durante la primavera la reserva del suelo al nivel más alto posible, aportando en esas fechas cantidades de riego que permitan mantener el perfil al nivel de recarga a que se encontraba a la salida del invierno, regando durante los restantes meses de verano con cantidades similares de agua, de modo que **reserva + riego + PE** satisfagan la demanda máxima del cultivo, por lo así estaríamos en situación de obtener la máxima producción, consiguiendo que solo a final del verano (fin de septiembre) dejemos el suelo en el nivel de DASP, y preparado para recibir y almacenar las lluvias otoñales.

En el ejemplo que estamos resolviendo, y tras sucesivas aproximaciones, hemos propuesto una cantidad diaria de agua de riego para los meses de mayo a agosto de 150 litros/árbol.día, mientras que en abril y septiembre se regará respectivamente con 70 y 60 litros (trasladamos esta cifra a la columna 7 de la **tabla 5.12**), equivalentes a:

Riego = l /olivo.día / marco de plantación (m^2/olivo) = 150 l / 100 m^2 = **1,50 l / m^2 .día <> 1,55 mm/día**

luego la cantidad de agua de riego aportada durante los meses de mayo a agosto será:

Riego = 1,50 mm/día x 31 días / mes = **46,5 mm / mes**

Trasladamos esta cifra a la columna 8 de la **tabla 5.12** y reiteraremos mensualmente este cálculo, considerando que si la cantidad de agua de riego aportada no fuese suficiente como para cubrir la ETc del olivo, éste sacaría de la reserva del suelo la diferencia hasta cubrir sus necesidades.

En la **tabla 5.12** hemos creado la columna 9, "**reserva disponible**", en la que vamos llevando la cuenta del agua que nos va quedando disponible en el perfil, y cuyo consumo queda pendiente para ser gastada en los meses siguientes. Para el mes de abril (columna 9) y partiendo de los siguientes datos:

ETc – PE = 0,46 mm/d (columna 4) < > 0,46 mm/d x 30 días/mes = 13,8 mm / mes
Reserva disponible a final del mes de marzo = 63,4 mm (columna 9)
Riego = 21,0 mm/mes (columna 8)

ahora podemos ya calcular el valor de la reserva disponible a final del mes de abril, que en éste caso será:

$$\text{Reserva}_{\text{abril}} = \text{Reserva}_{\text{marzo}} - [\text{ETc} - \text{PE}] + \text{Riego} = 63{,}4 - 13{,}8 + 21{,}0 = 70{,}6 \text{ mm}$$

Vemos que durante el mes de abril el riego nos ha permitido recargar algo el perfil y aumentar la reserva, situándola en **70,6 mm**, lo que es razonable en este tipo de riego.

La cuenta correspondiente al mes de mayo es la siguiente:

ETc – PE = 1,09 mm/d x 31 días/mes = 33,8 mm / mes
Reserva disponible a final del mes de abril = 70,6 mm (columna 9)
Riego = 46,5 mm (columna 8)

La reserva disponible a final del mes de mayo será:

$$\textbf{Reserva}_{\text{mayo}} = \text{Reserva}_{\text{abril}} - [\text{ETc} - \text{PE}] + \text{Riego} = 70{,}6 - 33{,}8 + 46{,}5 = \textbf{83,3 mm}$$

Reiterando mes a mes estos cálculos hasta final del mes de septiembre, terminamos de completar la **tabla 5.12**.

En la **figura 5.6** se muestra la evolución anual de la reserva de agua en el suelo, así como la precipitación efectiva (PE) y las cantidades de riego aportadas. Después de un periodo de lenta y progresiva recarga del perfil (octubre – mayo) viene un periodo de agotamiento del agua almacenada en el suelo (junio – septiembre), quedando a final de verano el suelo a DASP y preparado para recibir las aguas otoñales.

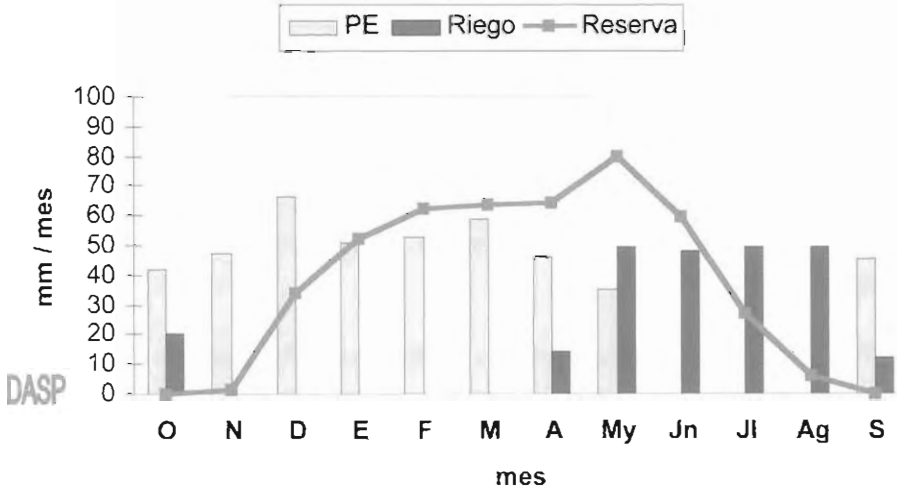


Figura 5.6: valores mensuales de la precipitación efectiva (PE), de las aportaciones de agua de riego, y de la reserva de agua en el suelo para el olivar del ejemplo (100 olivos/ha y volumen de copa de 10.500 m³/ha). Se ha programado un riego de modo que en el periodo mayo -septiembre se realiza un agotamiento gradual de la reserva, para alcanzar el DASP a final del mes de septiembre.

Para el ejemplo que estamos resolviendo para ilustrar la metodología de cálculo (**tabla 5.12**), la necesidad anual de riego, suma de las cantidades aportadas mensualmente durante el periodo abril-septiembre asciende a la cantidad de **243 mm** (= 2.430 m³ /ha), suma de los valores mostrados en la columna 8 de la mencionada tabla, agua que junto con la precipitación efectiva de 408 mm (columna 3), permite cubrir una demanda anual **ETc** de **651 mm**. Las aportaciones diarias de riego para cada uno de los meses de la campaña serán:

Mes	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O
Riego (l/olivo.día)	70	150	150	150	150	60	65

En los meses de máxima necesidad el número de horas diarias de riego, si instalásemos **4 goteros de 4 l/h por olivo** sería:

150 l/olivo / 16 l/hora = 9,4 horas / día < > 65, 6 horas / semana

por lo que en este caso se podría regar en dos sectores, necesitándose un caudal de:

16 l/h x 100 olivos/ha / (3.600 s/h x 2 sectores) = 0,22 l / s . ha

En esta situación se regaría el olivar utilizando horas valle y horas llano, sin recurrir a horas punta. El riego en un solo sector permitiría regar todo el olivar en horas valle. El inconveniente sería disponer de suficiente caudal o de un estanque de regulación suficientemente bien dimensionado.

En muchas zonas de Andalucía esta estrategia de programación de riegos parece la más lógica y recomendable, aunque el caudal ficticio requerido es superior al que contempla C.H. del Guadalquivir en sus concesiones (0,15 l/s.ha). Debemos insistir igualmente en que este tipo de programación de riegos solamente es posible en suelos con una adecuada capacidad de almacenamiento y en zonas con una adecuada pluviometría (400 – 600 mm).

En el capítulo 11 se hace una discusión detallada sobre el número de goteros que es más conveniente instalar por olivo, con arreglo a lo expuesto en dicho capítulo, instalar 4 goteros por olivo podría ser insuficiente para asegurar una adecuada superficie de suelo mojado. En este caso probablemente deberíamos inclinarnos por instalar 6 goteros de 4 l/h por árbol, alternativa esta con la que se lograría regar en un tiempo de riego más adecuado (6,25 horas / día) y una superficie de suelo mojada más conveniente (5,7 m^2/olivo), permitiendo en este caso incluso el riego en tres sectores (en este caso sin tocar horas punta de la tarifación eléctrica). Como es natural, la decisión de instalar 6 goteros en lugar de 4 nos obligaría a recalcular el programa de riego, ya que esta decisión trae consigo una automática modificación al alza en el valor de **Kg** (recordemos que se trata del coeficiente de evaporación desde los bulbos), y por consiguiente en el valor de **Kc** (coeficiente de cultivo), por lo que en este caso ETc sería también algo superior a la calculada.

4.2.- Programación de riegos utilizando la reserva de agua del suelo comenzando la campaña de riegos cuando ya hemos agotado la reserva.

Utilizando de nuevo los parámetros de suelo, clima y tipo de plantación del ejemplo del apartado 4.1, vemos **(tabla 5.13)** que con este planteamiento no habría que comenzar los riegos hasta principio del mes de junio, cuando ya se ha agotado la reserva hasta el nivel de agotamiento permisible (DASP). A partir de este momento, mediante el riego se aportará por árbol y día la cantidad (l / olivo) que resulta de multiplicar la superficie que ocupa cada olivo en el terreno (m^2) por [ETc – PE] expresada esta cantidad en mm:

Riego junio = 2,26 mm / día x 30 días – Reserva que quedó en mayo = 67,8 mm/mes – 22,6 mm/mes= = 45,2 mm /mes < > 151 l / olivo . día

Riego julio = 2,66 mm / día x 31 días – Reserva que quedó en junio = 82,5 mm/mes – 0 mm/mes = = 82,5 mm /mes < > 266 l / olivo . día

Riego agosto = 2,27 mm / día x 31 días – Reserva que quedó en julio = 70,4 mm/mes – 0 mm/mes = = 75,6 mm /mes < > 226 l / olivo . día

Riego septiembre= 0,61 mm / día x 30 días – Reserva que quedó en agosto = 18,3 mm/mes - 0 mm/mes = = 18,3 mm /mes < > 61 l / olivo . día

Riego octubre= 0,66 mm / día x 31 días – Reserva que quedó en septiembre = 20,5 mm/mes - 0 mm/mes= = 20,5 mm /mes < > 66 l / olivo . día

En la campaña de riegos habría que aportar en este caso un total de **2.370 m³/ha**, con volúmenes máximos de **266 l/árbol y día** durante el mes de julio. En este caso si se instalaran 4 emisores de 4 l /h habría que regar más de 16,6 horas al día cada sector, por lo que habría que proyectar una instalación de riego en un solo sector. El caudal continuo requerido en este caso sería:

16 l/h x 100 olivos/ha / (3.600 s/h . 1 sector) = 0,44 l / s.ha

Tratando de conseguir además una mayor superficie de suelo mojado por los goteros (ver capítulo 10), otra posibilidad sería instalar 6 emisores de 4 l /h, con los que en el citado mes habría que regar 11,1 horas, por lo que se podría regar en este caso en dos sectores, necesitándose un caudal de:

24 l/h x 100 olivos/ha / (3.600 s/h . 2 sectores) = 0,33 l / s.ha

Nos parece que la estrategia de no comenzar el riego hasta que hemos agotado la reserva del suelo es menos aconsejable que la de regar agotando paulatinamente la reserva, aunque haya que regar más meses al año, ya que la viabilidad de esta estrategia de riego estaría condicionada a que se dispusiese en pleno verano de un caudal suficiente como para abastecer esta demanda, lo que no sucede con frecuencia. Además, si tenemos en cuenta la tarifación eléctrica, esta estrategia unida al riego en dos sectores obligaría, durante el mes de máxima necesidad, a tener en marcha la instalación casi las 24 horas del día, entre las que se incluyen las horas punta, con un coste notablemente mayor que el de las horas valle y llano. Tener una instalación que riegue en un solo sector disminuiría en este caso los costes de bombeo, permitiendo regar utilizando únicamente horas valle.

Tabla 5.13: Cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar con 100 árboles/ha y un volumen de copa de 10.500 m³/ha, con datos climáticos de la localidad de Santo Tomé (Jaén) planificando comenzar la campaña de riegos a partir del momento en el que se ha agotado la reserva de agua del suelo. Los datos de profundidad de suelo y fracción LFA aparecen en el texto (apartado 4.1).

MES	ETc mm/día	PE mm/día	ETc-PE mm/día	RESERVA mm/mes	RESERVA ACUMULADA otoño-invierno mm	RIEGO l/ol.día	RIEGO mm/mes	RESERVA DISPONIBLE mm
O	1,92	1,26	0,66	-20,4	0,0	66	20,5	0
N	1,41	1,45	-0,04	1,3	1,3	0	0,0	1
D	0,87	1,90	-1,03	32,1	33,4	0	0,0	33
E	0,93	1,51	-0,61	18,8	52,2	0	0,0	52
F	1,38	1,73	-0,36	10,2	62,4	0	0,0	62
M	1,69	1,72	-0,03	1,1	63,4	0	0,0	64
A	1,88	1,42	0,46	-13,8		0	0,0	53
My	2,16	1,07	1,09	-33,8		0	0,0	23
Jn	2,35	0,00	2,26	-67,9		151	45,3	0
Jl	2,66	0,00	2,66	-82,4		266	82,5	0
Ag	2,32	0,00	2,27	-70,3		226	70,1	0
S	2,00	1,39	0,61	-18,2		61	18,3	0
Total	**651**	**408**					**237**	

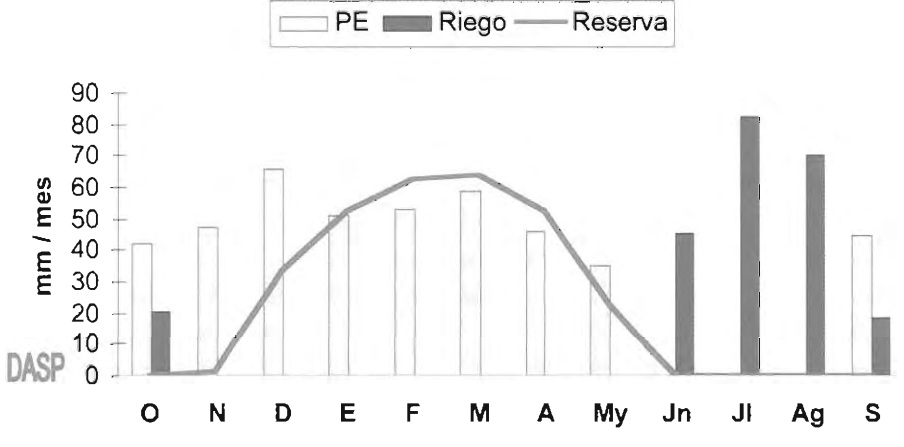


Figura 5.7: Valores mensuales de la precipitación efectiva (PE), de las aportaciones de agua de riego, y de la reserva de agua en el suelo para el olivar del ejemplo (100 olivos/ha y volumen de copa de 9.000 m³/ha). La campaña de riegos se ha programado de forma que no comencemos el riego hasta que no hayamos agotado la reserva del suelo, aportando mensualmente y durante el periodo julio - octubre la cantidad ETc – PE.

4.3.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua del suelo.

En ocasiones el olivarero dispone de una abundante cantidad de agua y cuenta además con una concesión administrativa en la que los límites de caudales a derivar y dotación por hectárea son muy superiores a las necesidades del olivar. Si además el coste por metro cúbico de agua bombeado es bajo, a efectos de programación de riegos podríamos permitirnos el lujo de despreciar la reserva del suelo almacenada durante el invierno, y programar semanal, quincenal o mensualmente el riego aplicando diariamente:

Riego = ETc - PE

En la **tabla 5.14** mostramos el procedimiento de cálculo, siguiendo el esquema mostrado en los apartados anteriores. Se utilizan, como es natural, los mismos parámetros de suelo, así como los valores de **ETo**, **PE** y **kc** que en los ejemplos anteriores. Como se dijo anteriormente, se aporta por árbol y día la cantidad (l / olivo) que resulta de multiplicar la superficie que ocupa cada olivo en el terreno (m^2) por [ETc – PE] expresada esta cantidad en mm (= l /m^2). Como es natural, si en este caso se ha evaluado correctamente la ETc y PE, a final de verano quedará el perfil en la que se encontraba a la salida del invierno (ver **figura 5.8**). La temporada de riego comienza a partir del momento en que ETc es mayor que PE, es decir a partir del día 1 de abril.

Como decíamos en el apartado 3.2.2 esta estrategia de programación de riegos tiene la ventaja de que la reserva constituye un colchón de seguridad ante eventuales averías o veranos demasiado calurosos, en los que una programación utilizando datos climáticos medios infraestimaría el valor de la ETc, y por tanto el de la dosis de agua de riego a aplicar.

Podemos comprobar en la **tabla 5.14** y en la **figura 5.7** que a final del verano hemos dejado el perfil lleno de agua, por lo que gran parte de las lluvias invernales teóricamente podrían desaprovecharse cuando se realiza este tipo de programación del riego.

Aplicando esta modalidad de programación al olivar del ejemplo resuelto en el apartado anterior, el consumo anual de agua, tal como se calcula en la columna 8 de la **tabla 5.14**, se sitúa en **307 mm** (= 3.070 m^3 / ha), con unas necesidades en el mes de máximo consumo de 266 l / árbol y día (= 82,5 mm / mes). Utilizando 4 emisores de 4 l/h habría que regar 16,6 horas diarias, necesitándose en este caso una instalación que permitiese regar en un solo sector. Agronómicamente sería más deseable utilizar una instalación con 6 emisores por olivo de 4 l/h, lo que en el mes de máximas necesidades obligaría a regar 11,1 horas/día, por lo que se podría regar con una instalación en dos sectores, por lo que necesitaríamos un caudal de :

24 l/h x 100 olivos/ha / 3.600 s/h x 2 sectores = 0,33 l/s . ha

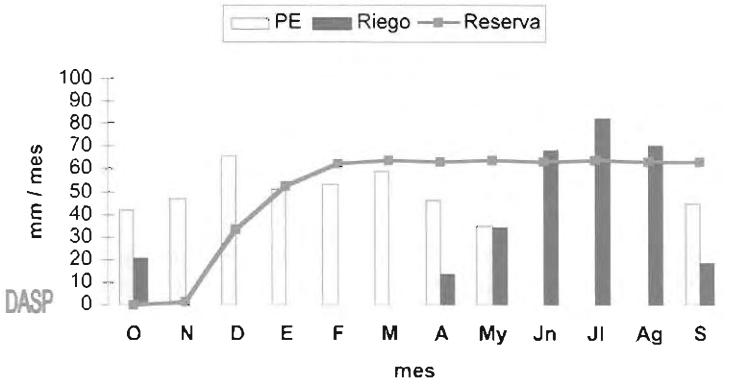


Figura 5.8: Valores mensuales de la precipitación efectiva (PE), de las aportaciones de agua de riego, y de la reserva de agua en el suelo para el olivar del ejemplo (100 olivos/ha y volumen de copa de 10.500 m3/ha). La campaña de riegos se ha programado de forma que prescindimos de la reserva del suelo aportando mensualmente y durante el periodo abril-octubre la cantidad ETc – PE. De este modo teóricamente llegaríamos a final del verano con la reserva al nivel en que se encontraba a la salida del invierno.

Con respecto a los costes de bombeo, teniendo en cuenta la tarifación horaria, cabe hacer idénticas observaciones a las realizadas en el apartado 4.2.

Tabla 5.14: Cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar con 100 árboles/ha y un volumen de copa de 9.000 m³/ha, con datos climáticos de la localidad de Santo Tomé (Jaén). En la programación del riego no se ha planificado el consumo de la reserva de agua del suelo. Los datos de profundidad de suelo y fracción LFA aparecen en el texto (apartado 4.1).

MES	ETc mm/día	PE mm/día	ETc-PE mm/día	RESERVA mm/mes	RESERVA ACUMULADA otoño-invierno mm	RIEGO l/ol.día	RIEGO mm/mes	RESERVA DISPONIBLE mm
O	1,92	1,26	0,66	-20,4	0,0	**66**	20,5	0
N	1,41	1,45	-0,04	1,3	1,3	**0**	0,0	1
D	0,87	1,90	-1,03	32,1	33,4	**0**	0,0	33
E	0,93	1,51	-0,61	18,8	52,2	**0**	0,0	52
F	1,38	1,73	-0,36	10,2	62,4	**0**	0,0	62
M	1,69	1,72	-0,03	1,1	63,4	**0**	0,0	64
A	1,88	1,42	0,46	-13,8		**45**	13,5	63
My	2,16	1,07	1,09	-33,8		**110**	34,1	64
Jn	2,35	0,00	2,26	-67,9		**226**	67,8	63
Jl	2,66	0,00	2,66	-82,4		**266**	82,5	64
Ag	2,32	0,00	2,27	-70,3		**226**	70,1	63
S	2,00	1,39	0,61	-18,2		**61**	18,3	63
Total	**651**	**408**					**307**	

5.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN UNA PLANTACIÓN JOVEN

En una nueva plantación de olivar el principal objetivo es conseguir un crecimiento lo más rápido posible de los olivos, de modo que podamos alcanzar el volumen de copa óptimo de la plantación en el menor tiempo posible, lo que equivale a:

- acortar al máximo el periodo improductivo de la plantación,
- alcanzar pronto la máxima capacidad productiva.

Ello se traducirá en una rápida recuperación de la inversión realizada, y en la obtención de una máxima rentabilidad.

En regadío y en los primeros años de la vida de la plantación debemos procurar que a lo largo del ciclo vegetativo el agua nunca sea el factor limitante del crecimiento, ya que los olivos jóvenes consumen volúmenes pequeños de agua si los comparamos con los consumos de los árboles adultos.

Con respecto al riego de las plantaciones adultas, en la **programación del riego en plantaciones jóvenes** debemos tener en cuenta las siguientes circunstancias:

- cuando el contenido de agua en el suelo desciende por debajo de un determinado nivel umbral, el crecimiento vegetativo de los olivos se ve sensiblemente afectado, aunque puede admitirse que la producción de ese año pueda no verse demasiado afectada si el déficit hídrico no ha sido excesivo.
- los árboles jóvenes tienen un sistema radical poco extendido, por lo que en los primeros años debemos intentar que el crecimiento del olivo no se vea supeditado al agua que extraen del perfil,
- cuando los olivos son jóvenes exploran un porcentaje de suelo relativamente pequeño, por lo que en esta circunstancia la evaporación desde la superficie del terreno mojado es proporcionalmente mucho mayor que la transpiración de los árboles, siendo difícil de cuantificar, en cada caso, esta proporción.

Tratando de no restringir el crecimiento de los árboles, en el riego del **olivar joven** no es aconsejable que empleemos la metodología clásica de programación presentada en los apartados 3 y 4 de este capítulo. En este caso y durante la estación de crecimiento del cultivo (abril-octubre) **no debemos programar el consumo de la reserva de agua almacenada en el suelo durante el invierno**, procurando que el suelo explorado por las raíces se encuentre con un contenido en humedad próximo a la capacidad de campo, evitando así que la humedad descienda por debajo de un determinado nivel umbral (desconocido para el cultivo del olivar),

nivel con el que el crecimiento vegetativo de los olivos se vería sensiblemente afectado. La **estrategia** a emplear es la siguiente:

Cuando en primavera comience el crecimiento de los olivos, la cantidad de riego a aplicar será:

$$\mathbf{Riego} = T + E_g$$

en la que **T** es la transpiración de los olivos, y $\mathbf{E_g}$ es la evaporación desde la superficie del suelo mojada por los goteros.

Durante los primeros 4 – 5 años (diámetro de copa hasta 2,5 m) se ignorará la reserva de agua almacenada en el suelo, y si se sucediesen lluvias en primavera se continuará el riego cuando se haya secado de nuevo los 10 cm superficiales del terreno.

5.1.- Cálculo de la transpiración de los árboles

Para la estimación del consumo de agua de los jóvenes olivos en transpiración proponemos el método desarrollado en el apartado 1.1.2.1 de este capítulo, aplicando la expresión:

$$\mathbf{T = ETo \times Kt}$$

En donde :

$$\mathbf{Kt = Q_d \times F_1 \times F_2}$$

siendo $\mathbf{F_1}$ y $\mathbf{F_2}$ son dos parámetros de ajuste que dependen, respectivamente, de la densidad de plantación y de la época del año (comportamiento de los **estomas** de los árboles a lo largo del año), parámetros cuyos valores se muestran en 1.1.3 ; y $\mathbf{Q_d}$ es la fracción de radiación solar interceptada por la copa de los olivos, que depende de la densidad de plantación y del tamaño de los árboles. Sobra decir que **ETo** cuantifica la demanda evaporativa del ambiente. En el mencionado apartado se muestra de forma pormenorizada la metodología de cálculo, y en el CD que acompaña a este libro el lector encontrará un programa ejecutado en EXCEL que resolverá el cálculo de las necesidades de agua de riego de este tipo de plantación.

5.2.- Cálculo de la evaporación de agua desde los bulbos humedecidos por los goteros

Para el cálculo de la **evaporación desde los bulbos** que humedecen los goteros se empleará la metodología que se propone en el apartado 1.1.2.3 de este capítulo, que se completa con el apartado 5 del capítulo 10.

La evaporación de agua desde los bulbos (Eg) viene dada por la expresión:

$$\mathbf{Eg = ETo \times Kg}$$

en la que el coeficiente de evaporación desde los goteros (**Kg**) depende de la fracción de radiación interceptada por la copa de los olivos de la plantación a regar (**Qd**), del intervalo entre riegos, de **ETo** y de la fracción de suelo humedecido por los goteros (**fw**).

5.3.- Ejemplo de cálculo de las necesidades de riego en una plantación joven.

Supongamos que en las condiciones climáticas mostradas en la **tabla 5.5** vamos a regar un olivar joven con una densidad de plantación de 250 árboles / ha y un volumen de copa de 9,56 m^3/olivo (D = 2,3 m y H = 3,45 m). Hay instalados dos goteros de 4 l/hora y en mediciones de campo se ha determinado que con estos goteros el bulbo húmedo tiene un diámetro medio de 0,75 m en la superficie del suelo. Debemos programar el riego para aplicar agua cada 2 días. La campaña de riego comprende desde el mes de abril hasta octubre.

El cálculo de las necesidades anuales de agua de esta plantación se desarrolla en la **tabla 5.15**. Teniendo en cuenta la metodología propuesta en 5.1 y 5.2, comenzaremos por calcular los valores de **Kt** y **Kg**, que se trasladan a las columnas 3 y 5. Previamente en las columnas 1 y 2 anotaremos los meses de riego (abril a octubre) y los valores de **ETo**. La transpiración de los olivos **T** (columna 4) se calcula multiplicando ETo (columna 2) por Kt (columna 3). El agua evaporada desde los goteros **Eg** (columna 6) se calcula multiplicando ETo (columna 2) por Kg (columna 5).

Las necesidades de riego es la suma de **T + Eg** (columna 7). El volumen de agua de riego a aportar por olivo se calcula multiplicando el contenido de columna 7 (mm/día = l/m^2.día) por la superficie que ocupa cada olivo, en este caso **40 m^2** (10.000 m^2/ha / 250 olivos/ha), obteniéndose los **litros/olivo** que hay que aplicar diariamente durante el mes de riego considerado. En este periodo consideramos, lógicamente, que no se riega los días de lluvia, dato que se muestra en la columna 9. La cantidad total de agua de riego a aportar cada mes (columna 10) se calcula multiplicando la cantidad diaria de riego (columna 8) por el número de días que se riega cada mes (número de días del mes menos el número de días de lluvia -columna 9-). Finalmente el riego aplicado mensualmente, expresado en mm (columna 11), se calcula dividiendo el contenido de la columna 10 por la superficie que ocupa cada olivo en el terreno, en este caso 40 m^2.

Como resumen diremos que el olivar a regar demanda anualmente un volumen de agua de riego de: **5.141 litros/olivo**, equivalentes a **129 mm** (= 1.290 m^3/ha).

Tabla 5.15: Metodología de cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar joven con una densidad de plantación de 250 árboles / ha y un volumen de copa de 9,56 m³/olivo, que se riega empleando 2 goteros de 4 l/h, que proporcionan manchas de 0,75 m de diámetro. Intervalo entre riegos dos días

MES	ETo mm/día	Kt	T mm/día	Kg	Eg mm/día	T+Eg mm/día	Riego l/olivo.día	Días lluvia	Riego l/olivo.mes	Riego mm/mes
A	3,67	0,087	0,32	0,024	0,09	0,41	16	5	408	10,2
My	4,97	0,101	0,50	0,021	0,10	0,61	24	3	680	17,0
Jn	5,63	0,121	0,68	0,020	0,11	0,79	32	0	953	23,8
Jl	6,81	0,121	0,82	0,019	0,13	0,95	38	0	1180	29,5
Ag	5,87	0,116	0,68	0,020	0,12	0,80	32	0	988	24,7
S	4,07	0,106	0,43	0,023	0,09	0,53	21	3	567	14,2
O	2,61	0,116	0,30	0,029	0,08	0,38	15	7	364	9,1
Total	**1.267**								**5.141**	**129**

6.- CONCLUSIONES

En regiones como Andalucía, en las que la mayoría del olivar regado ocupa suelos profundos y con una adecuada capacidad de retención, contando además con una pluviometría media en el rango 450-650 mm/año, de las estrategias de programación de riegos propuestas en los apartados 3.1 a 3.3 del presente capítulo, que básicamente difieren en el manejo de la reserva (agua almacenada en el suelo durante el periodo octubre a marzo, época de lluvias), la estrategia de programación de riegos agronómica y económicamente más recomendable es la basada en el agotamiento progresivo de la reserva a lo largo del periodo de riego, primavera – verano, dejando el suelo a final de septiembre en el DASP. Esta estrategia permite obtener una mayor eficiencia que cuando se programa el riego sin tener en cuenta la reserva.

Tal como se muestra en la **figura 5.5**, las pequeñas demandas mensuales que resultarían de aplicar una programación de riego con agotamiento progresivo de la reserva, permite regar el olivar manejando **caudales continuos muy pequeños**, situación deseada por los Organismos Reguladores de Cuenca de la mayoría de la Confederaciones Hidrográficas de España, lo que permite abastecer a gran número de usuarios empleando reducidos caudales. Las otras estrategias de riego presentadas solo serían aplicables en un número muy reducido de situaciones, ya que en las zonas olivareras en verano casi nunca se dispone de grandes caudales de agua.

Desde el punto de vista del coste del sistema de riego, la programación con agotamiento progresivo de la reserva es la estrategia que permitiría regar las plantaciones tradicionales en dos o incluso tres sectores, lo que supondría una reducción muy importante en el **coste de la inversión**, ya que las otras estrategias propuestas exigirían instalaciones que permitieran realizar el riego en uno o dos sectores manejando mayores caudales unitarios, lo que encarecería el coste de instalación.

Para idénticas condiciones climáticas (ETo y pluviometría), en suelos con escasa capacidad para el almacenamiento del agua invernal podrían realizarse programaciones con agotamiento progresivo de la reserva, pero debemos tener en cuenta que en dichos suelos la reserva es de pequeña magnitud, por lo que habría que afrontar riegos con dotaciones muy superiores a las requeridas por suelos con gran capacidad de almacenamiento de agua.

En plantaciones de árboles jóvenes cuyas raices no exploran la totalidad del terreno se realizará la programación sin tener en cuenta el agua almacenada en el suelo durante el invierno, aportando mediante el riego el agua suficiente como para cubrir la transpiración de los árboles y la evaporación desde los goteros.

Referencias bibliográficas

Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 1999. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. Irrigation Science, 18: 205-211.

Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 2001. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. Irrigation Science, 20: 65-71.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje nº 24. Roma.

Hontoria Fernández, C., Saa Requejo, A., Gascó Montes, J.M., 1996. Comparación de seis métodos de estimación de la evapotranspiración a partir de datos climáticos. Actas del XIV Congreso Nacional de Riegos. Aguadulce (Almería). 125-131.

Le Bourdelles, J., Favreau, P., Durand, S., 1983. Controles sous goutte a goutte et aspersion a la Station de Migliaciaro (Corse). Actas de la Red Europea de Investigación Cooperativa en Oleicultura. FAO. Lecce (Italia).

Mantovani, E.C., 1993. Desarrollo y evaluación de los métodos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos. Tesis Doctoral. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Orgaz, F., Fereres, E., 2001. Riego. En: *El cultivo del olivo*, 4ª ed., D. Barranco, R., Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). 724 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Soria Herrera, L., 2002. Fertilización y Riego en el Olivar de la Provincia de Jaén: Comarcas de La Loma y Sierra Morena. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén.

Testi, L., 2003. Medida y Modelización de la Evaporación de Plantaciones de Olivo (*Olea europaea* L.). Tesis Doctoral. ETSI Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

Vanderlinden, K., Romero, A., Reina, D., Giráldez, J.V., 1999. Evaluación del método de Hargreaves en 16 estaciones completas de Andalucía. Actas del XVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia. 92-99.



CAPÍTULO 6

RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

Joan Girona Gomis
Javier Hidalgo Moya
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- PROBLEMÁTICA DEL RIEGO CON CANTIDADES DEFICITARIAS DE AGUA

2.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO

3.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVAR DE ACEITUNA DE MESA EN CALIFORNIA (EEUU)

4.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN CATALUÑA.

5.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN ANDALUCÍA.

6.- RESULTADOS DE DOS ENSAYOS DE ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO EN ANDALUCÍA.

7.- RECOMENDACIONES SOBRE APLICACIÓN DE RIEGOS DEFICITARIOS EN ANDALUCÍA.

8.- ÍNDICES FISIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OLIVARES EN LOS QUE SE APLICAN RIEGOS DEFICITARIOS

9.- CONSIDERACIONES FINALES.

Referencias bibliográficas.

1.- PROBLEMÁTICA DEL RIEGO CON CANTIDADES DEFICITARIAS DE AGUA

El olivo es una especie resistente al estrés causado por el déficit hídrico y adaptado al clima mediterráneo, caracterizado éste por los inviernos fríos y lluviosos y los veranos muy secos y calurosos.

El olivo presenta unas aceptables producciones en situaciones de escasa disponibilidad de agua (cultivo de secano). Sin embargo, cuando se cultiva con aportes de agua de riego, suficientes como para evitar el estrés hídrico severo en los momentos más críticos de su ciclo, se obtiene su óptimo potencial productivo.

Las necesidades hídricas del olivar son muy variables, dependiendo fundamentalmente de:

- las condiciones climáticas
- del tipo de plantación:
  - ¬ marco de plantación
  - ¬ volumen de copa de los árboles.

Con los conocimientos que se tienen en la actualidad podemos afirmar que la evapotranspiración de un olivar adulto con un alto porcentaje de cobertura del suelo por la copa puede oscilar entre 500 y 900 mm (Goldhamer *y col.*, 1994; Girona, 1996) en función de la ETo que como sabemos tiene una marcada variabilidad geográfica. En algunas zonas la lluvia anual cubre una parte de las necesidades del cultivo, dependiendo de los años y de la localización, situándose en Andalucía en valores entre el 40-60 % de la ETc en olivares tradicionales, por lo que las cantidades de agua de riego complementarias a la lluvia no suelen superar los 400 mm/año (Alegre *y col.*, 2001; Pastor *y col.*,1999), dependiendo de la pluviometría anual y de las características de la plantación, características a las que anteriormente hicimos referencia.

Normalmente, y debido a las podas que realizan los olivareros, son escasas las plantaciones que presentan unos volúmenes de copa elevados, por lo que las necesidades de agua de riego se reducen conforme la cobertura del suelo disminuye, tal como vimos en el capítulo 5 en el que abordamos la problemática de la programación de riegos.

Además hay que considerar la cantidad de agua de lluvia que el terreno puede almacenar en la estación lluviosa (otoño-invierno), conocida como **reserva** de agua en el suelo, puesto que con:

- una correcta programación de la utilización de esta reserva,
- unas adecuadas prácticas de mantenimiento del suelo, que optimicen el aprovechamiento de la lluvia
- un buen manejo de la plantación,

en cierta medida se pueden reducir las cantidades de agua de riego a aportar. La reserva de agua almacenada en el suelo depende de:

- la textura (porcentaje de arena, limo y arcilla),
- de la profundidad explorada por las raíces,
- de las prácticas de cultivo que modifican la infiltración y la evaporación de agua en el suelo.

La efectividad de la reserva está ligada a la pluviometría total registrada y el reparto de las lluvias a lo largo del año. Si cuando llega la primavera el contenido de agua de un suelo está próximo a su capacidad de campo, será posible regar con menor cantidad de agua que cuando ese mismo suelo solamente se ha recargado parcialmente porque las lluvias han sido insuficientes.

Los **olivareros de secano** evalúan intuitivamente el concepto de reserva del suelo, ya que mediante la poda adaptan el volumen de copa de sus árboles a las disponibilidades de agua, manteniendo normalmente volúmenes de copa algo inferiores a los que potencialmente se podrían mantener. Esta práctica obedece a la previsión de que se presentasen años secos, lo cual es frecuente en el entorno mediterráneo en el que nos encontramos. Pero el peso de la tradición está influyendo, negativamente en muchos casos, en los olivares recientemente transformados en regadío en Andalucía, ya que apenas se permite que se incremente el volumen de copa, y por tanto, de los componentes de la producción:

- número de frutos por árbol
- tamaño del fruto

solamente se llega a aprovechar el aumento del tamaño de la aceituna, por lo que en la mayoría de las ocasiones no se llega a explotar adecuadamente las posibilidades que ofrece el regadío.

En Andalucía se riega una escasa superficie de olivar cubriendo las necesidades óptimas del cultivo, debido fundamentalmente a la escasa disponibilidad de agua para riego en esta región, y al alto coste del agua (grandes elevaciones). En un estudio realizado en la comarca de Las Garrigas (Cataluña) las necesidades de riego para máxima producción fueron de 152 mm en un olivar con un volumen de copa de unos 4.000 m^3/ha (Alegre *y col.*, 2001). Pero en estudios realizados en Andalucía en plantaciones tradicionales, trabajando con olivares de gran

volumen de copa, las necesidades de riego para máxima producción fueron muy superiores, cifrándose estas necesidades en 350 mm además de la lluvia (Pastor *y col.*, 1999).

En las plantaciones intensivas con un mayor número de olivos por hectárea, donde además el manejo de éstas induce a que aumente el volumen de copa por hectárea, las necesidades de riego pueden incrementarse considerablemente, llegándose a demandar dotaciones superiores a los 500 mm/año en los años secos (Pastor *y col.* , 2002).

En Andalucía en la mayoría de los casos, tanto en plantaciones tradicionales como en intensivas, la disponibilidad de agua o el propio diseño de la instalación de riego no permite el aporte de las cantidades de agua necesaria para conseguir la producción máxima.

En cultivos leñosos (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995) como el almendro (Girona y Marsal, 1995), melocotonero (Chalmers *y col*, 1981; Girona *y col.*, 2003), y cítricos (Domingo *y col*, 1996, Gonzalez Altozano y Castel, 1999) se ha observado que la aplicación de estrategias de **riego deficitario controlado** (**RDC**) puede mejorar la producción y permitir aplicar cantidades de agua de riego inferiores a la teórica demanda máxima del cultivo.

En el término **Riego Deficitario Controlado** (**RDC**):

- **deficitario** significa que se aplican menores cantidades totales de agua que las que teóricamente podría utilizar la planta, y
- **controlado** que las reducciones de agua se realizan teniendo en cuenta la sensibilidad estacional del cultivo al estrés hídrico.

En Cataluña y California (EEUU) se han desarrollado trabajos de investigación **en olivar** basados en la aplicación de técnicas de **RDC**, trabajos cuyos resultados vamos a presentar en el presente capítulo. En Andalucía las estrategias aplicadas se han adaptado a la tipología de suelos con los que hemos trabajado (suelos profundos y con una buena capacidad de retención de agua) y a las limitaciones que impone el propio diseño de las instalaciones existentes y el manejo que se hace de ellas en las Comunidades de Regantes, por lo que es prácticamente imposible plantear estrategias de riego donde varíen mucho las cantidades de riego a aportar a lo largo de los meses del año. Con este condicionante, los tipos de estrategias de riego deficitario ensayadas en esta región (Pastor *y col.*, 1999; Pastor *y col.* , 2002) se han planteado de forma diferente a como lo han hecho otros autores, aunque el propio suelo ha aplicado posteriormente, y a lo largo del verano, regímenes de estrés hídrico similares a los planteados en sus experimentos por catalanes y californianos.

Antes de plantear cualquier estrategia de **RDC** es imprescindible tener en cuenta el ciclo anual del olivo, además de conocer su sensibilidad estacional al déficit hídrico basándonos en los procesos que puedan acaecer en cada momento. Esta información la presentamos en el **capítulo 4**.

2.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO

Desde el **inicio de la brotación** (tanto de las yemas de madera como de las yemas de flor) y **hasta la floración** es importante que no exista déficit hídrico, porque éste afectaría a la calidad de las flores, y en consecuencia al número de frutos cuajados, y porque en este periodo, y simultáneamente al ciclo reproductor, tiene lugar el **crecimiento vegetativo** cuya importancia es doble:

- mantener una adecuado número de hojas que permita producir la suficiente cantidad de asimilados como para mantener una buena cosecha en el presente año; y
- ser portadores de los órganos florales y fructíferos en los que se obtendrá la cosecha del año siguiente.

Al **inicio del crecimiento del fruto** y hasta el **endurecimiento del hueso**, se produce una importante caída fisiológica de frutos. Para reducir porcentualmente esta caída, especialmente la relacionada con un bajo nivel de reservas del árbol, es importante que el olivo llegue a este momento del ciclo en el mejor estado hídrico y nutricional posible.

Durante la **maduración del fruto** (meses de septiembre a diciembre) un árbol de regadío no debe sufrir déficit hídrico. Este período, que comienza con el cambio de color de la aceituna (verde intenso al amarillo), es una época muy crítica en la que se produce una importante acumulación de aceite en la pulpa de la aceituna, periodo más crítico aún si durante el verano ha habido una restricción en el suministro de agua. Cuando durante el periodo de maduración existe una suficiente cantidad de agua en el suelo, los árboles se mantendrán en un estado hídrico adecuado, lo que permitirá un correcto llenado de los frutos y que en el árbol se puedan acumular las reservas necesarias para asegurar un buen desarrollo y producción al año siguiente, siendo importantísimo que la aportación de agua se produzca con suficiente antelación a la llegada de los fríos otoñales.

Parece que el período que va desde el **endurecimiento del hueso hasta el comienzo de la maduración** es en el que la sensibilidad del cultivo al déficit hídrico es menor. En este período, además, es en el que una restricción porcentual en la ETc aplicada se puede traducir en un **importante ahorro en el consumo final anual de agua**.

En **cualquier momento del ciclo anual** se debe evitar que se produzca un déficit hídrico severo durante largos períodos de tiempo, ya que para que el fruto crezca se precisa de importantes cantidades de asimilados. Para satisfacer esta demanda no suelen ser suficientes las reservas del árbol, siendo necesario mantener las hojas con un mínimo de funcionalidad, para que de este modo no se vea afectada de forma drástica la fotosíntesis, de lo contrario podría resentirse de forma irreversible el crecimiento del fruto.

3.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVAR DE ACEITUNA DE MESA EN CALIFORNIA (EEUU)

Los trabajos, presentados por Goldhamer en 1999 se realizaron en el periodo 1994-1997 en olivar adulto de la variedad 'Manzanilla', con un marco de plantación de 9.1 x 4.6 m (240 ol/ha), en una zona escasa precipitación efectiva (media anual de 100 mm).

Utilizando como control olivos regados sin ninguna limitación en los aportes hídricos, para permitir una máxima ETc, metodología de programación basada en el balance de agua en el suelo (ver capítulo 5), se compararon 3 estrategias de **RDC** que fueron las siguientes:

- **RDC-1**: recorte del 50% de la ETc en el periodo desde la mitad de junio hasta final de julio,
- **RDC-2**: recorte de un 50% de la ETc desde el comienzo del mes de junio hasta mitad del mes de agosto.
- **RDC-3**: aplicación del 25% de la ETc desde el 15 de junio hasta 15 de agosto, más un recorte del 50% en el resto de días del período comprendido entre mitad de mayo hasta final de septiembre.

En la **tabla 6.1** se muestran las cantidades totales de agua aplicadas en cada tratamiento, así como la duración en días del recorte de agua.

Tabla 6.1. Definición de los tratamientos de riego aplicados a olivos en California.

Tratamiento	% ETc aplicado	Duración del recorte de agua (días)	Agua aplicada	
			mm/año (1)	% s/ control
Control	100	-	770	100
RDC-1	50	42	645	84
RDC-2	50	70	579	75
RDC-3	25 + 50	56 + 56	432	56

1 mm = 10 m^3/ha.

La reducción del agua de riego se realizó durante el periodo de crecimiento de fruto. Los resultados que cabría esperar, según un trabajo previo realizado por Goldhamer *y col.* (1994), eran de una reducción de la producción superior al 30% en cualquiera de los casos. En la **tabla 6.2**, se presentan las producciones y datos relativos al tamaño del fruto obtenidos en el ensayo.

Tabla 6.2. Efecto de los tratamientos de riego sobre la producción y sus componentes en olivos de la variedad 'Manzanilla' en California (USA). Fuente: Goldhamer (1999).

Tratamiento	Agua aplicada (1) (mm/año)	Peso fruto (g/aceituna)	Tamaño fruto (2) (aceitunas/kg)	Número frutos por olivo	Producción de aceitunas	
					kg/ha	% s/ control
Control	770	4.13	242	17.290	13.210	100
RDC-1	645	4.24	236	18.080	13.610	103
RDC-2	579	4.36	229	18.010	13.700	104
RDC-3	432	4.10	244	17.480	11.800	89

(1) 1 mm = 10 m^3/ha
(2) son tamaños comerciales de buena calidad los comprendidos entre 200 – 280 frutos/kg

Los resultados de este ensayo (**tabla 6.2**) muestran que la producción de los tratamientos **RDC-1** y **RDC-2** no se vio afectada negativamente por la reducción de la cantidad de agua de riego aportada, ya que esta se produjo durante el verano (periodo de menor sensibilidad al déficit). Tan sólo en el tratamiento **RDC-3** se puede apreciar una ligera merma de la producción (11%), cuando se ha disminuido el aporte total de agua en más de un 40% (**tabla 6.1**). Según un anterior estudio del mencionado autor (Goldhamer *y col.*,1994), lo esperado sería una reducción en la producción de más del 60%, la diferencia es que en este ensayo en los momentos muy críticos, como son el periodo cuajado - primeras fases del crecimiento del fruto, y durante la maduración, las necesidades de riego han estado perfectamente cubiertas, lo que ha reducido el impacto negativo por la reducción de agua en los momentos de menor sensibilidad.

Con respecto a la calidad del fruto como aceituna de mesa, calidad que viene definida por su tamaño (**tabla 6.2**), vemos que los tratamientos RDC-1 y RDC-2 han permitido obtener frutos de similar calidad a los del tratamiento control regado sin déficit hídrico.

Los datos mostrados ponen en evidencia que en olivar el periodo comprendido entre endurecimiento del hueso y comienzo de la maduración de la aceituna es el menos sensible al déficit hídrico. Parece que para esta situación en la variedad 'Manzanilla' las estrategias de RDC pueden ser una buena alternativa para reducir las cantidades de agua de riego aportadas sin afectar apenas a la cuantía de la producción y a la calidad comercial del fruto.

4.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN CATALUÑA.

En este caso los trabajos fueron realizados por el IRTA en la comarca de Les Garrigues en la provincia de Lérida (Alegre *y col.*, 2001). Se estudió el efecto de la reducción de la cantidad de agua aporta durante el verano en olivos adultos de la variedad 'Arbequina' plantados con un marco de plantación de 10 x 10 m, en un olivar que había sido cultivado en secano hasta un año antes del comienzo del ensayo. La duración del ensayo fue de 4 años (1996-1999).

Las estrategias de **RDC** planteadas fueron 3, que se compararon con un tratamiento **control** en la que se cubrió ETc máxima a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Los tres tratamientos consistieron respectivamente en la aplicación del 75%, 50% y 25% de la ETc, durante el periodo de crecimiento del fruto, desde unas tres semanas después del cuajado del fruto (primeros de julio) hasta unos 15 días antes del inicio del cambio de color de la aceituna (final de septiembre). Fuera del periodo de restricción hídrica, todos los olivos de las estrategias de **RDC** recibieron la misma cantidad de agua que el control.

Tabla 6.3. Efecto de los tratamientos de riego sobre la producción y sus componentes en olivos de la cv Arbequina en Cataluña (años 1996 a 1999). Fuente: Alegre y col. (2001).

Tratamiento	Riego* (mm/año)	Peso fruto (g/aceituna)	Número frutos	Producción Aceituna (kg/ha)	Rto graso (%)	Producción de aceite kg/ha	% s/ control
Control	152	1.24	58.100	7.612	15.3	1.163	100
RDC-75	116	1.21	59.100	7.900	16.0	1.263	109
RDC-50	99	1.20	60.700	8.055	16.2	1.307	112
RDC-25	80	1.15	51.500	6.736	16.6	1.119	96

*1 mm = 10 m^3/ha

Se observa que en este tipo de plantación la producción de aceituna y aceite no se ha visto afectada por una reducción de la ETc del 25% y del 50% (**RDC-75** y **RDC-50** respectivamente) en el periodo de crecimiento del fruto. Sí que se observa una producción inferior al control cuando se reduce el riego al 25% de la ETc en dicho periodo de crecimiento del fruto, pérdida de producción debida fundamentalmente a un menor número de frutos por olivo y a una reducción del tamaño de la aceituna. Según los autores del trabajo, la principal causa por la que los olivos a los que se aplicó la estrategia **RDC-25** presentan una menor producción de aceitunas fue que el recorte en la aportación de agua ocasionó una reducción del crecimiento de los árboles. Como se observa en la **tabla 6.4**, el incremento de volumen de copa en **RDC-25** debido al riego fue claramente inferior al resto de las estrategias de riego aplicadas.

Tabla 6.4. Efecto de las estrategias de riego sobre el incremento del volumen de copa de los olivos (m^3/olivo). Año 1998. Fuente: Alegre *y col.* (2001).

Tratamiento	Volumen de copa (m^3/olivo)				Incremento de Volumen (%)
	inicial (abril)	Antes de aplicación RDC Junio	A final del RDC Sept	A final de enero	
Control	31.4	39.8	42.0	42.0	34.2
RDC-75	30.6	38.5	37.8	41.3	35.4
RDC-50	34.4	41.1	41.7	45.2	31.6
RDC-25	29.1	34.2	33.9	36.3	25.3

Por último, se observaron distintas **aptitudes de las aceitunas en el proceso industrial de extracción del aceite**. Los frutos de los olivos regados con las dosis mayores de agua, especialmente en la estrategia control (100 % ETc), mostraron dificultades para la extracción, formando emulsiones al centrifugar las pastas, lo que redujo considerablemente el rendimiento industrial (ver capítulo 7).

La **calidad de los aceites** obtenidos fue igualmente afectada por las estrategias de riego aplicadas, siendo **más amargos** y con un **mayor contenido en polifenoles** los producidos por los olivos regados aplicando estrategias de RDC, y en especial en los tratamientos regados con menor cantidad de agua. En el capítulo 7 también daremos información sobre la influencia del riego sobre la calidad del aceite producido.

5.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN ANDALUCÍA.

En el año 1992 comenzó un ensayo de riego deficitario en olivar (Pastor *y col.*, 1999). Durante el periodo (1992-1998) se aplicaron diferentes estrategias de riego que se compararon con un testigo en secano. El experimento se desarrolló en la localidad giennense de Santisteban del Puerto, en olivos tradicionales centenarios de la variedad 'Picual', con densidad de plantación de 80 árboles/ha. Se trabajó en un suelo profundo y con adecuada capacidad de retención de agua.

Las estrategias de riego difieren aparentemente de las planteadas en los ensayos anteriormente comentados. Fueron las siguientes:

- **Secano.**
- **Riego para máxima producción**, calculada la dotación de riego empleando el método del balance de agua, aportando quincenalmente ETc-PE.
- Riego diario de **120 l/olivo** durante el periodo **abril a octubre** con aportación anual de 200 mm (= **2.000 m³/ha**).
- Riego diario de **80 l/olivo** durante el periodo **marzo a octubre** con aportación anual de 150 mm (= **1.500 m³/ha**).

Las estrategias con **80** y **120 litros diarios** en realidad son RDC similares a las estrategias de RDC utilizadas en los ensayos realizados en California y Cataluña, puesto que es en verano y después del endurecimiento del hueso (en pleno período de crecimiento del fruto) cuando, al ir consumiendo los olivos de una forma progresiva la reserva del suelo, se produce un recorte del agua disponible para los árboles, por lo que en dicha época no se llega a cubrir el 100 % de las necesidades de agua del olivar.

Tabla 6.5. Producción y sus componentes en olivos del ensayo de Santisteban del Puerto (Jaén) variedad 'Picual', durante los años 1992-1998. Fuente: Pastor *y col.* (1999).

Tratamiento	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Número frutos (x 1.000)	Producción Aceituna(*) (kg/ha)	Rto graso (%)	Producc. de aceite (*) kg/ha	% s/ ETc max
Secano	0	2.69	21	4.128	20.	835	43
80l/olivo	150	3.90	31	8.048	22.0	1.771	92
120 l/olivo	200	3.93	35	8.856	22.0	1.950	101
ETc máxima	320*	4.19	33	8.688	22.2	1.931	100

* Media 1992 a 1998

Si se evalúa la respuesta productiva a los tratamientos de riego frente al secano (**tabla 6.5**), se observa que la producción es claramente superior en regadío en todos los casos, y que al menos esta producción media para el periodo considerado se ha multiplicado por dos, tanto en aceite como en aceituna. Por tanto, es previsible que el riego de las plantaciones de olivar en las condiciones agronómicas de Andalucía va a llevar asociado un importante aumento de la producción y del rendimiento graso de los frutos (**tabla 6.5**), siempre que el manejo de la plantación sea el adecuado. Con la estrategia de **1.500 m³/ha**, claramente deficitaria, donde se aporta menos de la mitad del agua que al olivar regado con la **ETc** máxima, se consiguieron unas producciones medias de aceite solamente algo inferiores a las del olivar regado con la dosis de agua mayor (diferencias no significativas). Este resultado se traduce en poder afirmar que las estrategias de **RDC**, y con las naturales adaptaciones a cada situación (marco de plantación, disponibilidad de agua, tipo de suelo, etc.) pueden ser aplicables a la realidad olivarera andaluza. La estrategia **120 l/día** proporcionó una similar producción a la de máximo riego.

Igual que ocurría en el ensayo de riego realizado en Cataluña, los autores también observaron una dificultad mayor en la extracción del aceite en los olivares regados con la mayor dotación de agua, que acaba por traducirse en un problema de cierta importancia en las almazaras donde la mayoría de la producción proviniera de olivares muy bien regados.

6.- RESULTADOS DE DOS ENSAYOS DE ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO EN ANDALUCÍA.

La gran expansión del riego de olivar en Andalucía en la década de los 90, y en especial en la provincia de Jaén, ha ocasionado un grave problema de organización y reparto de agua en la Cuenca del Guadalquivir, lo que motivó que el Organismo Gestor de la Cuenca plantease para las nuevas transformaciones en regadío unas dotaciones de 1.500 m^3/ha para las plantaciones tradicionales (menos de 100 olivos/ha) y de 2.500 m^3/ha para las intensivas (más de 200 ol/ha). Según dichas propuestas de concesión de riego, se permitiría la captación de agua desde el 15 de Septiembre hasta el 15 de Abril (riego en otoño – invierno), permitiendo un riego de apoyo en verano equivalente al agua que se pudiera almacenar en las balsas de regulación construidas a tal efecto.

Esta situación, unida a la necesidad de un mejor conocimiento de las técnicas de riego deficitario, inspiró que en el año 1.995 se instalaran dos nuevos ensayos de riego por goteo deficitario en la provincia de Jaén. Los ensayos se realizaron tanto en plantación tradicional como en plantación intensiva

Se compararon cuatro tratamientos de riego y uno de secano:

- **Secano,** los olivos solamente recibieron el agua de lluvia.

- **Riego para cubrir todas las necesidades de agua del cultivo (ET_{max})**, calculado la dotación de riego empleando el método del balance de agua, aportando quincenalmente ETc-PE.

- **1.500-L** (2500-L): aporte de 1.500 m^3/ha en la plantación tradicional (2.500 m^3/ha en la intensiva), regando todos los meses con la misma cantidad de agua durante el periodo marzo-octubre.

- **1.500-I** (2500-I): aporte de 1500 m^3/ha en la plantación tradicional (2.500 m^3/ha en la intensiva), siguiendo la estrategia propuesta por la confederación Hidrográfica del Guadalquivir en sus nuevas concesiones para olivar, donde se ha concentrado el riego en los meses de septiembre - octubre, y febrero - marzo y hasta mitad de abril, más un riego

de socorro de 2.000 l/olivo en pleno verano, dejando libre el periodo de invierno (noviembre – enero) para realizar la recolección.

- **750** (1.250 m^3/ha en la plantación intensiva): riego deficitario con la mitad de la dotación que permitía la CHG. En esta estrategia se pretende manejar la dotación anual de agua de acuerdo con el ciclo del olivo y con el criterio de manejo del agua que tradicionalmente hacían algunos de los olivareros regantes. Se reparte la dotación anual de riego en primavera (hasta endurecimiento de hueso aproximadamente) y otoño (para mejorar la formación de aceite y la maduración). Durante los meses de verano, julio y agosto, no se riega, coincidiendo con el periodo de menor sensibilidad del olivo al estrés hídrico.

Los experimentos, que comenzaron en el año 1.995 y que todavía perduran, se plantearon en dos localidades de la provincia de Jaén:

La **plantación tradicional** (fotografía 6.1) se encuentra en el término municipal de Jódar, en la finca La Loma, con olivares centenarios de la variedad 'Picual', con un marco de plantación de 12,5 x 12,5 m (64 olivos/ha), implantados en un suelo profundo y franco. Este olivar venía regándose tradicionalmente a pie desde el año 1927 y que se transformó a riego localizado al comienzo de los años 90. En el ensayo se dispusieron 8 goteros de 4 litros/h por olivo.



Fotografía 6.1: Plantación tradicional de árboles centenarios de la variedad 'Picual' del t.m. de Jodar (Jaén) con un marco de plantación de 12,5 x 12,5 m (64 olivos/ha), implantados en un suelo profundo y franco-arcilloso. En esta parcela, finca "La Loma" se ha realizado uno de nuestros ensayos.

La **plantación intensiva** (ver fotografía 6.2 y 6.3) se encuentra en el término de Villacarrillo, en la finca Pichilín. Se trata de un olivar de la variedad 'Picual' con una edad de 25 años, un marco de plantación de 7 x 7 m (204 olivos/ha), implantados en un suelo profundo y franco - arcilloso. La finca se riega desde hace más de 10 años con el agua procedente de un sondeo. Este agua es apta (2,5 dS/m) para el riego de olivar. En el ensayo se trabajó con 4 goteros de 4 l/h por olivo.

En las **tablas 6.6 y 6.7** se presentan la producciones medias obtenidas y los componentes de la producción (número de frutos por olivo y peso medio del fruto) durante el periodo 1995-2001, para la plantación tradicional y la plantación intensiva, respectivamente.

Tabla 6.6. Producción media y sus componentes en olivos del ensayo de la plantación tradicional, finca La Loma, Jódar (Jaén) variedad 'Picual', durante los años 1996-2001. Media de 6 cosechas.

Tratamiento	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Número frutos/olivo (miles)	Producción aceituna (kg/ha)	Rto. graso (%)	Producc. de aceite	
						kg/ha	% s/ ETc max
ET_{max}	283	4.41	32	255	24.5	778	100
1500-I	145	4.77	32	6.704	25.0	1.678	94
1500-L	146	4.17	25	5.994	26.2	1.573	88
750	74	4.62	22	4.756	25.7	1.221	68
Secano	0	5.01	20	3.936	24.9	982	55

Tabla 6.7. Producción media y sus componentes en olivos del ensayo de la plantación intensiva, finca Pichilín, Villacarrillo (Jaén) de la variedad 'Picual', durante los años 1996-2001. Media de 6 cosechas.

Tratamiento	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Número frutos (miles)	Producción aceituna (kg/ha)	Rto. graso (%)	Producc. de aceite	
						kg/ha	% s/ ETc max
ET_{max}	374	3.29	23	15.463	23.9	3.700	100
2500-I	251	2.81	23	13.185	23.6	3.111	84
2500-L	249	3.00	21	12.826	23.4	3.005	81
1250	123	2.76	20	11.285	22.4	2.536	68
Secano	0	2.68	15	8.167	21.7	1.775	48

Las producciones obtenidas en ambas parcelas de ensayo indican una clara y evidente respuesta al riego, incluso en las tesis regadas con las dosis más deficitarias (750 ó 1.250 m^3/ha).

La respuesta al riego del olivar en las condiciones edafoclimáticas de la zona estudiada está condicionada por dos factores: la **pluviometría anual** y por la **capacidad de almacenamiento de agua de los suelos** (textura y profundidad), lo que permite almacenar las lluvias de invierno para su consumo por los olivos durante el verano.



Fotografía 6.2: Olivar del tratamiento de secano en la parcela de ensayo de la finca Pichilín. La fotografía fue realizada a final de verano antes de que se produjesen las primeras lluvias otoñales. Se observan los síntomas de estrés hídrico debido al déficit al que se ha sometido a los árboles durante el verano.

En el conjunto de años de duración de los ensayos (1996-2001), las pluviometrías anuales han sido muy diferentes. En el primer trienio, considerado como de **años húmedos**, la precipitación anual media fue de 607 mm en La Loma y 652 mm en Pichilín, siempre superior a la media de la zona (unos 500 mm). En el segundo trienio, 1999-2001, considerado como de **años secos,** la lluvia fue mucho menor, con 285 mm en La Loma y 350 en Pichilín. En la **tabla 6.8**, y para ambos períodos, se presentan las producciones de aceitunas y aceite obtenidas en ambas parcelas.

Tabla 6.8: Producciones de aceite por hectárea y eficiencia del agua de riego obtenidas en los ensayos de las fincas La Loma (Jódar) y Pichilín (Villacarrillo) en los años 1996—2001.

	Programa de riego	Producción de aceitunas				Producción de aceite			
		1996-1998 (lluviosos)		1990-2001 (secos)		1996-1998 (lluviosos)		1999-2001 (secos)	
		Kg/ha	% s/ETmax	Kg/ha	% s/ETmax	Kg/ha	% s/ETmax	Kg/ha	% s/ETmax
La Loma 65 olivos/ha	ETCmax	6.975	100	7.415	100	1.719	100	1.836	100
	1500-I	6.956	100	6.458	87	1.686	98	1.669	91
	1500-L	6.476	93	5.510	74	1.672	97	1.474	80
	750	5.107	73	4.418	60	1.282	75	1.162	63
	Secano	4.755	68	3.117	42	1.193	69	771	42
Pichilín 200 olivos/ha	ETCmax	13.413	100	17.515	100	3.227	100	4.066	100
	2500-I	13.496	100	12.886	73	3.213	100	3.026	74
	2500-L	13.058	97	12.598	72	3.168	98	2.983	73
	1250	11.885	88	10.696	61	2.883	89	2.327	57
	Secano	10.712	80	5.024	29	2.505	78	1.004	25

En los **años secos** (1999–2001) existió una respuesta espectacular al riego, incluso en los tratamientos en los que se aplicaron las dosis más bajas; mientras que en **años lluviosos** (1996 a 1998), y especialmente cuando la pluviometría estuvo bien repartida, la respuesta al riego fue



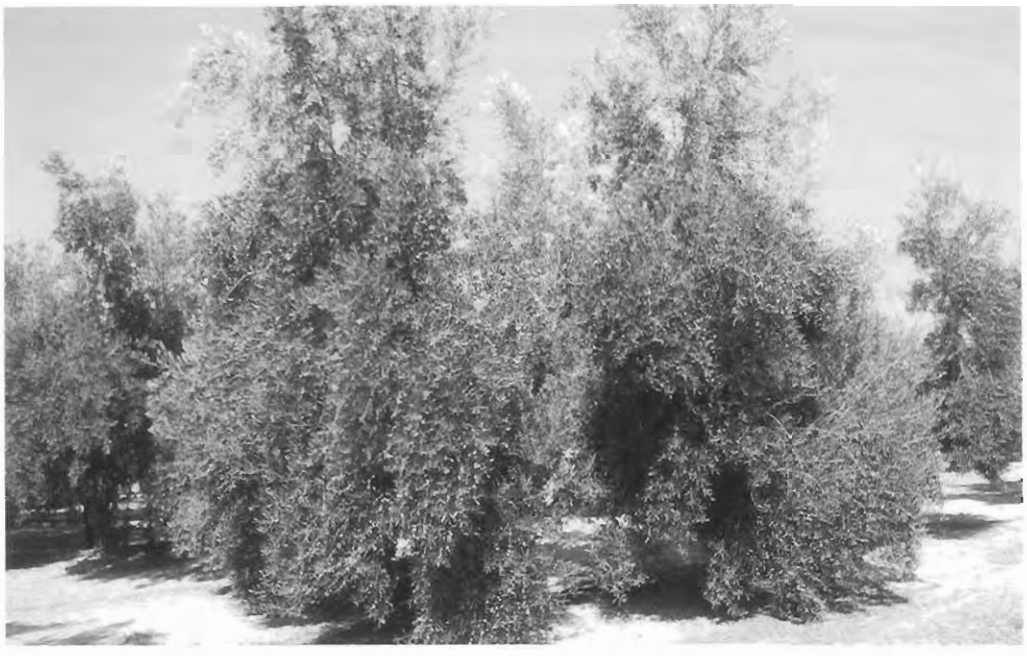
Fotografía 6.3: Olivar del tratamiento 2.500-L (ver texto) en la parcela de ensayo de la finca Pichilín. La fotografía fue realizada a final de verano antes de que se produjesen las primeras lluvias otoñales. Se observan ligeros síntomas de estrés hídrico debido al programa de riego deficitario al que se ha sometido a los árboles durante la campaña de riegos.

mucho menor, existiendo escasas diferencias entre las diferentes estrategias de riego aplicadas (**tabla 6.8**). En general el regadío ha mejorado el rendimiento graso de los frutos con respecto al secano. Solamente en los años muy lluviosos y en la estrategia de máxima aportación de agua (ETc_{max}) se han observado ligeros descensos en el rendimiento graso de la aceituna. Sin embargo, la producción de aceite por árbol es siempre mayor en el olivar regado con la mayor dotación de agua.

La **respuesta productiva al riego** se fundamenta en un aumento del **volumen de la copa** de los olivos (**tabla 6.9**), lo que se traduce en un mayor número de posiciones fructíferas y finalmente en un mayor **número de frutos** cuajados por olivo. Por otro lado el riego mejora la capacidad de llenado de las aceitunas durante el verano, lo que se traduce en **frutos de mayor tamaño** (datos no presentados), a pesar de haber aumentado el número de frutos cuajados por olivo. Ambos parámetros, mayor número de frutos y frutos de mayor tamaño explican finalmente el aumento de producción observada. De esta manera, en ambos ensayos se han conseguido mejores producciones en el tratamiento ETc_{max} en los años secos, aunque las cantidades de riego anuales aportadas superaron los 5.000 m^3/ha.



Fotografía 6.4: Olivar del tratamiento 2.500-riego de invierno (ver texto) en la parcela de ensayo de la finca Pichilín. La fotografía fue realizada a final de verano antes de que se produjesen las primeras lluvias otoñales. Se observan ligeros síntomas de estrés hídrico debido al programa de riego deficitario al que se ha sometido a los árboles durante la campaña de riegos.



Fotografía 6.5: Olivar del tratamiento ETmax con el que hemos pretendido cubrir las máximas necesidades del cultivo (ver texto) en la parcela de ensayo de la finca Pichilín. La fotografía fue realizada a final de verano antes de que se produjesen las primeras lluvias otoñales. No se observan síntomas de estrés hídrico y el volumen de copa de los árboles es claramente mayor que el de los árboles de secano o los regados con programas de riego deficitario.

También se puede observar (**tabla 6.8**) que la producción en la plantación intensiva (Pichilín) es mucho mayor que en la tradicional (La Loma). Aunque las cantidades de agua de riego requeridas son siempre superiores, sin embargo, la eficiencia por cada metro cúbico

Tabla 6.9. Evolución de los volúmenes de copa (m^3/ha) para los diferentes tratamientos en las dos parcelas de ensayo. Periodo 1997-2001.

Finca	Tratamiento	1997	1998	1999	2000	2001
PICHILIN	ET_{max}	7.325	9.107	10.589	14.032	16.553
	2500 I	6.864	7.372	9.122	11.354	13.126
	2500 L	7.618	8.878	10.272	13.090	15.016
	1250	7.760	8.835	10.778	13.051	14.365
	Secano	6.963	6.235	8.229	9.292	10.720
LA LOMA	ETmax	6.450	6.824	7.069	10.191	9.740
	1500 I	6.353	6.544	6.450	8.072	8.317
	1500 L	6.210	6.525	6.700	9.040	8.052
	750	6.151	6.338	6.559	8.524	7.862
	Secano	6.004	5.549	5.857	7.904	6.957

de agua de riego utilizada es mayor en el olivar intensivo, aspecto este que trataremos más adelante con más profundidad, así como en el capítulo 20.

Cuando la disponibilidad de agua en la explotación es insuficiente para regar la totalidad de la superficie de olivar aplicando una dotación suficiente como para cubrir la ETc_{max} del cultivo, podemos afirmar, teniendo en cuenta los datos presentados en las tablas 6.6, 6.7 y 6.8, que es más rentable aplicar una estrategia de riego deficitario, la que nos permita regar la totalidad de la superficie, hasta agotar la totalidad del agua disponible.

7.- RECOMENDACIONES SOBRE APLICACIÓN DE RIEGOS DEFICITARIOS EN ANDALUCÍA.

Teniendo en cuenta las dotaciones de riego propuestas en la actualidad por el organismo regulador de la cuenca para las concesiones de agua (1500 m^3/ha), éstas parecen adecuadas para el olivar tradicional (< 100 olivos/ha) con volúmenes de copa en el rango de los 7.000 a 8.000 m^3/ha y en años de pluviometría media (500 mm). No obstante, estas dotaciones parecen totalmente insuficientes para los años secos, ya que se afecta negativamente a la producción obtenida en olivares regados con una dotación óptima de agua (**ETc_{max}**). Estos efectos se manifiestan con especial intensidad en el caso de las plantaciones intensivas (> 200 olivos/ha), en las que los 1.500 m^3/ha resulta insuficiente incluso en años húmedos.

Considerando la buena capacidad de retención de agua de los suelos en los que se cultivan la mayoría de los olivares de regadío en Andalucía, y teniendo en cuenta que en la cuenca del Guadalquivir hay excedentes de agua no regulada en invierno, no parece ser un inconveniente el hecho de que apliquemos una parte importante de la dotación anual de riego en esta época del año (+ un riego de apoyo estival), estrategia que en la **tabla 6.8** se ha denominado **1.500-I** (o **2.500-I**). Esta alternativa de riego (que hemos denominado **riego de invierno**) no parece peor (a medio y largo plazo) que el riego con similar cantidad de agua aplicada a lo largo del período marzo-octubre y con aportaciones mensuales constantes (**1.500-L** o **2.500-L**). La propuesta de riego en invierno se mejora empleando sistemas de riego de adecuada cobertura.

En la **estrategia de riego deficitario** denominada **riego de invierno**, se ha visto afectado negativamente el **crecimiento vegetativo** de los árboles, pero no se ha visto afectada negativamente la **producción** con respecto al riego deficitario con cantidades mensuales constantes. Este hecho podría ser interesante cuando en **plantaciones adultas** se pretenda restringir el crecimiento de los olivos sin necesidad de recurrir a **podas demasiado severas**. Sin embargo, esta estrategia puede ser poco recomendable en plantaciones jóvenes en fase de crecimiento.

En los suelos con **problemas de encharcamiento** hay que tratar de evitar grandes aportaciones invernales de agua de riego, lo que ocasionaría problemas de **asfixia radical**, que afectaría negativamente a la producción y a la supervivencia de la plantación, cuestión que ha sido demostrada en experimentos de campo (Girona y *col.*, 2001) y en algunas comunidades de regantes de la comarca de La Loma (Jaén).

En **suelos con reducida capacidad de retención** (textura gruesa y/o limitada profundidad), probablemente esta estrategia de riego de invierno no sería efectiva. También parece una estrategia poco adecuada en aquellos inviernos donde la lluvia es muy abundante, ya que el riego se hace **ineficaz** al quedar el suelo recargado de forma natural por el agua de lluvia.

Para evitar estos problemas de encharcamiento debido al riego si se producen grandes eventos de lluvia en invierno, parece más lógico desde el punto de vista de la fisiología del cultivo poder repartir la dotación en la época de primavera-verano-otoño. En este caso, la propuesta que se hace en estos ensayos de **reparto de agua en cantidades constantes** a lo largo del periodo de riego parece una solución ideal. Si se escoge esta estrategia de riego, la programación se puede realizar con relativa facilidad evaluando el agua almacenada en el suelo después del periodo de lluvia, estimando la evapotranspiración en función de las condiciones climáticas de la zona, y los datos de la plantación (densidad y volumen de copa).

En **situaciones de baja disponibilidad de agua**, lo normal en la cuenca del Guadalquivir, **parece más eficaz regar una mayor superficie aplicando programas de riego deficitario**,

Tabla 6.10: Eficiencias del agua de riego (Kg aceite/m³ agua de riego) obtenidas en los ensayos de las fincas La Loma (Jódar) y Pichilín (Villacarrillo) en los años 1996-2001.

Finca	Programa de riego	Eficiencia del agua de riego (1) (kg aceite /m³ agua de riego)		
		1996-1998 lluviosos	1999-2001 secos	1996-2001
LA LOMA	ETcmax	0.240	0.430	0.344
65 ol / ha	1.500 – I	0.334	0.728	0.491
	1.500 – L	0.324	0.666	0.461
	750	0.420	1.142	0.709
	Secano	—	—	—
PICHILÍN	ETcmax	0.608	0.63	0.463
200 ol / h	2.500 –I	0.43	0.914	0.519
	2.500 – L	0.464	0.923	0.496
	1.250	0.474	1.142	0.526
	Secano	—	—	—

(1) Eficiencia = [Producción en riego – Producción en secano] / Volumen de agua de riego aplicada

como lo demuestra el hecho (ver **tablas 6.6** y **6.7**) de que los programas de riego con menor dotación anual de agua proporcionan una mayor cantidad de aceite por cada metro cúbico de agua de riego aplicado, lo que equivale a decir que en estas situaciones estos programas permiten obtener una mayor eficiencia (**tabla 6.10**).

La **eficiencia en el uso del agua** parece igualmente mayor en los años secos que en los años lluviosos. Estos resultados avalan la decisión de la CHG de repartir los recursos disponibles de agua de la cuenca del Guadalquivir entre una gran cantidad de olivareros y abasteciendo a una gran superficie, asignando una dotación anual deficitaria por hectárea.

8.- ÍNDICES FISIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OLIVARES EN LOS QUE SE APLICAN RIEGOS DEFICITARIOS

Para disponer de índices de fácil medición que puedan aportar información a tiempo real del grado de estrés hídrico al que se está sometiendo a los árboles cuando se aplica una estrategia de riego deficitario, se han realizado seguimientos anuales de una serie de parámetros en los ensayos descritos en el apartado 6.

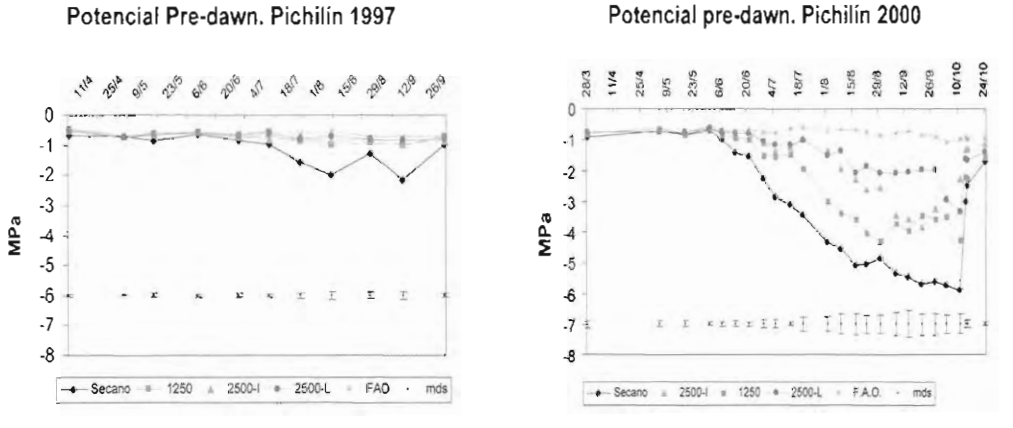


Figura 6.1: Evolución anual del potencial de agua en hoja medido antes del amanecer (pre-dawn) en los diferentes tratamientos de riego en la finca Pichilín (Villacarrillo), años 1997 (húmedo) y 2000 (seco). El riego ETc max aporta agua para máxima evapotranspiración, intentando que el potencial en hoja no descienda nunca de –1,0 MPa. Las demás estrategias han ocasionado descensos en el valor de Ψpd por debajo del mencionado valor umbral a lo largo de la campaña de riegos. La recuperación del potencial hídrico en todos los programas de riego a partir de 8/09/99 es consecuencia de las lluvias producidas a principio de septiembre.

El potencial de agua en hoja antes del amanecer (Ψ_{pd}), que puede medirse fácilmente utilizando una cámara de presión (ver capítulo 3).Se trata de un parámetro muy interesante. La determinación periódica del Ψ_{pd} permite estimar indirectamente la **disponibilidad de agua en el suelo**. Según la evolución de los valores obtenidos se puede proponer a lo largo de la campaña la modificación de la programación del riego cuando las dotaciones empleadas son deficitarias, permitiendo el descenso del Ψ_{pd} hasta un nivel umbral que permita a los árboles un adecuado nivel fotosintético. La evolución anual de este parámetro explica bastante bien la respuesta productiva del olivo al riego observada en los ensayos presentados en apartados anteriores. En la **figura 6.1** se presenta la evolución en el tiempo de los valores de Ψ_{pd} a lo largo de las campañas de riegos los años 1.997 y 2.000 en el ensayo de Pichilín, en el que se comparan diferentes estrategias de riego.

En el **año 1.997**, considerado como húmedo, los valores de Ψ_{pd} se mantuvieron en todos los tratamientos de riego durante todo el verano en el rango –0,5 y –1,0 MPa, intervalo de valores que se podría considerar como valor **umbral**, valor que indicaría que no existe déficit hídrico en los olivos a lo largo de la campaña. En este año tan sólo se observa una situación de déficit hídrico durante el verano en el tratamiento de secano.

En el **año 2.000** (seco), los valores de Ψ_{pd} en el tratamiento **ETc**$_{max}$ se han mantenido en el rango –0,5 y –1,0 MPa, lo cual ratifica que la dotación de agua aplicada en este tratamiento es adecuada y, por tanto, el riego es suficiente para no provocar estrés hídrico en la plantación. Los programas 1.250 y 2.500 m^3/ha, junto con el secano, han ocasionado estrés hídrico en determinados momentos del ciclo. Los datos de Ψ_{pd} fueron congruentes con las producciones observas en los diferentes tratamientos de riego.

El déficit hídrico ocasionado con la aplicación de riegos deficitarios a lo largo del ciclo ha repercutido negativamente en los niveles de fotosíntesis y producción de asimilados de los olivos de los tratamientos de riego deficitario. Ello puede explicar la reducción de la producción del olivar de secano con respecto al regado, y del olivar regado aplicando un programa deficitario con respecto al control regado para máxima producción (ETc$_{max}$), que validan suficientemente las anteriores afirmaciones.

Recientemente algunos investigadores están proponiendo la medida del **potencial del tallo a mediodía** para caracterizar la respuesta del olivo a diferentes estrategias de riego. Se emplean hojas tapadas durante media hora, tomadas en una posición muy cercana al tronco y a la sombra. Los valores obtenidos están muy relacionados con las medidas antes del amanecer, lo que puede permitir aumentar el número de medidas realizadas diariamente, ya que a mediodía el período de medición es mucho más largo, ya que la medida del Ψ_{pd} exige grandes madrugones, lo que no siempre es agradable para el operario.

Otro parámetro que es fácil de medir y cuyo seguimiento proporciona una buena información sobre el grado de estrés hídrico de la plantación es el **peso fresco de la aceituna.** En la **figura 6.2** se muestra la evolución del peso fresco de la aceituna (izquierda) y del potencial

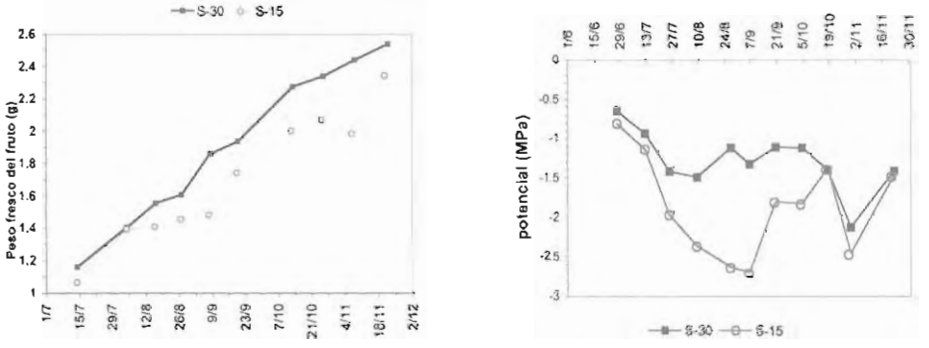


Figura 6.2: Evolución del peso fresco de la aceituna (izquierda) y del potencial de agua en hoja antes del amanecer (derecha) a lo largo de la campaña 2.002 en 2 olivares de Linares regados aplicando programas deficitarios de 1.500 m^3/ha (S-15) o de 2.500 m^3/ha (S-30).

de agua en hoja medido antes del amanecer (derecha) para un olivar de la variedad 'Picual' plantado con marco 8 x 8 m, en el que se aplican dos estrategias de riego deficitario S-30 (2.500 m^3/ha.año) y S-15 (1.500 m^3/ha), observándose como al hacerse más negativos los valores del potencial en S-15 (mayor estrés hídrico) se produjo una reducción del crecimiento de la aceituna, y como a principio de otoño, momento en el que al reducirse la demanda evaporativa y adecuarse la dosis de riego a dicha demanda, se produjo una recuperación de los árboles (valores del potencial menos negativos). La imprevista sequía otoñal y la interrupción del riego provocaron de nuevo estrés en los árboles (el potencial se hace de nuevo más negativo), afectando negativamente al peso de la aceituna y con ello a la producción. En pleno verano en S-30 no se rebasa el valor -1,5 MPa, y parece que no se ha afectado demasiado el crecimiento del fruto, lo que si se ha producido en S-15 en donde se registraron potenciales por debajo de –2,5 MPa.

Cuando el **tamaño del fruto** de una plantación de olivar en regadío muestra una evolución en línea recta, sin cambio de pendiente a lo largo de la campaña, puede ser indicio de que se está regando con la dosis de agua correcta. Si esta línea manifiesta cambios de pendiente, y en especial si estos son muy acusados, es señal de que el olivo está sufriendo déficit hídrico a partir del momento en que se produce el cambio de pendiente, lo que se observa para el tratamiento S-15 (**figura 6.2**) en dos momentos del ciclo de crecimiento del fruto, momentos que se corresponden con los valores más negativos del potencial hídrico antes del amanecer.

9.- CONSIDERACIONES FINALES.

El olivo, como especie bien adaptada a las condiciones mediterráneas, sin lluvias durante el período estival, tolera un cierto déficit hídrico durante el verano, y si además la finalidad es la producción de aceite, esta tolerancia se ve acentuada (posibilidades de recuperación durante el otoño), como así lo ponen de manifiesto los trabajos mencionados a lo largo del capítulo. No obstante, **este déficit hídrico no debería producirse durante la primavera e inicios de verano** (gran crecimiento vegetativo, desarrollo floral, cuajado del fruto, primeros estadios del crecimiento de la aceituna), ya que en estos momentos hay procesos en marcha que pueden afectar a la producción del año y a la del año siguiente. Tampoco es deseable que el **déficit de verano llegase a ser muy intenso y duradero**, ya que podría provocar caída de frutos y afectar seriamente a la capacidad de producir carbohidratos (fotosíntesis) y limitar el crecimiento del fruto, e incluso podría afectar a la inducción y diferenciación floral, con efectos negativos para la producción en la campaña siguiente.

La **programación de riegos**, siguiendo las metodologías descritas en el capítulo 5 y las relativas al **RDC** que se presentan en este capítulo permiten, junto con observaciones de la **evolución del crecimiento del fruto** y del **potencial hídrico antes del amanecer**, optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles.

Otra consideración importante a tener en cuenta en el riego del olivar es la **dificultad de extracción del aceite a medida que se aumentan las aportaciones hídricas** (Girona *y col.*, 2001). Probablemente una reducción paulatina del riego en el período endurecimiento del hueso – comienzo de la maduración del fruto podría mejorar este aspecto del proceso productivo, así como mejorar la calidad de los aceites obtenidos.

Referencias bibliográficas

Alegre, S., Marsal, J., Tovar, M.J., Mata, M., Arbonés, A., Girona, J., 2001. Regulated déficit irrigation in olive trees (Olea europaea, L. cv 'Arbequina') for oil production. Proceedings of the Fourth International Symposium on Olive Growing. Bari (Italy), 2000. Acta Horticulturae.

Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., van Heek, L., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 307-312.

Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Sánchez-Blanco M.J., y Torrecillas, A., 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. Irrigation Science 16:115-123.

Girona,J., Marsal, J., 1995. Estrategias de RDC en almendro. En: M. Zapata y M. Segura (Eds.). Riego Deficitario Controlado. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 97-116.

Girona, J., Mata, M., Arbonés, A., Alegre, S., Rufat, J., Marsal, J., 2003. Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 128(3):432-440.

Girona, J., 1996. Requerimientos hídricos del olivo. Estrategias de aplicación de cantidades limitadas de agua de riego en Arbequina. Fruticultura Profesional, 81:32-40.

Girona, J., Luna, M., Arbonés, A., Mata, M., Rufat, J., Marsal, J., 2001. Young olive trees (Olea europae, cv "Arbequina") responses to different water supplies. Water function determination. Proceedings of the Fourth International Symposium on Olive Growing. Bari (Italy), 2000. Acta Horticulturae.

Goldhamer, D.A., Dunai, J., Ferguson, L., 1994. Irrigation requirements of olives trees and responses to sustained deficit irrigation. Acta Hortculturae, 356:172-175.

Goldhamer, D.A., 1999. Regulated deficit irrigation for California canning olives. Acta Horticulturae 474 Vol.(1):369-372.

Gonzalez-Altozano, P., Castel, J.R., 1999. Regulated déficit irrigation in "Clementina de Nules" citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. J. of Hort. Sci. & Biotech. 74(6):706-713.

Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V.; Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J., 1999. Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Investigación Agraria: Producción Vegetal 14(3):393-404.

Pastor, M., Hidalgo, J., Orgaz, F., Moriana, A., Fereres, E., 2002. Riego de olivar: estudio de la respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. Actas de I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva. Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología- INIA. Madrid , 53-61.

Sánchez-Blanco, M.J., Torrecillas, A., 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego Deficitario Controlado en cultivos leñosos. En: M. Zapata y M. Segura (Eds.). Riego Deficitario Controlado. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 43-63.



CAPÍTULO 7

INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE Y SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA EN EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN



Miguel Pastor Muñoz-Cobo
Victorino Vega Macías
Javier Hidalgo Moya
Joan Girona Gomis



1.- INTRODUCCIÓN

2.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE
- 2.1.- Experiencia de Andalucía
- 2.2.- Experiencia de Cataluña
- 2.3.- Experiencia de Aragón.
- 2.4.- Experiencia de Italia.
- 2.5.- Conclusiones

3.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA DURANTE EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN

Referencias bibliográficas

1.- INTRODUCCIÓN

En la moderna olivicultura producir cantidad no es solo lo importante. La obtención de los aceites de calidad que demanda el mercado debe ser también un objetivo prioritario del olivarero. Probablemente en un futuro próximo el mercado exigirá calidad y pagará los aceites en función de unos criterios fijados por el consumidor. Además, son las características organolépticas del aceite de oliva las que en mayor medida lo diferencian de los aceites de semillas ante el consumidor.

Cuando se emplean métodos de recolección y técnicas de extracción que no afecten negativamente la calidad, los factores que en mayor medida afectan a la composición y características organolépticas de los aceites son: la variedad, la época de recolección, el medio (suelo y clima) y las técnicas de cultivo empleadas (entre ellas el riego).

En Andalucía es cada vez mayor la superficie de olivar regado, pudiéndose decir que unas 300.000 hectáreas reciben aportaciones de agua en algún momento de su ciclo vegetativo. Se sabe que el riego aumenta la cantidad de aceite producido por el olivo, efecto que es aún más marcado en los años de baja pluviometría. La influencia del riego sobre la composición y calidad del aceite de oliva ha sido estudiada por diferentes autores. La mayoría de los trabajos muestran que el **riego** puede modificar la composición química y las características organolépticas los aceites producidos (Salas *y col.*, 1997; Girona, 2001; Berenguer *y col.*, 2001).

En este capítulo vamos a presentar los datos más sobresalientes de diferentes estudios realizados por equipos de investigación de probada solvencia investigadora, trabajos en los que además de la tipificación de los parámetros químicos y organolépticos de los aceites, se ha cuantificado el grado de estrés hídrico al que fueron sometidos los árboles en los que se aplicaron diferentes estrategias y dosis de agua de riego, lo cual ha permitido sacar unas conclusiones muy útiles para el olivarero.

2.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE

2.1.- Experiencia de Andalucía

2.1.1.- Olivar adulto de la variedad 'Picual'.

En un estudio realizado en la comarca de El Condado en la provincia de Jaén (Salas *y col.*, 1997) en el que colaboraron investigadores del departamento de Suelos y Riegos y del Laboratorio Agroalimentario de Córdoba, se estudió durante cuatro años la composición acídica, características organolépticas y parámetros de calidad reglamentada de los aceites producidos en secano y bajo tres regímenes de riego diferentes.

Se trabajó con olivos centenarios adultos de la variedad 'Picual' sometidos durante varios años a las siguientes estrategias de riego:

- **Secano**
- Riego con **80 litros/día** de agua por olivo en el período 1 marzo a 31 octubre (1.500 m^3/ha.año)
- Riego con **120 litros/día** de agua por olivo en el período 1 abril a 31 octubre (2.000 m^3/ha.año)
- Riego con agua suficiente como para cubrir la **ET máxima del cultivo,** de modo que asegurásemos la máxima producción (3.200 m^3/ha.año).

Del estudio del conjunto de los datos obtenidos se concluye que **existen cambios en la composición química y organolépticas de los aceites producidos** debido al diferente grado de estrés hídrico al que se vieron sometidos los olivos (fundamentalmente los de secano y los regados con 80 litros/día) a lo largo de su ciclo vegetativo (Pastor *y col.*, 1999), especialmente durante el período de crecimiento del fruto (verano y otoño) y hasta el momento en que se produjeron las primeras lluvias otoñales.

Las diferentes disponibilidades de agua a lo largo del ciclo anual pueden explicar las diferencias observadas en determinadas **propiedades químicas** de los aceites producidos. Casi siempre, y en todos los años y programas de riego, tanto la composición en ácidos grasos como los valores de K_{270}, K_{232}, la acidez y el índice de peróxidos se mantuvieron dentro de los límites reglamentados por la normativa europea (Reglamento CE nº 1019/2002).

Tabla 7.1: Composición relativa de los ácidos grasos en aceites producidos en los años 1993, 1994, 1995 y 1996 en un ensayo de estrategias de riego realizado en Santisteban del Puerto (Jaén) en olivar de la variedad 'Picual'.

Año	Estrategias de riego	Ácidos grasos (%)(1)					Relaciones		
		Oleico	Monoinsaturados	Poliinsaturados	Insaturados	Saturados	Oleico /linoleico	Insaturados /saturados	Monoinsat /poliinsat
1.993	ETmas (2)	80,6	81,9	4,2	86,0	14,0	23	6,1	19,7
seco	120 l/día	80,9	82,1	4,0	86,1	13,9	24	6,2	20,9
	80 l/día	81,7	82,8	4,1	86,9	13,1	24	6,6	20,6
	Secano	81,7	82,8	4,7	87,4	12,7	21	6,9	17,8
1.994	ETmas	78,4	79,9	4,9	84,8	15,1	19	5,6	16,5
seco	120 l/día	80,3	80,8	4,3	85,1	14,9	21	5,7	19,2
	80 l/día	79,6	81,6	4,5	86,1	14,0	21	6,1	18,1
	Secano	80,1	81,5	6,0	87,5	12,5	16	7,0	13,6
1.995	ETmas	67,5	69,7	11,9	81,7	18,3	6	4,5	5,9
seco	120 l/día	70,0	71,9	10,3	82,2	17,8	7	4,6	7,0
	80 l/día	70,4	72,1	10,2	82,3	17,6	7	4,7	7,1
	Secano	70,7	72,1	10,4	82,5	17,3	7	4,8	6,9
1.996	ETmas	81,2	82,4	4,5	86,9	13,2	21	6,6	18,4
lluvioso	120 l/día	81,3	82,4	4,5	87,0	13,1	21	6,6	18,2
	80 l/día	80,7	81,8	4,8	86,6	13,5	19	6,4	17,0
	Secano	80,3	81,5	5,2	86,7	13,3	17	6,5	15,7

(1) **Saturados** = ac.palmítico, ac. esteárico, ac. aráquico ; **Insaturados** = ac. oleico, ac. linoleico, ac. linolénico, ac. palmitoleico, ac. gadoleico ; **monoinsaturados** = ac. oleico, ac. palmitoleico, ac. gadoleico ; **poliinsaturados** = ac. linoleico, ac. linolénico
(2) ETmax = máxima dosis de agua de riego aplicada.

Las diferencias entre programas de riego en el contenido relativo en ácidos grasos fueron pequeñas y dependen fundamentalmente de la pluviometría del año agrícola. Sin embargo, estas diferencias, aún teniendo en muchos casos significación estadística, tienen una escasísima relevancia desde el punto de vista práctico, ya que afectarían muy poco a su cotización en el mercado.

En los años secos (1993 a 1995) los acidos grasos **monoinsaturados** y en especial en **ácido oleico** (**tabla 7.1**) fue mayor en los aceites producidos en secano, así como en los producidos por olivos regados con la menor cantidad de agua, observándose igualmente en secano un mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico). Por el contrario, los **aceites de riego** presentaron una mayor proporción de ácidos grasos saturados (palmítico + esteárico). La relación **insaturados/saturados** (**tabla 7.1**) fue menor en los dos tratamientos mejor regados, mientras que la relación **monoinsaturados/ poliinsaturados** y la relación

oleico/linoleico permitieron cada año diferenciar los aceites de riego y los de secano, sin que se observaran diferencias importantes entre las diferentes dosis de riego.

El año 1996 fue muy lluvioso, y los olivos con riego más deficitario y los de secano solamente sufrieron estrés hídrico durante un periodo de tiempo muy corto y a final de verano. Este año fueron los mencionados tratamientos los que mostraron aceites con un contenido en ácido oleico más bajo. También este año la relación **oleico/linoleico** fue menor en los aceites de secano que en los de riego.

La **tabla 7.2** muestra los valores de diferentes parámetros analiticos de calidad reglamentada (acidez, índice de peróxidos, K_{270} y K_{232}).

Tabla 7.2: Parámetros analíticos de calidad de los aceites producidos en los años 1993, 1994 y 1995 en un ensayo de estrategias de riego realizado en Santisteban del Puerto (Jaén).

Año	Estrategias de riego	Ind.peróxidos meq O_2 / kg	Acidez % p/p	Absorbancia al U.V.	
				K270	K232
1993	ETmax (1)	4,1	0,33	0,11	1,36
seco	120 l/día	3,8	0,15	0,12	1,35
	80 l/día	4,2	0,11	0,09	1,33
	Secano	3,6	0,19	0,16	1,66
1994	ETmax	15,9	0,21	0,12	1,43
seco	120 l/día	14,9	0,18	0,13	1,43
(2)	80 l/día	15,9	0,15	0,14	1,51
	Secano	20,3	0,18	0,21	1,82
1995	ETmax	5,2	0,68	0,07	1,43
seco	120 l/día	6,1	0,43	0,09	1,43
	80 l/día	3,9	0,28	0,09	1,35
	Secano	3,2	0,11	0,11	1,52
1996	ETmax	8,8	0,12	0,09	1,33
lluvioso	120 l/día	8,2	0,10	0,10	1,33
	80 l/día	7,2	0,10	0,09	1,33
	Secano	5,1	0,10	0,10	1,37

(1) ETmax = máxima dosis de agua de riego aplicada.
(2) Se produjeron heladas antes de la recolección de las aceitunas

Absorbancia al UV. Los valores del K_{270}, parámetro que estima el **estado de oxidación** y el grado de **conservación de un aceite**, fueron más altos en los aceites de secano (tabla 7.2)

en los años secos, no observándose apenas diferencias en el año 1.996. Los aceites de los distintos tratamientos estuvieron todos los años dentro de los límites reglamentados para que puedan ser considerados como vírgenes de calidad extra. El valor del K_{232} fue en todos los años mayor en el aceite producido en secano (**tabla 7.2**).

La **acidez** de los aceites (tabla 7.2) fue baja en todos los tratamientos y años, y siempre dentro de los límites reglamentados para ser considerados como aceites de oliva. Esta acidez fue siempre mayor en los aceites producidos por los árboles mejor regados. Una posible explicación podría ser que en los árboles mejor regados fue mayor el contenido en agua en los frutos a lo largo del proceso de crecimiento y maduración de las aceitunas, lo que podría favorecer los procesos de hidrólisis de los triglicéridos, y por tanto el aumento de la acidez del aceite.

El **índice de peróxidos** valora el **estado de oxidación inicial del aceite**. Los resultados (**tabla 7.2**) muestran que este índice fue mayor en los aceites procedentes del olivar regado, en especial en los de riego con la máxima dotación de agua. Solamente en el año 1.994 se observa una desviación de esta tendencia, mostrando los aceites de secano un índice mayor que los de riego. En este año se produjeron fuertes heladas antes de la recolección de la aceituna, afectando el frío más al aceite de secano que al de regadío, probablemente porque los frutos de secano estaban menos maduros cuando se produjeron las heladas.

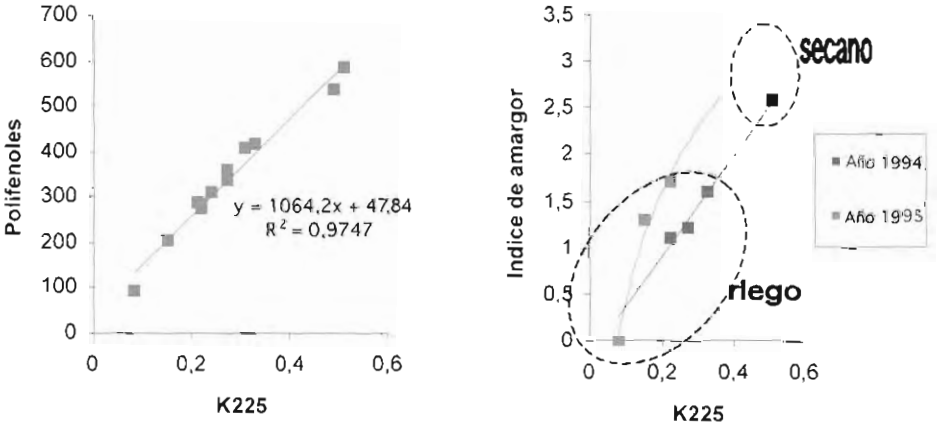


Figura 7.1: Los valores de contenido en polifenoles, K225 e índice de amargor evaluado por el panel de cata están relacionados entre sí. Los aceites de secano son más amargos que los de riego, mostrando un mayor contenido en polifenoles. Datos correspondientes a olivar de la variedad 'Picual' en Santisteban del Puerto (Jaén).

El contenido total en **polifenoles** es un parámetro que está muy relacionado con el **amargor** y con la **estabilidad** de los aceites. Este parámetro casi **siempre nos permite diferenciar los aceites producidos en riego de los de secano** (**tabla 7.3**). Normalmente el contenido en polifenoles aumenta significativamente al reducirse la cantidad de agua de riego aportada, siendo máximo en el olivar no regado.

El **amargor** es uno de los atributos que caracterizan a los aceites de la variedad 'Picual'. Hemos caracterizado el grado de amargor de los aceites empleando el **K_{225}**, teniendo en cuenta la **alta correlación existente entre este parámetro y el índice de amargor sensorial estimado por el panel analítico** de cata (**figura** 7.1). Todos los años se han observado diferencias significativas entre los valores del **K_{225}** de los aceites producidos en:

- **secano (aceites más amargos)**
- **regadío (aceites más dulces)**

observándose igualmente **diferencias importantes entre las diferentes dosis de agua de riego**, siendo los aceites procedentes de los olivos mejor regados los que presentaron un **K_{225}** más bajo, y por tanto un menor grado de **amargor**.

Con la información disponible, en **regadío** podríamos recomendar **adelantar la fecha de recolección** lo que permitiría obtener aceites ***poco amargos*** y ***más frutados*** de lo que se obtendría si se retrasase la fecha de recolección.

Tabla 7.3 : Parámetros analíticos relacionados con el amargor de los aceites producidos en los años 1993, 1994 y 1995 en un ensayo de estrategias de riego realizado en Santisteban del Puerto (Jaén).

Años	Estrategias de riego	Polifenoles (ppm)	K225	Valoración sensorial amargor (1)	Estabilidad (horas)
1993	ETmax	Sin datos	0,21	Sin datos	Sin datos
	120 l/día		0,29		
	80 l/día		0,35		
	Secano		0,61		
1994	ETmax	282	0,22	1,1	50
	120 l/día	336	0,27	1,2	61
	80 l/día	418	0,33	1,6	68
	Secano	583	0,51	2,6	59
1995	ETmax	94	0,08	0	20
	120 l/día	203	0,15	1,3	29
	80 l/día	274	0,22	1,7	37
	Secano	534	0,49	3,1	46
1996	ETmax	288	0,21	s/d	42
	120 l/día	308	0,24	s/d	43
	80 l/día	357	0,27	s/d	54
	Secano	409	0,31	s/d	55

(1) 0 = ausencia total ; 1 = casi imperceptible; 2 = ligero; 3 = medio ; 4 = grande

En la **figura 7.1** se observa igualmente cómo el contenido en **polifenoles**, el K_{225} y la valoración sensorial del **amargor** (evaluada por el panel de cata) están muy relacionadas entre sí.

Tabla 7.4: Valoración organoléptica por el panel de cata de los aceites producidos en los años 1994 y 1995 en un ensayo de estrategias de riego realizado en Santisteban del Puerto (Jaén).

Años	Estrategias de riego	Valoración organoléptica (1)
1994	ETmax	7
	120 l/día	6,7
	80 l/día	7,2
	Secano	7,9
1995	ETmax	5,4
	120 l/día	7,3
	80 l/día	7,4
	Secano	7,8

(1) Escala cuyos valores están comprendidos entre 1 (peor calidad) y 9 (máxima calidad)

La **valoración organoléptica de los aceites** por el panel de cata muestra en general (**tabla** 7.4) una puntuación alta para todos los aceites producidos en el ensayo, aunque esta puntuación fue mayor para el aceite producido en secano y relativamente más baja para el aceite de los olivos con máximo riego, en especial en el año 1.995. Debemos advertir que se trata de la valoración del panel analítico y no de la valoración por un posible panel de consumidores, en especial si consideramos que el **amargor** es un atributo que puede no agradar a los consumidores no habituales.

Para el atributo **amargo**, todos **los catadores del panel fueron capaces de distinguir en ambos años** (1994 y 1995) **los aceites de riego de los de secano**, mucho más amargos estos últimos (**figura 7.2**), mientras que el 77% de los catadores identificó como diferente el aceite producido por los olivos regados con la mayor dosis de agua (máximo riego) con respecto al producido bajo regímenes de riego deficitarios (80 y 120 l/día), en especial los aceites de 1.995, que recordamos fue un año muy seco.

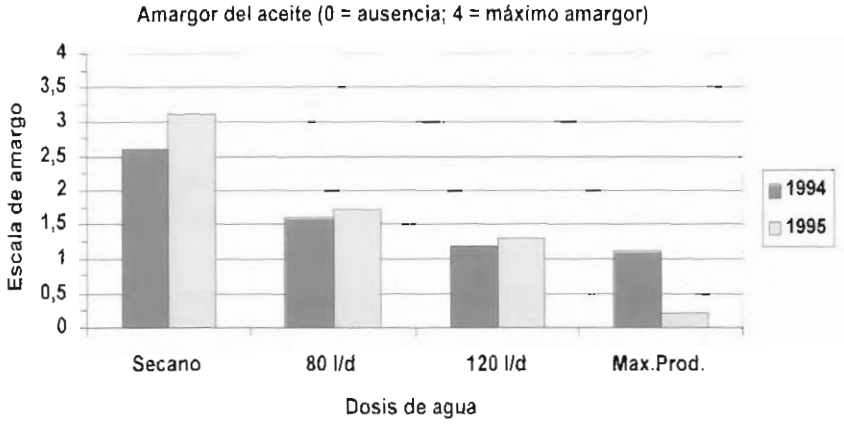


Figura 7.2: Evaluación por el panel de cata del atributo amargo de los aceites producidos en los diferentes programas de riego.

Los atributos **frutado** (**figura** 7.3) y **picante** (**figura** 7.4) fueron igualmente afectados por el riego, siendo más patentes estos atributos en los aceites de secano. En 1995 los aceites de los olivos mejor regados fueron muy poco frutados.

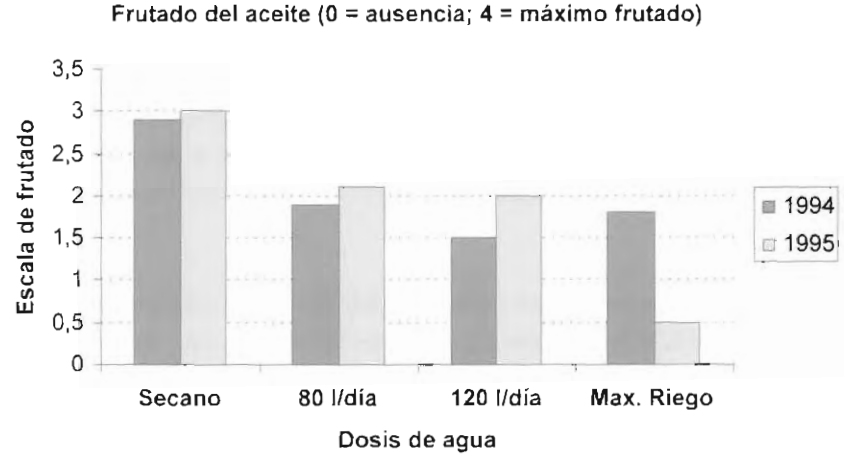


Figura 7.3: Evaluación por el panel de cata del atributo frutado de los aceites producidos en los diferentes programas de riego.

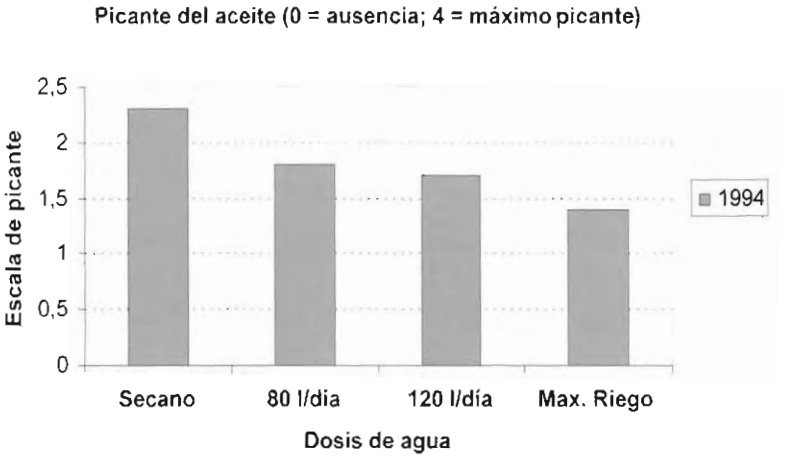


Figura 7.4: Evaluación por el panel de cata del atributo picante de los aceites producidos en los diferentes programas de riego. Año 1944.

La **estabilidad oxidativa** medida en Rancimat a 100°C es un parámetro que proporciona una buena estimación de **la susceptibilidad del aceite a la degeneración auto oxidativa**, que en los aceites de oliva y con el tiempo conduce a su **enranciamiento**. La estabilidad del aceite suele decrecer al aumentar la dosis de riego aplicada (tabla 7.3), tendencia que se acrecienta en los aceites procedentes de los árboles mejor regados.

Existe igualmente una alta correlación entre el **contenido total en polifenoles y la estabilidad de los aceites** (figura 7.5), observándose una pauta de comportamiento diferente entre los aceites producidos por los olivos de riego, bajo contenido en polifenoles y menor estabilidad que los de secano, que resultaron ser muy amargos y con gran establilidad, mostrando un alto contenido en polifenoles (incluso en el año lluvioso).

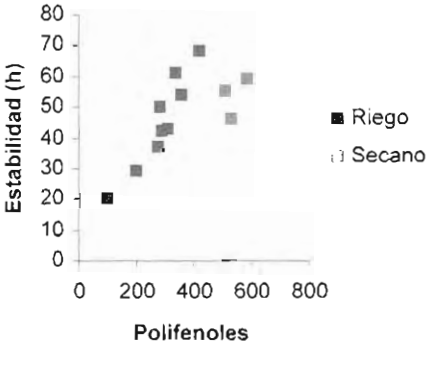
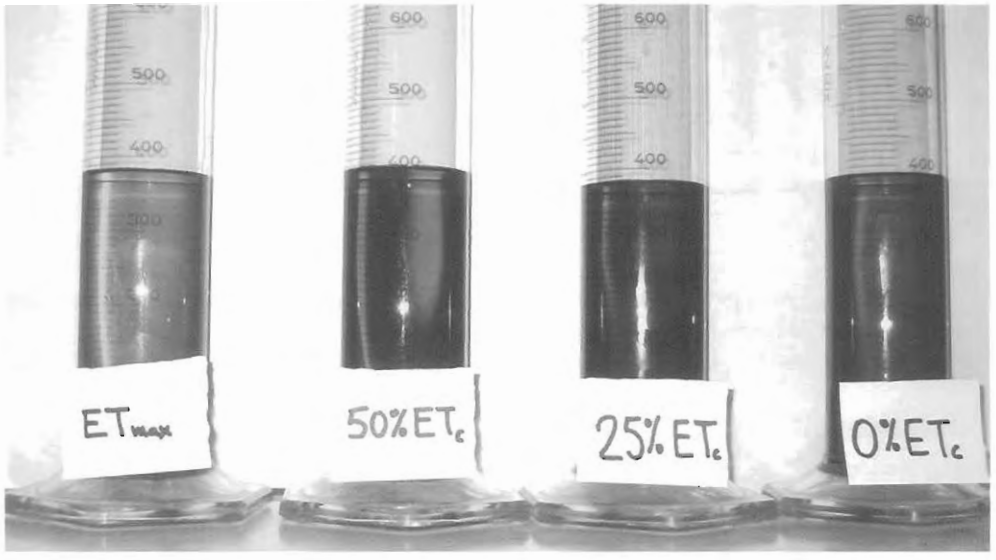


Figura 7.5: El contenido total en polifenoles y la estabilidad de los aceites están muy relacionados entre sí, observándose una pauta de comportamiento diferente para los aceites producidos por los olivos de riego y los de secano. Datos correspondientes a olivar de la variedad 'Picual' en Santisteban del Puerto (Jaén). Años 1995, 1996 y 1997.

El riego también influyó en la **coloración** y **tonalidad** observadas en los aceites (**fotografía 7.1**). Mientras que los **aceites de secano** presentaban coloraciones **verdosas**, los de **riego** presentaban coloraciones que tendían más hacia el **amarillo**, correspondiendo las tonalidades menos intensas a los aceites que procedían de los árboles mejor regados.



Fotografía 7.1: El riego puede influir en la coloración y tonalidad de los aceites. Para una determinada plantación y a igualdad de otras condiciones de cultivo, cuando se aplican riegos deficitarios (0% - 25% - 50% de ETc) los aceites suelen mostrar tonalidades más oscuras (en este caso en torno al color verde) que cuando se aplican riegos que cubren las máximas necesidades del cultivo (ETmax). La estrategia de riego aplicada influye igualmente sobre las propiedades químicas y organolépticas de los aceites.

2.1.2.- Olivar joven de la variedad 'Arbequina'

En árboles de 5 años la variedad 'Arbequina' que habían sido cultivados en regadío aplicando una dosis óptima de agua de riego desde su plantación, durante el verano de 2.002 se tomaron dos lotes homogéneos de árboles a los que se aplicó dos tratamientos de riego diferentes:

- Lote 1: se regó aplicando 100% de ETc durante toda la camaña.
- Lote 2: se suprimió el riego durante el verano, dejando a la plantación en situación de déficit hídrico, a expensas del consumo de la reserva de agua del suelo.

La **tabla 7.5** muestra los resultados analíticos de los aceites obtenidos en dichos lotes de árboles. Vemos que cuando se suprimió el riego durante el verano (lote 2) se obtuvieron aceites con menor acidez y menor índice de peróxidos, mostrando estos aceites un mayor valor

Tabla 7.5: Parámetros analíticos de los aceites obtenidos en olivar joven de la variedad 'Arbequina' en Córdoba sometido a dos regímenes de disponibilidad de agua durante el verano (lote 1= se riega aplicando ETmax durante todo el año; lote 2 = no se aporta agua de riego durante el verano).

	Acidez	K 232	K 270	Ind. Peróxidos	K 225	Polifenoles	Estabilidad (h.)
lote 2	0,13	1,98	0,14	6,07	0,33	356	32
lote 1	0,30	2,03	0,10	7,87	0,15	198	16

	Palmítico	Palmitoleico	Oleico	A. Linoleico	A. Linolénico
lote 2	16,60	2,13	65,73	11,73	0,70
lote 1	18,23	3,23	58,30	16,40	0,93

del K_{225}, así como del contenido en polifenoles y de la estabilidad ante la oxidación forzada, dato éste de gran interés en aceite de la variedad 'Arbequina' caracterizado por su escasa estabilidad. Teniendo en cuenta estos datos y los contenidos de las **figuras 7.1** y **7.5**, los aceites de los árboles no regados en verano previsiblemente serían más amargos y frutados que los del olivar bien regado.

Con relación a la composición relativa en ácidos grasos (**tabla 7.5**), los aceites producidos por el olivar bien regado (lote 1) mostraron una menor proporción de ácido oleico, y una mayor proporción de los ácidos palmítico, palmitoléico, linoléico y linolénico que el olivar no regado durante el verano (lote 2).

En este ensayo la supresión del riego en verano no afectó negativamente a la producción de aquel año, aunque sí a la producción del año siguiente, al afectar severamente al crecimiento vegetativo. El comportamiento del fruto en la almazara fue peor en los olivos bien regados; más adelante incidiremos en este importante aspecto de la producción oleícola.

2.2.- Experiencia de Cataluña

En este trabajo participaron el Área de Tecnología Frutícula del IRTA (Generalidad de Cataluña) así como el Departamento de Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Lérida. Se ha estudiado el efecto del riego sobre la:

- calidad,
- composición química
- evaluación organoléptica

de los aceites. Los autores del trabajo aplicaron diferentes estrategias de riego deficitario controlado a olivos de la variedad 'Arbequina' cultivados en la zona de producción amparada bajo la Denominación de Origen Protegida "Les Garrigues" (Lérida).

El ensayo de **riego deficitario controlado** se realizó en una plantación de olivos adultos durante los años 1996-1998, aplicándose 4 tratamientos de riego consistentes en:

- un tratamiento **control muy bien regado** durante toda la campaña (100% ETc)
- y tres tratamientos de **riego deficitario**, en los que el olivar fue regado igual que el control excepto en el período de tiempo transcurrido desde el inicio de endurecimiento del hueso (mediados de julio) hasta finales de septiembre, periodo en el que se regó con:
  - el 75% (RDC-75) de la dosis del tratamiento control
  - el 50% (RDC-50) de la dosis del tratamiento control
  - el 25% (RDC-25) de la dosis del tratamiento control

Desde el punto de vista de la calidad y composición química del aceite podemos decir que los aceites procedentes de la estrategia de riego más deficitario (RDC-25) son los que difieren más claramente de los olivos muy bien regados (100% ETc).

Los aceites del tratamiento peor regado (RDC-25) se caracterizan por un mayor contenido de **polifenoles** y por lo tanto una **mayor estabilidad** frente a la oxidación, pero con el riesgo subsiguiente, en función de la climatología del año (en especial del régimen de lluvias), de presentar una **excesiva intensidad del atributo amargo**. Los aceites de las estrategias RDC-50 y RDC-75, que suponen un importante **ahorro del agua** de riego, incrementan el contenido de polifenoles respecto a los aceites del tratamiento control (muy bien regado), aunque no la estabilidad oxidativa. El **amargor** de los aceites de estas dos estrategias fue ligeramente superior que el del tratamiento con máximo volumen de agua de riego, hecho igualmente patente en los resultados de la **cata sensorial**, donde además destacan estos aceites por una mayor intensidad del atributo **frutado** y una **puntuación** global de calidad ligeramente superior.

Como conclusión de este experimento cabe señalar que en olivar adulto de regadío puede ser conveniente la aplicación de un cierto déficit hídrico durante el verano (época de menor sensibilidad al déficit) lo que permitirá obtener aceites de óptima calidad reglamentada y organoléptica.

2.3.- Experiencia de Aragón.

En Aragón, trabajando igualmente con olivos adultos de la variedad 'Arbequina', Berenguer *y col.* (2001) de la DGA observaron como el riego con la máxima cantidad de agua proporcionaba aceites menos amargos, picantes y astringentes que los aceites producidos por

olivos regados con menores dosis de agua y que los de secano. Los aceites de riego eran también más dulces que los de secano.

2.4.- Experiencia de Italia.

En la región del Benevento en el sur de Italia, D'Andria *y col.* (2001a) trabajando con 4 dosis de agua de riego (secano, 33% ETc, 66% ETc y 100% ETc) con relación a la composición de los aceites producidos observaron que:

- La composición relativa en ácidos grasos no fue afectada por el riego
- Los polifenoles totales del aceite disminuyen al aumentar la dosis de agua de riego, especialmente en las dosis de 66% ETc y 100% ETc.
- La estabilidad oxidativa de los aceites y el índice de peróxidos no han mostrado diferencias entre tratamientos de riego.

En otro trabajo realizado en la Región de Campania en Italia por D'Andria *y col.* (2001b) trabajando con dos variedades ('Frantoio' y 'Leccino') y con 4 dosis de agua de riego (secano, 33% ETc, 66% ETc y 100% ETc) observaron:

- un mayor contenido en polifenoles en el olivar de secano y en el riego con la menor dosis de agua (33% ETc), existiendo escasas diferencias entre ambos.
- para idéntica cantidad de agua aplicada las diferencias entre ambas variedades fueron escasas.
- en todas las dosis de riego utilizadas los contenidos en polifenoles fueron mayores en los años más secos que en los lluviosos.

2.5.- Conclusiones

Con relación al secano, el riego permite aumentar la producción y rentabilidad del olivar, así como obtener **aceites menos amargos**, reduciéndose la intensidad de los atributos frutado y picante. El riego disminuye igualmente la estabilidad de los aceites, afectando de forma poco relevante, desde el punto de vista práctico, a la composición relativa en ácidos grasos y a los parámetros de calidad reglamentada (acidez, índice de peróxidos y K_{270}).

Con relación al riego con máxima cantidad de agua, la aplicación de **estrategias de riego moderadamente deficitario** permite conseguir un importante **ahorro en el consumo de agua de riego,** afectando positivamente a la **calidad del aceite,** proporcionando aceites ligeramente **más estables** y **frutados.**

3.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA DURANTE EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN

Aunque la producción de aceituna y de aceite están altamente condicionados por la aportación hídrica (lluvia + agua de riego), es importante mencionar en este apartado el posible efecto negativo del aporte hídrico sobre el comportamiento de la aceituna en la almazara durante el proceso industrial de extracción del aceite. En un trabajo de investigación realizado en la provincia de Lérida en un olivar joven de la variedad 'Arbequina', trabajo cuyo objetivo era determinar experimentalmente el coeficiente de cultivo para el olivo, Girona (2.001) observó como los árboles regados con mayor cantidad de agua produjeron aceitunas que mostraron algunos problemas para la extracción del aceite en la almazara, efecto que ya se había observado anteriormente, pero que no había sido aún cuantificado. La **figura 7.6** muestra como en la medida en que se aumentó la cantidad de agua de riego aportada al olivo (mayor valor del coeficiente de cultivo) se redujo el rendimiento graso industrial, disminuyendo el porcentaje de aceite extractado sobre la grasa total contenida en el fruto.

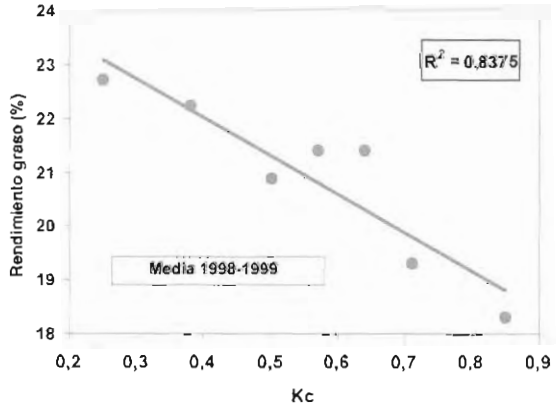


Figura 7.6. Rendimiento graso obtenido en el proceso industrial de extracción en la almazara en función del Kc (=cantidad de agua aportada) utilizado en la programación de riego (Girona y *col.*, 2001)

En otro trabajo realizado en Andalucía en olivar de la variedad 'Picual' en el que se compararon diferentes estrategias y dosis de agua de riego, también se estudió el efecto que dichas estrategias producían en el comportamiento de los frutos durante el proceso industrial de extracción del aceite. Con la natural cautela con que hay que tomar unos resultados obtenidos

trabajando con Abencor en laboratorio (método que no reproduce fielmente el proceso industrial, aunque si que muestra tendencias), los resultados más relevantes fueron los siguientes:



Fotografía 7.2: La estrategia de riego aplicada influye sobre el comportamiento de las aceitunas en la almazara durante el proceso de extracción del aceite. Las aceitunas producidas por árboles muy bien regados suelen tener una peor extractabilidad (mayores contenidos de aceite en los orujos) que los frutos de árboles de secano o de olivares en los que se ha aplicado un déficit hídrico durante el verano. Termobatidora y decanter de una almazara sistema continuo en Talavera de la Reina (Toledo).

En regadío, aún aplicando riegos deficitarios, y especialmente cuando acontecen otoños lluviosos, el proceso de extracción del aceite en la almazara puede ser relativamente difícil, obteniéndose en ocasiones unos bajos agotamientos finales de las pastas, lo que podría llegar a afectar negativamente al precio final obtenido por la aceituna, y por consiguiente a la economía de la explotación. La utilización de aditivos, como microtalco, se hace con frecuencia necesario cuando se trabaja con aceitunas de regadío, especialmente cuando se realizan recolecciones tempranas.

Existe una relación inversa entre el contenido de agua del fruto y la extractabilidad de las pastas, por lo que un **recorte** más o menos drástico en las aportaciones de agua (nunca la supresión del riego) en determinados momentos de su ciclo vegetativo (probablemente en verano) podría ser una buena práctica agrícola para paliar el problema planteado.

Pensando en el comportamiento de las aceitunas en la almazara, a la hora de manejar el riego debe tenerse en cuenta la climatología del año. Utilizando como referencia los datos de uno de nuestros ensayos (**figura** 7.7), en el año 2000, que fue relativamente seco y con un otoño muy lluvioso, a medida que aumentó la dosis de agua de riego utilizada disminuyeron las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción. Sin embargo, en el año 2001, que fue más lluvioso, el aumento de la dosis de agua de riego se tradujo en un aumento de la cantidad de aceite perdido en el proceso de extracción.

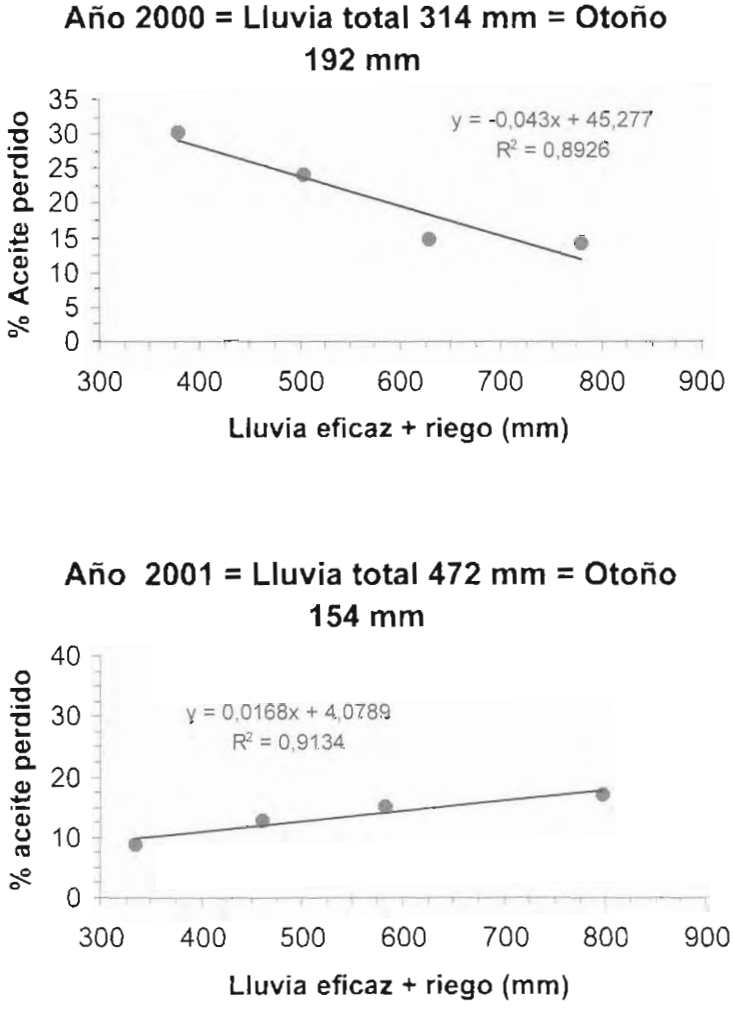


Figura 7.7: Aceite perdido (%) en el orujo en el proceso de extracción en Abencor trabajando con aceitunas producidas por olivos regados con diferentes dosis de agua en los años 2.000 y 2.001 en la finca Pichilín (Villacarrillo).

El comportamiento del fruto, anteriormente mostrado, podría explicarse en función de la evolución del contenido de agua en los frutos (datos no mostrados) durante el período de crecimiento de las aceitunas (agosto a noviembre), debiendo manejarse la aportación de agua de riego de modo que no se produzcan aumentos drásticos en el contenido de agua en el fruto, ya que una súbita acumulación de agua puede ser responsable de la formación de emulsiones durante el proceso industrial, lo que dificultaría la separación del agua y el aceite por centrifugación. Por el contrario, con bajos contenidos de humedad en el fruto, lo que suele acontecer en años secos, la adición de mayor volumen de agua de riego a lo largo de la campaña, que se traduce en un aumento de la humedad del fruto, puede mejorar la extractabilidad, mejorando el comportamiento de la aceituna durante el proceso industrial.

En esta disciplina habrá que continuar trabajando en los próximos años para afinar aún más en el manejo del riego, de modo que sin afectar negativamente a la producción del olivar, podamos facilitar el manejo de la aceituna en la almazara.

Referencias bibliográficas

Berenguer, M.J., Faci, J.M., Gracia, M.S., Espada, J.L., (2001). Calidad del aceite de oliva cv. Arbequina bajo un suministro variable de riego en Aragón. Actas XIX Congreso Nacional de Riegos. Zaragoza. 61-63.

D'Andria, R., Morelli, G., Lavini, A., Alterio, G., 2001a. Irrigazione, produzione e qualitá di cinque cultivar di olive da mensa e a duplice attitudine: risultati dell'attivita di ricerca di Piano Cappelle. Actas del Corso Internazionale di Aggiornamento Técnico Científico "*Gestione dell'acqua e del territorio per un olivicoltura sostenibile*" COI-CNR-Istituto Irrigazione. Napoli 24-29 settembre 2001.345-348.

D'Andria, R., Lavini, A., Morelli, G., Patumi, M., 2001b. Produzione e qualitá di due cultivar di olivo dopo la riconversione irrigua. Actas del Corso Internazionale di Aggiornamento Técnico Científico "*Gestione dell'acqua e del territorio per un olivicoltura sostenibile*" COI-CNR-Istituto Irrigazione. Napoli 24-29 settembre 2001.349-352.

Girona, J. (2001). Estrategias de riego deficitario controlado en olivar. En: Consejería de Agricultura y Pesca Junta de Andalucía. Programación de Riegos en Olivar. Serie Olivicultura y Elaiotecnia. Sevilla. 41-57.

Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V., Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J., 1999. Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Investigación Agraria: Producción Vegetal 14(3):393-404.

Salas, J., Pastor, M., Castro, J., Vega, V. (1997). Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de oliva. Grasas y Aceites, 48 (2): 74-82.



CAPÍTULO 8

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. RIEGO CON AGUAS SALINAS

Victorino Vega Macías
Miguel Pastor Muñoz-Cobo



1.- LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO
- 1.1.- Naturaleza de las aguas según su procedencia
- 1.2.- Análisis de un agua para riego
  - 1.2.1.- Determinaciones analíticas a realizar en el laboratorio
  - 1.2.2.- Toma de muestras de agua
  - 1.2.3.- Comprobación de la validez de los resultados del análisis de un agua
- 1.3.- Cálculo de las sales que hipotéticamente contiene un agua de riego
- 1.4.- Clasificación de las aguas para el riego
  - 1.4.1.- Salinidad
  - 1.4.2.- Sodicidad
  - 1.4.3.- Toxicidad iónica específica
  - 1.4.4.- Carbonato sódico residual
  - 1.4.5.- Oligoelementos

2.- EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL OLIVO.

3.- EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

4.- RESULTADOS DE UN EXPERIMENTO DE CAMPO EN OLIVAR

5.- MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN OLIVAR

Referencias bibliográficas



1.- LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

El aumento creciente de las necesidades de agua para abastecimiento urbano e industrial y la escasez de la misma, hace que cada vez exista menor cantidad de agua de buena calidad disponible para el riego agrícola. La utilización de aguas con relativamente altos contenidos de sales parece que puede ser un recurso muy importante a medio y largo plazo.

El conocimiento de la **calidad del agua** de riego es fundamental a la hora de implantar un regadío, ya que en función de dicha calidad deben tenerse en cuenta aspectos fundamentales como

- la elección del sistema de riego,
- el cultivo a regar,
- la variedad utilizar,
- los diferentes componentes de la instalación de riego,
- el tipo de tratamientos que es preciso realizar al agua para poder regar con ella.

Otros aspectos, como puede ser el dimensionamiento de la red de riego, se pueden más tarde decidir, una vez que se haya analizado la **calidad del agua de riego** y se hayan calculado las **necesidades** de agua para el **lavado de la sales**.

La **calidad del agua de riego** es un indicador cuyo conocimiento es necesario para un manejo adecuado del riego y del balance de sales en el bulbo, a la vez de establecer las oportunas medidas para evitar problemas de obturaciones de los emisores, así como evitar igualmente reacciones químicas no deseadas. Las aguas naturales presentan una gran variabilidad en su composición mineral. Sea cual sea su origen, todas las aguas de riego contienen sales disueltas, cuyo tipo y cantidad depende de su origen y del curso que hayan seguido antes de su utilización. Los constituyentes de un agua convencionalmente se dividen en dos grandes grupos: componentes **mayores** y **menores**.

Entre los **componentes mayores** podemos citar los que por su abundancia en las aguas de riego determinan en gran parte su calidad. En ellos se incluyen los:

- **cationes**: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+})

- **aniones**: cloruro (Cl^-), sulfato ($SO_4^=$), carbonato($CO_3^=$) y bicarbonato (CO_3H^-).

Entre los **componentes menores** de las aguas de riego merece especial atención el **boro**, por estar presente prácticamente en todas las aguas naturales, en concentraciones que varían desde trazas a algunas partes por millón. Dentro de este grupo de componentes menores se incluyen también **sílice**, **fluoruro**, **ioduro**, **litio**, **nitrato**, **nitrito**, **amonio**, **sulfito**, **fosfato**, **hierro**, **aluminio**, **manganeso**, **cinc**, **plomo**, **cromo**, **pesticidas**, **herbicidas**, **materia orgánica**, **aceites**, **fenoles**, etc.

En los **análisis ordinarios** de un agua de riego, además de los componentes mayores, se determina siempre la **conductividad eléctrica** (**CE**) y el **pH**. Sin embargo, el pH no constituye un criterio de calidad del agua de riego, ya que tiende a ser rápidamente tamponado por el suelo, y la mayor parte de los cultivos toleran un amplio rango de valores de pH. Sin embargo, el valor del pH condiciona el grado de solubilidad en agua de las sales, especialmente de las de calcio, causantes estas de gran parte de las obturaciones químicas de los emisores, aspecto este que siempre debemos tener muy en cuenta en la programación de la fertirrigación (ver Capítulo 14).

1.1.- Naturaleza de las aguas según su procedencia

Según la procedencia de las aguas éstas presentan una serie de características especiales, que es muy conveniente conocer para facilitar su interpretación.

a) **Aguas procedentes de suelos calizos**. Las características más destacables son:

- Bajo contenido en sales solubles.
- Valores bajos de $CO_3^=$, $SO_4^=$ y a veces de SiO_2.
- Algunas son pobres en Mg^{++}.
- Ricas en CO_3H^- y en Ca^{++}.
- Los Cl^- y el Na^+ son variables.
- En general la relación $Na^+ / K^+ < 1$

b) **Aguas procedentes de suelos yesosos**. Las características más destacables son:

- Elevado contenido en $SO_4^=$ y Ca^{++}.
- El valor de Mg^{++} es variable.
- Valores normales de CO_3H^-
- Contenidos en Cl^- y en Na^+.
- La relación $Na^+ / K^+ < 1$.
- En suelos yesosos del Mioceno y Oligoceno la $Na^+ / K^+ > 1$

c) **Aguas procedentes de suelos arcillosos.** Las características más destacables son:

- Bajo contenido en sales solubles.
- Valores altos de CO_3H^- y Cl^-.
- Contenidos altos de Ca^{++} y de Mg^{++}.
- Elevado contenido de SiO_2.
- Valores bajos de $SO_4^=$.

d) **Aguas procedentes de suelos arenosos.** Las características más destacables son:

- Bajo contenido en sales solubles.
- Contenidos altos en CO_3H^- y Cl^-.
- Bajo contenido en $SO_4^=$.
- Valores altos de Ca^{++}, de K^+, y de Na^+.
- Valores de Mg^{++} variables.
- Relación $Na^+ / K^+ < 1$

1.2.- Análisis de un agua para riego

1.2.1.- Determinaciones analíticas a realizar en el laboratorio

Tienen por objeto determinar una serie de parámetros físicos y químicos que permiten conocer y evaluar la calidad del agua para poder ser utilizada como agua de riego en los cultivos. Los diferentes parámetros a determinar en función de la procedencia de las aguas son:

Aguas superficiales y subterráneas (aguas de ríos, pozos, manantiales, acequias, etc.)

- Aniones: Cl^-, $SO_4^=$, $CO_3^=$, CO_3H^-, NO_3^-.
- Cationes: Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, y K^+.
- Otras determinaciones: pH, conductividad eléctrica, sales solubles, boro, nitrógeno mineral (amoniacal y nítrico)

Aguas residuales e industriales

Además de la determinaciones a realizar en aguas superficiales y subterráneas:

- Microelementos: Fe, Mn, Cu, Zn y Mo.
- Otras determinaciones: Pb, Cd, Cr, As, F, detergentes.

1.2.2.- Toma de muestras de agua

En el análisis de agua, lo primero que debemos saber es tomar la muestra correctamente, de manera que sea lo más representativa posible del agua con la que vamos a regar, lo cual es indispensable para que los resultados del análisis reflejen fielmente la calidad de la misma.

Para realizar correctamente la toma de la muestra:

- Dispondremos de una botella de plástico o de vidrio de 1 litro, nunca metálica o de cerámica.
- Si el agua a analizar es de **pozo**, la tomaremos después de varias horas de bombeo, con el fin de que las tuberías queden limpias de impurezas extrañas, así como asegurarnos de que no analizamos agua estancada, que muchas veces nada tiene que ver con el agua del acuífero.
- Si el agua es de **acequia** o de **río**, se recogerá a medio fondo y nunca en remansos o remolinos. Recomendable tomar y analizar varias muestras a lo largo de la campaña, al menos hasta caracterizar la variación anual de la calidad del agua.
- Se enviará la muestra de agua a un laboratorio de la mayor garantía, añadiendo en la botella los datos del solicitante así como la identificación de la muestra.
- Se especificarán claramente las determinaciones que queremos que realice el laboratorio.
- Una vez que el agricultor reciba los resultados del análisis de agua, debe requerir a un técnico competente para que interprete los resultados del análisis atendiendo a unos objetivos esenciales en el riego localizado como son:

  - salinidad
  - posible toxicidad para las plantas
  - potencial capacidad de ocasionar obstrucción química de los goteros

1.2.3.- Comprobación de la validez de los resultados del análisis de un agua

Teniendo en cuenta que la **electroneutralidad** de la disolución se mantiene siempre, cuando nos entreguen un **boletín de análisis** es conveniente comprobar la validez de los resultados. Esta comprobación se hará atendiendo los siguientes criterios:

1º) **Residuo seco** obtenido después de evaporar el agua en estufa a 110ºC, expresado en mg/l , debe cumplir:

$$\textbf{residuo seco} = \sum [\textbf{aniones}] + \sum [\textbf{cationes}] - 0{,}5 \times [HCO_3^-]$$

en donde todas las concentraciones vienen expresadas en mg/l.

2º) **Aniones y cationes**

$$\sum \text{[aniones]} = \sum \text{[cationes]}$$

en donde todas las concentraciones vienen expresadas en meq/l. En la práctica esta expresión no se cumple, debido a ciertos errores tanto de tipo humano como instrumental, o bien a que algún/os iones no han sido determinados por encontrarse en muy baja concentración, por lo que es aceptable lo siguiente:

Método aproximado:

$\sum$ [aniones] - $\sum$ [cationes] < 0,30 meq/l para un total de 6 meq/l
$\sum$ [aniones] - $\sum$ [cationes] < 0,75 meq/l para un total de 25 meq/l
$\sum$ [aniones] - $\sum$ [cationes] < 1,00 meq/l para un total de 50 meq/l

Método más exacto:

$$\sum \text{[aniones]} - \sum \text{[cationes]} = \pm 0{,}1065 + 0{,}0155 \times \sum \text{[aniones]}$$

en donde todas las concentraciones están expresadas en meq/l. Si los valores de estas diferencias entre aniones y cationes caen fuera de estos límites, es indicio de que debe repetirse el análisis de algún/os parámetro/s.

3º) **Método del error admitido (Ead).**

La magnitud de la diferencia entre aniones y cationes se puede expresar también como ***porcentaje de desviación respecto al promedio de ambas sumas***:

$$\frac{\left[\sum [aniones] - \sum [cationes]\right] \times 100}{\frac{\left[\sum [aniones] + \sum [cationes]\right]}{2}} \leq Ead$$

El valor por encima del cual se considera que un análisis no es válido es pués el error admitido. Este error depende del tipo de agua y de la concentración de sales en la misma, es decir de su conductividad eléctrica (ver **tabla 8.1**).

Tabla 8.1: Error admitido (Ead) en los análisis de agua en función de la CE del agua de riego (Chistiansen *y col.*, 1977, citado por Sancho Civera, 2000).

CE (dS/m)	Ead (%)	CE (dS/m)	Ead (%)	CE (dS/m)	Ead (%)
0,050	30,0	0,650	7,6	1,350	5,7
0,075	26,5	0,700	7,5	1,400	5,6
0,100	23,5	0,750	7,3	1,450	5,4
0,150	16,5	0,800	7,2	1,500	5,3
0,175	13,5	0,850	7,1	1,550	5,2
0,200	10,0	0,900	7,0	1,600	5,0
0,250	9,7	0,950	6,8	1,650	4,9
0,300	9,3	1,000	6,6	1,700	4,8
0,350	9,0	1,050	6,5	1,750	4,6
0,400	8,7	1,100	6,4	1,800	4,5
0,450	8,3	1,150	6,2	1,850	4,4
0,500	8,0	1,200	6,1	1,900	4,2
0,550	7,9	1,250	6,0	1,950	4,1
0,600	7,7	1,300	5,8	2,000	4,0

4º) La relación:

$$\frac{conductividad\ \ eléctrica\ (dS/m)}{\sum[aniones]\acute{o}\ \sum[cationes]\ \ (meq/l)} = 0{,}1\ (aproximadamente)$$

Esta relación puede hacerse más baja (hasta **0,08**) con aguas en que predominen los sulfatos y/o bicarbonatos, y mayor de **0,1** cuando predominen los cloruros.

1.3.- Cálculo de las sales que hipotéticamente contiene un agua de riego

El método para el cálculo, de una manera aproximada, de las sales que hipotéticamente contiene un agua de riego (Sancho Civera, 2000) es el siguiente:

1º) Los valores de los aniones y cationes obtenidos en el análisis, que vienen expresados en **mg/ l** , se convierten en **meq / l** utilizando los factores de conversión que se indican en la **tabla 8.2**.

Tabla 8.2: Equivalencias entre meq/l y mg/l para los diferentes iones presentes en las aguas de riego.

Iones	mg contenidos en 1 meq	meq contenidos en 1 mg
Calcio (Ca^{2+})	20	0,05
Magnesio (Mg^{2+})	12,2	0,082
Sodio (Na^{+})	23	0,043
Potasio (K^{+})	39,1	0,026
Cloruro (Cl^{-})	35,5	0,028
Sulfato ($SO4^{-}$)	48	0,021
Bicarbonato ($CO3H^{-}$)	61	0,016
Carbonato ($CO3^{-}$)	30	0,033

2º) Se calculan las correspondientes sales hipotéticas, según el orden siguiente:

a) Los $CO_3^{=}$ meq a meq se pasan a → $CO_3\,Na_2$ → $CO_3\,K_2$
b) Los Cl^{-} → $Cl\,Na$ → $Cl\,K$ → Cl_2Mg
c) Los $SO_4^{=}$ → $SO_4\,Na_2$ → SO_4Ca → $SO_4\,Mg$
d) Los CO_3H^{-} → $(CO_3H)_2Ca$ → $(CO_3H)_2Mg$ → CO_3HNa

3º) Las sales hipotéticas, calculadas como meq/l, se pasan a mg/l utilizando los factores de conversión que se muestran en la **tabla 8.3**.

Tabla 8.3: Equivalencias entre meq/l y mg/l para los diferentes sales presentes en las aguas de riego.

Sales hipotéticas	Buscado	Encontrado	Factor de conversión
$CO_3\,Na_2$	mg / l	meq / l	53,00
$(CO_3H)_2Ca$	mg / l	meq / l	81,06
$(CO_3H)_2Mg$	mg / l	meq / l	73,18
CO_3HNa	mg / l	meq / l	84,02
CO_3HK	mg / l	meq / l	100,11
SO_4Ca	mg / l	meq / l	68,07
$SO_4\,Mg$	mg / l	meq / l	60,19
$SO_4\,Na_2$	mg / l	meq / l	71,02
$SO_4\,K_2$	mg / l	meq / l	87,06
Cl_2Ca	mg / l	meq / l	55,50
Cl_2Mg	mg / l	meq / l	47,62
$Cl\,Na$	mg / l	meq / l	58,50
$Cl\,K$	mg / l	meq / l	74,55
NO_3Na	mg / l	meq / l	85,01
NO_3K	mg / l	meq / l	101,11

1.4.- Clasificación de las aguas para el riego

El United States Salinity Laboratory Staff (USA) para evaluar la calidad de las aguas para riego utiliza los siguientes parámetros:

1) Salinidad
2) Sodicidad
3) Toxicidad por boro
4) Concentración de CO_3Na_2

La clasificación de las aguas según las **normas FAO**, se realiza en base al grado de restricción de su uso, utilizando tres criterios:

1.4.1.- Salinidad

Representa la cantidad total de sales inorgánicas disueltas en el agua. Como anteriormente se ha dicho, los iones más frecuentes son Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+, HCO_3^-, SO_4^{-2} y Cl^- debiéndose siempre expresar la cantidad de cada uno de ellos en disolución en el agua en **meq/l** (= **cmol$^+$/ l** en la nomenclatura actual) , siendo optativo que **además** se den los resultados en **mg/l**.

Si queremos que convertir **meq/l** en **mg/l** (**tabla 8.2**), debemos multiplicar por el **peso equivalente.** Por ejemplo si queremos convertir 2,76 **meq / l** de **magnesio** en **mg / l** y sabemos que el peso equivalente del magnesio es **12,15:**

$$[Mg^{2+}] = 2,76 \text{ meq / l de magnesio} = 2,76 \times 12,15 = 33,5 \text{ mg / l de magnesio}$$

La salinidad puede expresarse también como **conductividad eléctrica** (CE) y puede medirse con un conductivímetro, refiriendo siempre los resultados obtenidos a una temperatura de 25 ºC. El valor de conductividad se expresa como **deciSiemen por metro** (dS/m), existiendo, con respecto a la antigua nomenclatura, la siguiente equivalencia:

dS/m = mmho/cm

Una vez que se ha determinado la conductividad eléctrica del agua, el contenido total de sales disueltas se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

g/l de sal = 0,64 x CE (dS/m)

aunque en aguas con cierto grado de salinidad el coeficiente por el que hay que multiplicar la CE para estimar las sales disueltas puede llegar a ser algo mayor.

El boro, el N (NH_4^+) y el N (NO_3^-), los microelementos y demás elementos metálicos es frecuente que se expresen en mg/l.

La **tabla 8.4** muestra entre qué valores deben encontrarse, en condiciones normales, los resultados de los análisis de agua realizados.

Tabla 8.4: Valores considerados como normales en los análisis de aguas de riego

Concepto	Valor	Unidad	Valor	Unidad
CE	0 - 3	dS/m		
Sales disueltas	0 - 2.000	mg / l		
Calcio	0 - 20	meq / l	0-400	mg / l
Magnesio	0- 5	meq / l	0-60	mg / l
Sodio	0- 40	meq / l	0-920	mg / l
Potasio	0 - 0,05	meq / l	0-20	mg / l
Cloruros	0 - 30	meq / l	0-1065	mg / l
Sulfatos	0 - 20	meq / l	0-960	mg / l
Bicarbonatos	0 - 10	meq / l	0-610	mg / l
Carbonatos	0 - 0,1	meq / l	0-3	mg / l
N (NO_3^-)	0 - 10	mg/l		
N (NH_4^+)	0 - 5	mg/l		
P (PO_4^{3-})	0 - 2	mg/l		
Boro	0 - 2	mg/l		
pH	6 - 8,5			
RAS	0 - 15			

(Fuente: La calidad del agua para la Agricultura. FAO; Sancho Civera, 2000)

Tabla 8.5: Clasificación del agua para riego según la cantidad de sales disueltas

	Calidad		
Sales disueltas	Buena	Media	Baja
gramos / litro	menos de 0,77	0,77 – 2,24	más de 2,24

Para hacernos una idea del orden de magnitud de la CE del agua, a continuación damos los siguientes valores:

Tipo de agua	CE (dS/m)
Agua de lluvia	0,15
Agua media de los ríos	0,40
Agua del mar	63
Agua de riego de salinidad media	0,75 – 2,25

Tabla 8.6: Clasificación del agua para riego según su conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica (dS/m)	Calidad del agua	Peligro de salinidad
0 a 1	Excelente a buena	Bajo a medio
1 a 3	Buena a marginal	Alto
Mayor de 3	Marginal a inaceptable (1)	Muy alto

(1) Para determinados cultivos

1.4.2.- Sodicidad

Los cationes **calcio** y **magnesio**, y especialmente el primero, sirven de unión entre las láminas de arcilla del suelo, favoreciendo el mantenimiento de su estructura. Con la pérdida de Ca^{2+} y Mg^{2+} se produce una degradación de dicha estructura, dispersándose los agregados, lo que ocasiona la disminución de espacios porosos. Ello produce en el suelo los efectos siguientes:

- disminución de la **velocidad de infiltración**
- deterioro de la **estructura del suelo** (mala aireación).
- el **efecto de las sales sobre el desarrollo de los cultivos** es fundamentalmente de naturaleza **osmótica,** reduciéndose la disponibilidad de agua a las plantas a medida que aumenta la CE, hasta el punto de afectar a la producción del cultivo. En el intervalo de CE que permite el desarrollo vegetal se cumple la relación:

Potencial osmótico (atm) = 0,36 x CE (dS/m)

La calidad de las aguas de riego puede contribuir a la pérdida de Ca^{2+} y Mg^{2+}:

- Si el **contenido en sales del agua es bajo** (CE menor de 0,5 dS/m), se producirá un lavado de **Ca^{2+}** y **Mg^{2+}**, que serán arrastrados en profundidad por las aguas de riego.
- Si es alto el contenido en **Na^{+}** con relación al de **Ca^{2+}** y **Mg^{2+}**, se producirá una sustitución de éstos por sodio en el complejo de cambio.

Se considera que cuando el sodio de cambio del suelo alcanza el 10 % de la capacidad de intercambio catiónico, el deterioro de las propiedades físicas del suelo puede ser ya importante, tanto más cuanto más elevado sea su contenido en arcilla.

Cuando la **velocidad de infiltración** del agua de riego en el suelo se reduce apreciablemente, el agua permanece sobre el terreno por un tiempo demasiado largo, o se infiltra muy lentamente, por lo que el cultivo no recibe el agua necesaria para producir cosechas aceptables, lo que debe tenerse muy en cuenta en riegos con cobertura total, teniendo este hecho una menor relevancia en **riegos localizados de alta frecuencia,** en los que la superficie de suelo mojada por el sistema es mucho menor.

Diferentes términos son empleados para cuantificar la relación existente entre el contenido de Na^+ frente a Ca^{2+} y Mg^{2+} en un agua de riego. El grado en el que **Na** afecta a **la estabilidad de la estructura del suelo** está correlacionado con un elevado valor de la **relación de absorción de sodio** del agua de riego (**RAS**) y con el **porcentaje de sodio de cambio** del suelo (**PSC**) y están ligados a un **aumento de la absorción de sodio por la planta**. El sodio puede alterar el balance nutritivo de la planta causando deficiencia relativa de calcio, potasio o magnesio.

Para evaluar el efecto de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se emplea la **Relación de Adsorción de Sodio (RAS):**

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

en la que Na^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} vienen expresadas en meq / l. La **figura 8.1** y la **tabla 8.7** muestran la clasificación de las aguas de riego en función del valor de RAS obtenido, aportando unas recomendaciones para la utilización agrícola del agua.

Tabla 8.7: Clasificación de las aguas de riego según la RAS y recomendaciones generales para su empleo.

RAS	CLASE DE AGUA	RECOMENDACIONES
0 a10	Baja alcalinidad	Se puede utilizar en todos o casi todos los suelos
10 a 18	Alcalinidad media	Puede dar problemas en suelos arcillosos
18 a 26	Alcalinidad alta	Se puede utilizar en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica y yeso
26 a 30	Alcalinidad muy alta	No se pueden utilizar, salvo que los suelos tengan una salinidad baja y se realice el enyesado

Cuanto mayor sea el valor de **RAS**, mayor será la cantidad de Na^+ con respecto a la de Ca^{2+} y Mg^{2+} y mayores serán los problemas de degradación del suelo y de infiltración del agua.

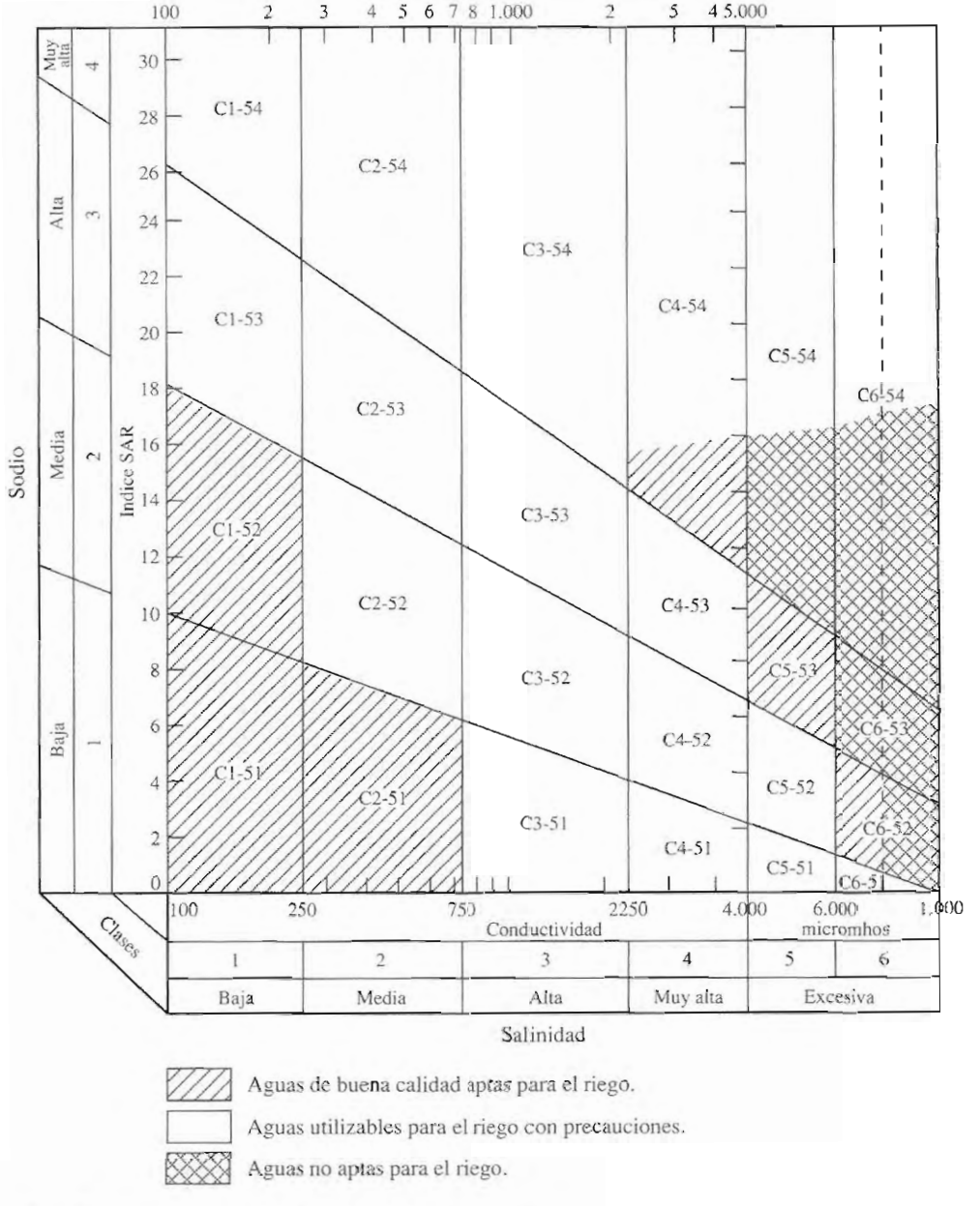


Figura 8.1: Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.

En función de la CE del agua, estas se pueden clasificar del modo siguiente (**figura 8.1**):

C1 – Agua con poca salinidad (CE = 0,1 – 0,2 dS/m). Puede utilizarse para el riego de la gran mayoría de los cultivos y en la mayoría de los suelos.

C2 – Agua de salinidad moderada (CE = 0,25 – 0,75 dS/m). Puede utilizarse para el riego de todas las plantas, excepto las sensibles a las sales, siempre que la permeabilidad del suelo sea de alta a media.

C3 – Agua de salinidad media a elevada (CE = 0,75 – 2,25 dS/m). Debe utilizarse en suelos de permeabilidad moderada a buena y serán necesarios lavados frecuentes para evitar la acumulación de sales. Igualmente deberán seleccionarse cultivos con una tolerancia a salinidad de moderada a buena.

C4 – Agua de salinidad elevada (CE = 2,25 – 4,00 dS/m). Puede utilizarse solamente en suelos de buena permeabilidad y se deben dar lavados especiales para evitar el exceso de sales. Solamente se cultivarán plantas tolerantes a la salinidad.

C5 - Agua de salinidad muy elevada (CE = 4,00 – 6,00 dS/m). Generalmente es inadecuada para riego y debe utilizarse exclusivamente en suelos muy permeables, con lavados muy frecuentes y en cultivos muy tolerantes a salinidad.

C6 - Agua de salinidad excesiva (CE > 6,00 dS/m). Agua que no debería ser utilizada para riego, sea cual sea el tipo de suelo y cultivo establecido.

Estas normas están pensadas para riegos de superficie, por lo que cuando se riega con un sistema de **riego localizado de alta frecuencia** y se trabaja en regiones con **pluviometría media superiores a 450 mm** con lluvias concentradas en el periodo otoño - invierno, las normas no pueden ser tan estrictas como se ha indicado anteriormente, en especial cuando se maneja adecuadamente la fracción de lavado y cuando se trabaja con cultivos moderadamente tolerantes a salinidad como el olivo.

La influencia que sobre la **permeabilidad del suelo** tiene un agua de riego no depende solo de la relación entre **Na^+** , **Ca^{2+}** y **Mg^{2+}**, sino que está relacionada también con la presencia en el agua de iones **bicarbonato** y **carbonato**, cuya actividad da lugar a la **precipitación** de **Ca^{2+}** y **Mg^{2+}**, y en consecuencia a la disminución de la concentración de éstos iones, en beneficio de la acción degradante del Na^+. Para evaluar la magnitud de este efecto los expertos (Suárez, 1981, citado por Troncoso *y col.*, 2001) opinan que puede ser más conveniente utilizar el **RAS ajustado:**

$$RAS\ aj = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^* + Mg}{2}}}$$

expresión en la que las concentraciones vienen expresadas en meq/l, y la concentración de calcio **Ca*** está corregida en función de la salinidad del agua de riego (CE) y de la concentración en bicarbonatos presente en dicha agua. En la **tabla 8.8** se muestran los valores de **Ca*** en función de la CE del agua de riego y de la relación entre el contenido de HCO_3^- y Ca^{2+}.

Para interpretar dicho valor se debe tener en cuenta que el riesgo de pérdida de estructura del suelo no solo está relacionado con el valor de **RASaj** sino también con la **CE** del agua de riego (**figura 8.2**).

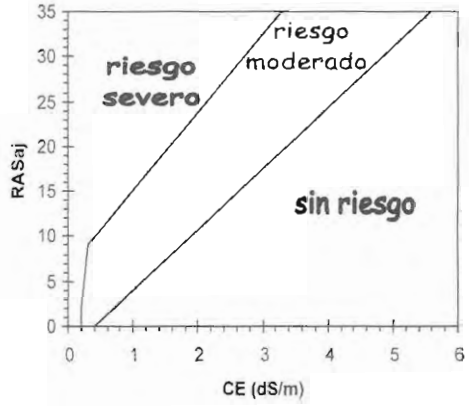


Figura 8.2: Riesgo de sodicidad del agua de riego en función de la relación de adsorción de sodio ajustada (RASaj) y de la conductividad eléctrica (Troncoso *y col.*, 2001).

Ejemplo: Nos dan un agua cuyas características son las siguientes:

CE = 3,90 dS/m
Ca^{2+} = 2,18 meq/l
Mg^{2+} = 2,01 meq/l
Na^{+} = 34,46 meq/l
K^{+} = 0,37 meq/l
HCO_3^{-} = 6,26 meq/l
$SO_4^{=}$ = 10,95 meq/l
Cl^{-} = 21,69 meq/l
RAS = 23,80

Para evaluar el riesgo de sodicidad de este agua de riego comenzaremos por calcular el RAS_{aj}. Para ello en primer lugar calcularemos el valor de Ca* utilizando la **tabla 8.8** a partir de los valores de:

CE = 3,90 dS/m
HCO_3^{-} / Ca^{2+} = 6,26 / 2,18 = 2,87
Ca* = 1,16 (por interpolación en la **tabla 8.8**)

$$RAS\,aj = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{*} + Mg}{2}}} = \frac{34,46}{\sqrt{\frac{1,16 + 2,01}{2}}} = 27,37$$

Tabla 8.8: Determinación de la concentración de Ca corregida (Ca*) en función de la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego y de la relación CO3H / Ca (Troncoso y col., 2001).

	CE (dS/m)											
CO_3H^- / Ca^{2+}	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

De acuerdo con la **figura 8.2** y en función de los valores de RAS_a calculado y el de la CE del agua de riego, vemos que el riesgo de alteración de las propiedades físicas del suelo (infiltración) que entraña el empleo del agua para riego puede calificarse como **"riesgo moderado"**.

1.4.3.- Toxicidad iónica específica

La presencia de iones en los tejidos de las plantas a concentraciones superiores a las toleradas origina lesiones características en ellos, dependiendo de la naturaleza y concentración de los iones. Generalmente se suelen presentar síntomas específicos más severos en los cultivos leñosos que en los herbáceos. Cada especie presenta distintos niveles de sensibilidad a diferentes iones. De entre los iones que se encuentran más frecuentemente en el agua de riego, son el **cloruro** (Cl^-), el **sodio** (Na^+) y el **boro** (B) los que pueden presentar mayores problemas de toxicidad para los cultivos.

Las sales perjudiciales para los cultivos, clasificadas de mayor a menor, son (Sancho Civera, 2000):

$$CO_3Na_2 > Cl_2Mg > ClNa > SO_4Mg > SO_4Na_2$$

Las sales no perjudiciales son:

$$(CO_3H)_2Ca \ , \ (CO_3H)_2Mg \ , \ CO_3Ca \ , \ CO_3Mg \ , \ SO_4Ca$$

El Cl^- , por ser un anión, no es retenido por el complejo de cambio del suelo por lo que puede ser absorbido fácilmente por las raíces. A la toxicidad debida al ión cloruro se ha atribuido la deshidratación inducida por la acumulación del Cl^- en las regiones terminales del xilema y posiblemente en los fluidos intercelulares, condiciones en las que las células no son capaces de desarrollarse y mantener presiones osmóticas lo suficientemente elevadas como para establecer un gradiente osmótico satisfactorio, con lo que la turgencia disminuye y puede llegarse al marchitamiento permanente e irreversible. El olivo parece mostrar cierta tolerancia, probablemente debido a la existencia de mecanismos de exclusión de Cl^- , lo que le hace menos sensible a este anión que otros cultivos, existiendo diferentes susceptibilidades entre variedades.

Tabla 8.9: Riesgos de toxicidad por la presencia de Na, Cl y B en el agua de riego (Troncoso *y col.*, 2001).

		Restricción de uso		
	Unidades	Ninguna	Ligera a moderada	Severa
Sodio	RAS	< 3	3 – 9	> 9
Cloruros	meq/l	< 4	4 – 10	> 10
Boro	mg/l	< 0,7	0,7 - 3	> 3

Los problemas ocasionados por la presencia de **Na^+** en el complejo agua/suelo parece que son debidos, más que a la toxicidad del elemento en sí, a las deficiencias en concentraciones de **Ca^{2+}** y a otras interacciones, que pueden llegar a aparecer si las concentraciones de **Na^+** son elevadas. Por esta razón, se utiliza también el **RAS** como criterio para definir el posible riesgo de toxicidad por **Na^+** (**tabla 8.9**).

El **B**, aunque esencial para la planta, puede resultar tóxico en cantidades relativamente pequeñas, por lo que hay que vigilar su concentración en las aguas de riego. Cuando la solución del suelo tiene de **0,05 a 0,1 ppm** de **B**, normalmente es suficiente como para cubrir las necesidades de las plantas. El agua de riego contiene de ordinario menos de 0,1 ppm, pero esta concentración puede variar ampliamente.

En la **tabla 8.10** se muestran las concentraciones de estos iones en el agua de riego a partir de las cuales pueden presentarse problemas de salinidad y de toxicidad específica para el olivo, o pérdidas de permeabilidad en el suelo.

Tabla 8.10: Calidad del agua de riego y su utilización en riego de plantaciones de olivar

Problemática para el riego	Grado de magnitud del problema		
	Ninguno	Creciente	Grande
Salinidad (efectos sobre la disponibilidad de agua por el cultivo)			
CEagua (dS/m)	menor de 2	2,5 - 4	mayor de 5,5
Permeabilidad del suelo (efectos sobre la infiltración de agua en el suelo)		CEagua (dS/m)	
Si RAS = 0 - 3	mayor de 0,7		menor de 0, 2
Si RAS = 3 - 6	mayor de 1,2		mayor de 0,3
Toxicidad específica por boro (B)			
B (ppm = mg/l)	1 - 2		

(Fuente: Freeman *y col.* Olive Production Manual. Universidad de California. 1.994)

1.4.4.- Carbonato sódico residual

Se define como:

$$C.S.R. = ([CO_3^{=}] + [CO_3H^{-}]) - ([Ca^{++}] + [Mg^{++}])$$

todas las concentraciones deben expresarse en meq/l. Se establecen las categorías que establece la **tabla 8.11**

Tabla 8.11: Clasificación de las aguas de riego según el carbonato sódico residual.

C.S.R.	Observaciones
Menor 1,25	Agua probablemente apta para riego
1,5 – 2,5	Agua dudosa
Mayor 2,5	Agua no apta para el riego

1.4.5.- Oligoelementos

Las concentraciones máximas de oligoelementos en el agua de riego recomendadas por FAO son las que se muestran en la **tabla 8.12**.

Tabla 8.12: Concentraciones máximas recomendadas de oligoelementos en el agua de riego (FAO).

Elemento	Concentración mg/l	Elemento	Concentración mg/l
Aluminio	5	Litio	2,5
Arsénico	0,1	Manganeso	0,2
Berilio	0,1	Molibdeno	0,01
Cadmio	0,01	Níquel	0,2
Cobalto	0,005	Plomo	5
Cromo	0,1	Selenio	0,02
Cobre	0,2	Vanadio	0,1
Flúor	1	Cinc	2
Hierro	5		

2.- EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL OLIVO.

Las concentraciones elevadas de **sodio** en el agua de riego, en la disolución del suelo y en el complejo de cambio tienen un efecto tóxico directo sobre el desarrollo de las plantas cultivadas.

Para definir la tolerancia a la salinidad de un cultivo suele usarse el valor de **CE del extracto saturado del suelo**, valor por encima del cual comienza a observarse caída del rendimiento (lo que se conoce como **umbral de tolerancia**). Aunque al **olivo** se le clasifica como **una especie medianamente tolerante a la salinidad** (Bartolini *y col.*, 1991), se conoce poco sobre el comportamiento del cultivo en distintas condiciones de salinidad, así como la diferencia de respuesta entre variedades. Recientes estudios realizados empleando olivos jóvenes cultivados en pequeños contenedores de plástico han demostrado una respuesta diferencial, en cuanto al crecimiento, de las distintas variedades frente a la aplicación de aguas salinas (Benlloch *y col.*, 1994; Tattini *y col.*, 1992). La **tabla 8.13** muestra la tolerancia a salinidad de algunas de las variedades más cultivadas em España. Grecia e Italia.

Tabla 8.13: Tolerancia de diferentes variedades de olivo al riego con aguas salinas (Benlloch *y col.*, 1994).

Moderadamente sensibles	Moderadamente tolerantes	Tolerantes
'Pajarero'	'Gordal'	'Arbequina'
'Leccino'	'Manzanilla'	'Picual'
	'Hojiblanca'	'Lechín de Sevilla'
	'Frantoio'	
	'Koroneiki'	

Sin embargo, la tolerancia de los árboles adultos cuando se les cultiva en condiciones de campo puede ser distinta a la obtenida con plantas jóvenes creciendo en contenedores, especialmente si el manejo del agua y del suelo son los correctos.

En olivo se produce un descenso en la concentración de **sodio** y **cloro** desde la raíz hasta la parte aérea. Se produce un aumento de la relación K^+/Na^+ en hojas disminuyendo hacia la raíz. Sin embargo, el **cloro** y el **sodio** se traslocan en ciertas cantidades hacia las hojas y allí se acumulan principalmente en las vacuolas de las hojas maduras, y cuando la concentración es muy alta se produce su caída, tratándose este de un último mecanismo para reducir la cantidad de iones tóxicos dentro de la planta.



Fotografía 8.1: Hojas de olivos regados con aguas que tienen un alto contenido en cloruro sódico. Muestran necrosis en algunas zonas de la hoja. La distribución de esta sintomatología no se presentaba de forma regular en la copa de los árboles ni en todos los olivos de la plantación.

Los síntomas de fitotoxicidad específica por sales suelen tardar en aparecer, pero hasta llegar a ese estado existen otros **síntomas** que pueden ser característicos de condiciones salinas como:

- reducción del crecimiento (hojas pequeñas y entrenudos cortos),
- puntas de las hojas quemadas,
- clorosis en hojas,
- arrugado de hoja,
- caída de flores,
- necrosis de raíz,
- brotes secos,
- defoliación.

Los síntomas aparecen primero en hojas maduras y posteriormente en hojas jóvenes. Estos síntomas ocurren tanto en variedades sensibles como en tolerantes, pero en la sensibles se manifiestan más rápidamente. La caída de las hojas sólo ocurre cuando se produce un alta acumulación de iones tóxicos en la hoja, reduciéndose el área fotosintética.

Diversos autores atribuyen al **estrés salino** una serie de reacciones en los árboles, entre las que podemos citar:

- reducción de la producción de aceituna;
- un descenso del intercambio gaseoso, afectando a la asimilación de CO_2 que se reduce en variedades sensibles, mientras que parece mantenerse en niveles adecuados en variedades tolerantes;

- un cierre parcial del estoma que se hace menos reactivo a los cambios de presión de vapor; el restablecimiento de la conductancia estomática es más lenta en las variedades sensibles que en las tolerantes;
- la disminución del crecimiento de los brotes y el acortamiento de los entrenudos, la reducción del tamaño de las hojas y frutos;
- reducción del tamaño de los olivos;
- la alteración en la composición de los tejidos de la planta y de los ácidos grasos presentes en el aceite;
- cambio en la composición del fruto, con disminución del contenido en agua del fruto y aumento de la materia seca y del rendimiento graso de las aceitunas;
- mejora del comportamiento de las aceitunas en la industria almazarera.

Uno de los factores que debemos considerar críticos para determinar la respuesta productiva del olivo bajo condiciones de riego salino es la **densidad de plantación**. Al reducirse el crecimiento cuando se riega con aguas salinas, parece que en este caso **podría recomendarse el empleo de mayor densidad de plantación** que en condiciones de riego con agua de buena calidad (Vega *y col.*, 2001).

En comparación con otras especies arbóreas, el olivo es más tolerante que los cítricos pero menos que la palmera (**tabla 8.14**). Bernstein (citado por Vega *y col.*, 2001) afirma que la productividad del olivo se ve reducida en un 10% cuando la CE del extracto saturado del suelo se sitúa entre 4-6 dS/m, y que este valor puede llegar a 6-8 dS/m cuando el suelo contiene elevados niveles de calcio, siendo éstos valores mayores que los presentados en la **tabla 8.10**.

Tabla 8.14: Descensos de producción esperados debido a la salinidad del agua de riego (dS/m) (Mass y Hoffman, 1977).

CULTIVO	DESCENSO DE PRODUCCIÓN ESPERADO								
	0 %		10 %		25 %		50 %		100 %
	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes
OLIVO	2.7	1.8	3.8	2.6	5.5	3.7	8.4	5.6	14.0
CITRICOS	1.7	1.1	2.3	1.6	3.2	2.2	4.8	3.2	8.0
PALMERA DATILERA	4.0	2.7	6.8	4.5	10.9	7.3	17.9	12.0	32.0

CEes = CE del extracto saturado del suelo; CEag = CE del agua de riego

Tous (1990) cita que concentraciones de 2 g/l de NaCl son normalmente toleradas por el olivo y que algunas variedades toleran hasta 4 g/l. Otros autores afirman que el límite de tolerancia del olivo cuando se riega con aguas que contienen sólo cloruro sódico (NaCl) está en 8 g/l (12 dS/m aproximadamente). Sin embargo, podría tolerar aguas con una CE mayor si el NaCl sólo representan una pequeña proporción sobre las sales totales.

Considerando la tolerancia definida de acuerdo con los criterios de Mass y Hoffman (1977), el umbral de tolerancia podría situarse alrededor de 4 dS/m para las variedades sensibles a salinidad y podría llegar a 6 dS/m en variedades más tolerantes, mientras que la disminución relativa del rendimiento podría estar en torno al 7,7 – 5,5 % respectivamente por cada unidad (dS/m) de aumento de la CE del extracto saturado.

3.- EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

Como ya se ha dicho, los cultivos y las distintas variedades de un mismo cultivo, presentan diferente tolerancia a la salinidad. Hay multitud de datos que muestran la respuesta de distintos cultivos a la salinidad, basados en estudios realizados en unas determinadas condiciones estándar. En ellos se observa que el rendimiento de los distintos cultivos no se ve reducido hasta que la salinidad rebasa un valor **umbral** (**figura 8.3**), a partir del cual el rendimiento empieza a disminuir de forma lineal (Mass y Hoffman, 1977). Matemáticamente lo anterior se expresa por la siguiente ecuación lineal simple:

$$Yr = 100 - [p \times (CE_{es} - CE_u)]$$

Siendo:

Yr = Rendimiento o producción relativa expresada en porcentaje de la producción obtenida regando con un agua de buena calidad.

p = % de disminución del rendimiento por unidad de aumento de la CE del extracto saturado del suelo.

CE_{es} = Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo expresado en dS/m.

CE_u = Valor umbral de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo a partir del cual se produciría una disminución del rendimiento.

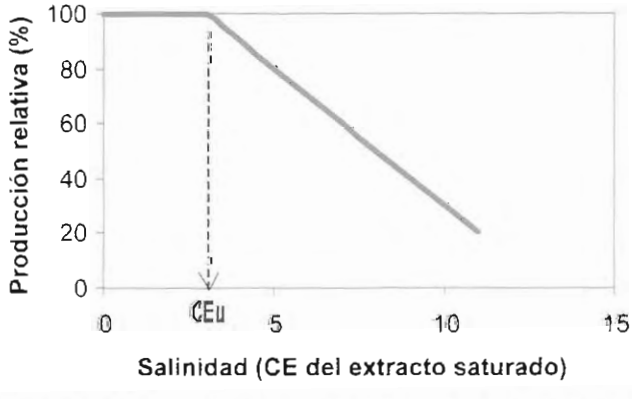


Figura 8.3: Modelo de variación de la producción con la salinidad en los cultivos (Maas y Hoffman, 1977)

El valor de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo que hace el rendimiento del cultivo igual a 0 nos sirve para evaluar **la máxima tolerancia** del mismo a la salinidad, así como para calcular las necesidades de lavado del suelo.

Hay una respuesta diferencial del cultivo a la salinidad en función de:

- las condiciones climáticas y edáficas,
- manejo agronómico y del riego,
- variedad
- sensibilidad del cultivo en cada uno de sus estados vegetativos o reproductivos.

La reducción del crecimiento y el rendimiento son atribuibles básicamente a alguna (o varias simultáneamente) de las causas siguientes:

- una disminución del potencial osmótico de la solución del suelo, que se traduce en una reducción de las disponibilidades de agua para el cultivo,
- a una elevada concentración de algunos iones en los tejidos de la planta (Na y Cl principalmente)
- a una deficiencia nutricional causada por iones antagonistas (Cl^- con los NO_3^- por ejemplo).

La presencia de sales eleva el componente osmótico del potencial de agua del suelo, lo que se traduce finalmente en un gasto extra de energía para la extracción de una determinada cantidad de agua, o lo que es lo mismo, en un efecto negativo sobre la disponibilidad de agua para la planta.

Teniendo en cuenta lo anterior, la adición de ciertos fertilizantes al agua de riego aumenta la salinidad del agua, modificando su CE. La mayor o menor concentración de sales en la solución del suelo afecta al esfuerzo de succión (efecto osmótico) que la planta tiene que ejercer para absorber agua. Se pueden utilizar concentraciones altas de abono cuando el agua es de buena calidad, pero si esta es de mala calidad resulta imprescindible utilizar concentraciones bajas, lo que requiere aportaciones muy frecuentes, siendo deseable que no llegara a superarse una CE de 3 dS/m y que los abonos no aumenten la CE del agua más de 1 dS/m, por lo que puede ser interesante realizar siempre riegos con fertilizante, lo que evitará emplear altas concentraciones.

El cálculo de la cantidad máxima de abono a incorporar con el agua de riego puede realizarse empleando la fórmula siguiente:

$$\mathbf{CMA = Q \times (Cm - Car)}$$

en la que: **CMA** = cantidad máxima de abono a incorporar al agua en un riego (kg); **Q** = cantidad de agua aplicada en un riego (m^3); **Cm** = cantidad máxima de sales que tolera el culti-

vo o umbral máximo de salinidad (g/l); Car = cantidad de sales que contiene el agua de riego (g/l). Para olivar podríamos recomendar un Cm = 3 g/l correspondiente a una CE = 4,7 dS/m.

4.- RESULTADOS DE UN EXPERIMENTO EN CAMPO EN OLIVAR

El efecto que la salinidad tiene sobre olivos en crecimiento en condiciones de campo está siendo estudiado en la actualidad. Se trata de un olivar joven plantado en primavera de 1.997 en La Cañada de San Urbano (Almería) localidad con una muy baja pluviometría, ideal para este tipo de experimentos. Se emplearon plantas de un año de edad de la variedad 'Arbequina'. Durante el primer año los olivos de los distintos tratamiento salinos se regaron con agua de buena calidad y de la misma conductividad, estableciéndose al año siguiente, 1.998, los tratamientos diferenciales con riegos con aguas con diferente salinidad (1,8 – 3,6 – 5,4 – 7,2 – 9,0 –12,0 dS/m). Estos se aplicaron con ayuda de un ordenador dosificador del riego (figura8,2) y de la CE del agua de riego y la fertirrigación, preparándose las soluciones salinas a base de cloruro sódico, pero corrigiendo con cloruro cálcico el valor de la RAS del agua de riego hasta valores comprendidos entre 8 y 10, de modo que el suelo no sufriese un deterioro físico que enmascarase los resultados. Se aplicó una **fracción de lavado** del 50 %.



Fotografía 8.2: Máquina de regar comandada por ordenador que controla la aplicación de aguas con distintas concentraciones salinas en el ensayo de riego localizado para estudiar la respuesta del olivo a la salinidad en condiciones de campo que se lleva a cabo en Cañada de San Urbano en la provincia de Almería.

Las **Figuras 8.4** y 8.5 muestran las **producción de aceituna** y **aceite** en función de la CE del agua de riego aplicada a lo largo de las campañas 1999 a 2002 (valor en este caso muy próximo al del extracto saturado). Teniendo en cuenta la natural alternancia de producción del olivo, se han agrupado las cosechas bianualmente: 1.999-2.000, 2.000-2.001 y 2.001-2.002, con la finalidad de normalizar los resultados.

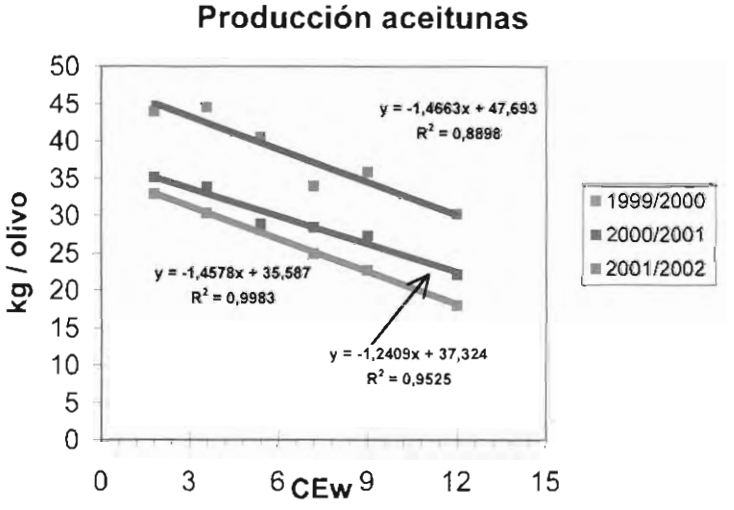


Figura 8.4: Producciones bianuales de aceitunas obtenidas en olivos jóvenes de la variedad 'Arbequina' regados con agua con diferente CEw. Se ha regado aplicando una cantidad suficiente de agua como par cubrir la ETc máxima del cultivo, más una fracción de lavado del 50%.

En la **figura 8.4** se aprecia que para las producciones bianuales mostradas la cuantía de la cosecha disminuye a medida en que aumenta la CE del agua de riego (CEw), siendo mínima par la CE = 12 dS/m, máxima CEw considerada en el ensayo. Si nos referimos a la producción de aceite, que es lo que realmente interesa en olivar de almazara, los datos son similares a los de la producción de aceitunas (**figura 8.5**), con una reducción lineal de la producción a medida que aumenta la CEw. Sin embargo, la reducción de producción de aceite al aumentar la CEw es menor que la reducción de la producción de aceituna, lo que puede entenderse si observamos la **figura 8.6** que muestra los rendimientos grasos de los frutos obtenidos, rendimientos que aumentan significativamente a medida en que aumentamos la CEw.

En la **figura 8.7** mostramos la reducción porcentual de la producción de aceite (100 = producción de aceite de olivos regados con agua con CEw = 1,8 dS/m) a medida en que aumenta la CEw. Los datos sugieren que a medida en que los árboles tienen mayor edad el umbral al que la producción relativa parece decrecer por debajo de la producción obtenida con CEw = 1,8 dS/m es mayor, por lo que parece que los árboles a medida que envejecen adquieren una

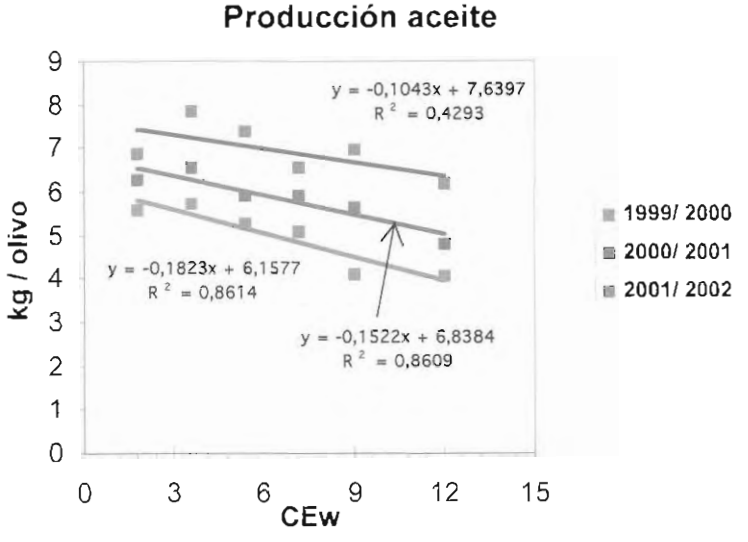


Figura 8.5: Producciones bianuales de aceite obtenidas en olivos jóvenes de la variedad 'Arbequina' regados con agua con diferente CEw. Se ha regado aplicando una cantidad suficiente de agua como par cubrir la ETc máxima del cultivo, más una fracción de lavado del 50%.

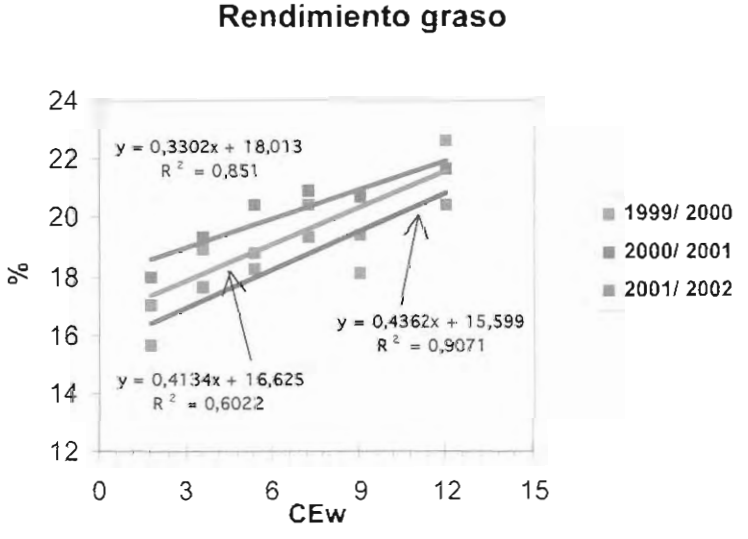


Figura 8.6: Rendimientos grasos del fruto en recolección obtenidos en olivos jóvenes de la variedad 'Arbequina' regados con agua con diferente CEw. Se ha regado aplicando una cantidad suficiente de agua como par cubrir la ETc máxima del cultivo, más una fracción de lavado del 50%.

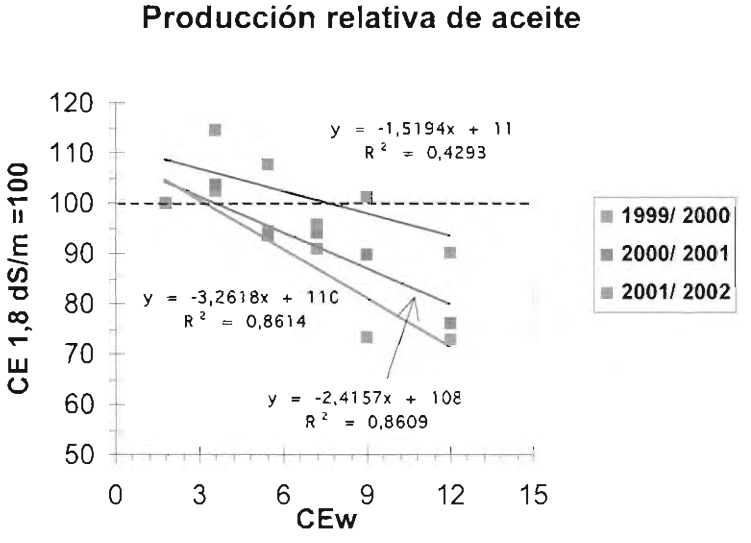


Figura 8.7: Producción relativa de aceite (100 = producción en CE 1,8 dS/m) obtenidas en olivos jóvenes de la variedad 'Arbequina' regados con agua con diferente CE. Se ha regado aplicando una cantidad suficiente de agua como par cubrir la ETc máxima del cultivo, más una fracción de lavado del 50%.

mayor tolerancia a la salinidad. Conviene advertir que estos datos se han obtenido en una situación en la que el riego se ha manejado correctamente, empleando una adecuada fracción de lavado.

Además de los datos mostrados anteriormente debemos añadir la siguiente información proporcionada por el ensayo:

- el aumento de la CEw ha **reducido el crecimiento de los olivos** y con ello el tamaño de los árboles, lo que puede explicar las diferencias de producción observadas (fotografía 8.3).
- **no se han observado síntomas de fitotoxicidad** en los árboles asociadas al riego con agua de diferente CEw.
- el riego con agua salina parece condicionar la **maduración de los frutos**, de modo que los olivos regados con agua con mayor CEw maduran antes que los regados con agua poco salina.
- la **calidad del aceite obtenido** es diferente en función de la salinidad del agua de riego, de modo que parámetros como estabilidad, amargor, y contenido en **polifenoles** aumenta a medida en que lo hace la CE del agua de riego (datos V. Vega, no publicados).



Fotografía 8.3: Panorámicas de parcela de ensayo en la que se estudia la respuesta del olivo a la salinidad en condiciones de campo, que se lleva a cabo en Cañada de San Urbano en la provincia de Almería en plantación de la variedad 'Arbequina'. Arriba olivos de 5 años regados con agua de calidad (en este caso CE = 1,8 dS/m) que muestran un excelente desarrollo. Abajo olivar de la misma plantación regado con agua con una salinidad mucho mayor CE (9,0 dS/m), que sin presentar síntomas visuales de fitotoxicidad debido al alto contenido en sales en el agua de riego, muestran un menor desarrollo vegetativo que el control.

5.- MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN OLIVAR

Cuando se riegue con aguas salinas debemos de evitar una acumulación de sales en el suelo explorado por el sistema radical del olivo, además de mantener un contenido de agua en el suelo relativamente alto. Teniendo en cuenta lo anterior, los criterios para el manejo de las aguas salinas en el riego son los siguientes:

1) hemos de **aplicar una mayor cantidad de agua de la que la planta necesita**, lo que se conoce como **agua de lavado**, necesaria para arrastrar las sales a zonas del suelo que no perjudiquen al olivo,
2) debemos **aumentar la frecuencia de riego** para que el potencial del agua en el suelo no disminuya excesivamente (se alcancen valores negativos más altos).

Si queremos disminuir los efectos de las sales, es necesaria una correcta **programación de los riegos**:

- en cantidad
- en los momentos de aplicación

Cuando se riega con aguas de mala calidad, la **aplicación de riegos deficitarios es una práctica desaconsejada**, debiéndose aplicar en cada momento: **las necesidades del cultivo más un volumen complementario para realizar el lavado de las sales (NL)**.

En este caso la cantidad de agua de riego a aportar puede calcularse empleando la expresión:

$$Rb = \frac{Rn}{1 - NL}$$

siendo:

Rn = necesidades de riego cuando se emplea agua de buena calidad
Rb = necesidades de riego cuando se emplea agua salina
NL = necesidades de lavado de las sales del suelo (= fracción de lavado).

La cantidad de agua necesaria para el lavado de las sales se suele obtener en base a un coeficiente o fracción de lavado (**NL**) que puede se calculado empleando diversos criterios.

Un criterio muy conservador, aplicable a todo tipo de sistemas de riego, puede ser emplear la expresión:

$$NL = \frac{CE\ agua}{2 \times \max CEes}$$

siendo *NL* = fracción de la lavado, es el coeficiente de mayoración de la dosis de riego a aplicar a las necesidades calculadas en base al empleo de aguas de riego de buena calidad.

CE_{agua} = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

$maxCE_{es}$= Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo que hace que el rendimiento del cultivo sea nulo. No existen valores muy fiables de este parámetro en olivar. Mass y Hoffman (**tabla 8.14**) aconsejan para el olivar un valor de 14 dS/m.

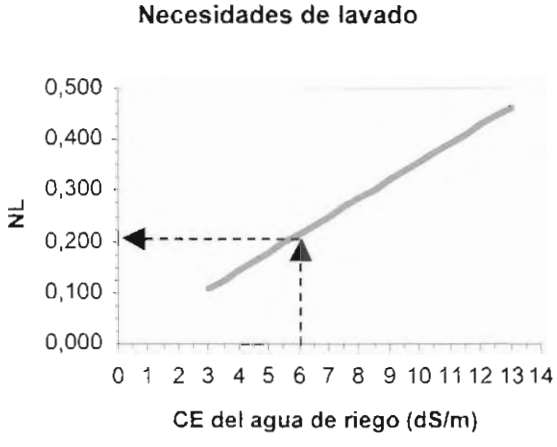


Figura 8.8: Necesidades de lavado (NL) para olivar en función de la CE del agua de riego

Por **ejemplo**, si pretendemos regar un olivar con un agua que tiene una CE_{agua} = 6 dS / m, y la dosis de agua diaria si se emplease agua de buena calidad fuese **de 100 litros** diarios, la dosis de riego a emplear (**Rb**) será:

$$Rn = 100 \text{ l/día}$$

$$NL = \frac{CE\ agua}{2 \times \max CEes} = \frac{6{,}0}{2 \times 14{,}0} = 0{,}21 \qquad \text{(ver figura 8.8)}$$

$$Rb = \frac{Rn}{1 - NL} = \frac{100\ l\ /\ día}{1 - 0{,}21} = 127\ l\ /\ día$$

En el caso de **riegos por goteo de alta frecuencia** (Mateos Iñiguez, 1996) podríamos emplear un criterio menos conservador para estimar la **fracción de lavado** (NL):

$$NL = \frac{0{,}1794}{FC^{3{,}0417}}$$

Expresión en la que FC (factor de concentración) se calcula a partir de:

$$FC = \frac{CEu}{CEagua}$$

siendo CE_u = conductividad eléctrica umbral a partir de la cual se empieza a perder producción, que en olivo se recomienda emplear el valor 4 dS/m para variedades sensibles a salinidad y 6 dS/m para variedades tolerantes; y CE_{agua} = conductividad eléctrica del agua de riego.

Esta metodología de cálculo presenta la dificultad de discernir el límite entre variedad sensible y variedad tolerante a la salinidad. Pensamos que a efectos de cálculo y con todas las reservas, podríamos considerar las variedades 'Picual', 'Arbequina' y 'Hojiblanca' como tolerantes (**tabla 8.13**).

Aplicando los valores del ejemplo anterior y considerando que regamos por goteo árboles de la variedad 'Picual' considerada como muy tolerante a salinidad, la fracción de lavado sería en este caso:

CE_u = 6 dS / m
CE_{agua} = 6 dS / m

$$FC = \frac{CEu}{CEagua} = \frac{6}{6} = 1{,}0$$

$$NL = \frac{0{,}1794}{FC^{3{,}0417}} = \frac{0{,}1794}{1{,}0^{3{,}0417}} = 0{,}18$$

Para facilitar estos cálculos presentamos la **figura 8.9** en la que a partir del valor de la CE del agua de riego puede determinarse directamente la fracción de lavado

El lavado está estrechamente relacionado con:

- el desarrollo del cultivo y su rendimiento,
- con el sistema de riego,
- con las propiedades físicas del suelo.

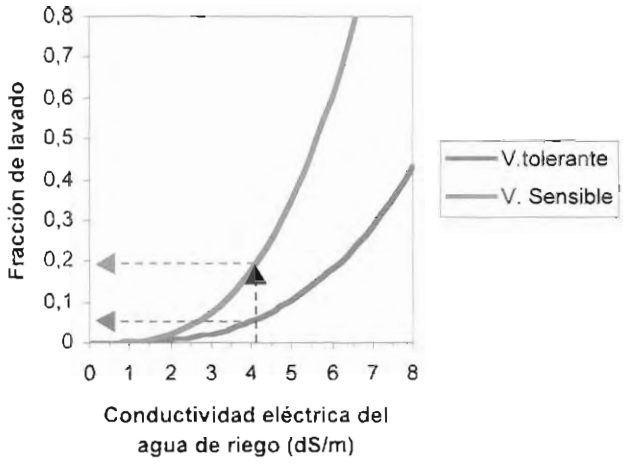


Figura 8.9: Necesidades de lavado a emplear en programación de riegos de olivar con aguas salinas en función de la CE del agua de riego. Si empleásemos un agua con una CE = 4 dS/m, las necesidades de lavado serían NL= 0,05 si regásemos olivos de una variedad tolerante a salinidad, y NL = 0,2 si regásemos una variedad sensible a la salinidad.

Para un **manejo eficiente del lavado** se recomienda:

- la utilización de aguas con una CE menor que la que tiene el suelo, y si es posible más bajas que la del agua de riego (lluvia);
- realizar el lavado en periodos fríos en los que la evapotranspiración es baja (situación habitual en Andalucía donde se dan con frecuencia los inviernos lluviosos);
- no aplicarlo en cada riego, sobre todo cuando hay problemas de drenaje en el suelo ya que puede provocar un estado de saturación permanente en el sistema radicular con lo perjudicial que esto es para el olivo
- evitar en lo posible malas hierbas que pueden dejar canales o poros en el suelo por los que se pueden establecer drenajes preferenciales disminuyendo así la eficacia del lavado;
- la utilización de **mejorantes** del suelo como el yeso o el ácido sulfúrico (en suelos calizos) ya que la liberación de Ca^{2+}, ya que ello aumenta la permeabilidad del suelo favoreciendo el lavado, y desplaza al Na^{+} del complejo de cambio, lo que también mejora el desplazamiento del sodio hacia zonas no exploradas por las raíces del olivo.
- El **sistema de riego** tiene mucha influencia en la producción del cultivo y en la acumulación y distribución de las sales en el perfil del suelo. Así, los **riegos localizados de alta frecuencia,** que mantienen una continua y elevada humedad en el suelo, son muy aconsejables cuando se manejan aguas de mala calidad, aunque se puedan presentar proble-

mas puntuales de obstrucción de emisores (problema a resolver manteniendo un adecuado pH del agua de riego). En estos sistemas, las sales se van concentrando en la periferia de los bulbos húmedos, por lo que en caso de lluvias se hace obligado el continuar regando para que no haya una redistribución de sales en el interior que puedan dañar el cultivo. Cuando se riegue con aguas salinas aplicar la siguiente máxima:

" cuando llueva, riegue "

Referencias bibliográficas

Bartolini, G., Mazuelos, C., Troncoso, A., 1991. Influence of Na2SO4 and NaCl salts on survival, growth and mineral composition of young olive plants in inert sand culture. Advances in Horticultural Science, 5: 73-76.

Benlloch, M., Marín, L., Fernández-Escobar, R., 1994. Salt tolerance of various olive varieties . Acta Horticulturae, 356: 215-217.

Cánovas Cuenca, J., 1990. Calidad agronómica de las aguas de riego. Ed. MAPA – Mundi- Prensa. Madrid.

Freeman, M., Uriu, K., Hartmann, H.T., 1994. Diagnosing and Correcting Nutrient Problems. En: *Olive Production Manual.* L. Ferguson, G.S. Sibbett, G.C. Martin. ED.Division of Agriculture and Natural Resources. University of California. Publ. 3353. 77-86.

Mass, E.V., Hoffman, M.O., 1977. Crop salt tolerance – current assessment. J. Irrig. Drain. Div. Proc. Amer. Soc. Eng., 103: 115-134.

Mateos Iñiguez, L., 1996. Riego del olivar con agua salina. En: *Manejo del olivar con riego por goteo.* Cosejería de Agricultura y Pesca . Junta de Andalucía (Ed). Serie Informaciones Técnicas 41/96, 45-52.

Pizarro, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. (2ª edición).

Sancho Civera, J., 2000. Calidad de las aguas para uso agrícola. Criterios de evaluación. En: *Curso de fertirrigación de cítricos.* Giner, J.F. (ed). Ed. Universitat Politécnica de València – Generalitat Valenciana – Phytoma. Valencia. 53 –92.

Tous, J., 1990. El olivo. Situación y Perspectivas en la provincia de Tarragona. Ed. Exma. Diputació de Tarragona.

Troncoso, A., Cantos, M., Liñán, J., Fernández, J.E., 2001. Fertirrigación. En: *El cultivo del olivo*, 4ª ed., D. Barranco, R., Fernández-Escobar y L. Rallo (Eds.). 724 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

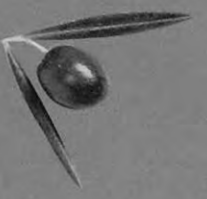
Vega, V., Rojo, J., Fernández, M., Hidalgo, J., Pastor, M., 2001. Calidad del agua de riego. Efecto de la salinidad en olivar. En: Programación de riegos en olivar. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Colección: Agricultura, Serie: Olivicultura y Elaiotecnia. 75-86.



CAPÍTULO 9

LA INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO. MATERIALES DE RIEGO. CALIDAD DE LOS MATERIALES

Nicolás Serrano
Miguel Pastor
Victorino Vega





1.- COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

2.- BALSAS DE REGULACIÓN
- 2.1.- Dimensionamiento de una balsa o embalse de regulación
- 2.2.- Construcción de la balsa de regulación

3.- INSTALACIONES DE PREFILTRADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA
- 3.1.- Decantadores
- 3.2.- Aireadores

4.- GRUPO DE BOMBEO
- 4.1.- Bombas Horizontales
- 4.2.- Bombas Verticales

5.- EL CABEZAL DE RIEGO LOCALIZADO.
- 5.1- Hidrociclones
- 5.2. -Filtros .
  - 5.2.1. Filtros de arena
    - 5.2.1.1.- Funcionamiento de un filtro de arena
    - 5.2.1.2.- Limpieza de los filtros de arena por contralavado
    - 5.2.1.3.- Dimensionado del equipo de filtrado de arena
  - 5.2.2.- Filtros de malla
  - 5.2.3.- Filtros de anillas
  - 5.2.4.- Filtros hidrociclónicos de mallas
  - 5.2.5.- Filtros hidrociclónicos de anillas
  - 5.2.6.- Filtros autolimpiantes automáticos
    - 5.2.5.1.- Filtros de anillas automáticos autolimpiantes
    - 5.2.5.2.- Filtros de mallas automáticos autolimpiantes
  - 5.2.7.- Filtros auxiliares.

5.3.- El sistema de fertirrigación.
5.3.1.- Dispositivos para inyectar fertilizantes
5.3.1.1.- Tanques de fertilización
5.3.1.2.- Inyectores tipo Venturi
5.3.1.3.- Bombas inyectoras eléctricas
5.3.1.4.- Bombas inyectoras hidráulicas
5.3.2.- Depósitos para almacenar abonos líquidos para fertirrigación
5.3.3.- Agitadores y bombas de soplado.
5.3.4.- Controlador de pH y conductividad eléctrica del agua de red

6.- LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA
6.1.- Tuberías
6.1.1.- Tuberías de PVC
6.1.2.- Tuberías de Polietileno (PE)
6.1.3.- Elementos singulares de la red de riego
6.2.- Emisores
6.2.1.- Goteros
6.2.2.- Microaspersores y difusores
6.2.3.- Tuberias emisoras
6.3.- Elementos de control, medida, protección y automatismos
6.3.1.- Medidores de caudal
6.3.2.- Contadores
6.3.3.- Medidores de presión (manómetros)
6.3.4.- Reguladores de presión
6.3.5.- Reguladores de caudal
6.3.6.- Válvulas
6.4.- Elementos de protección
6.4.1.- Presostatos
6.4.2.- Ventosas
6.4.3.- Calderines
6.5.- Automatismos

Referencias bibliográficas

1. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

La instalación de riego por goteo ha de permitir que se aplique una muy **similar cantidad de agua a todos los árboles de la plantación**. Para ello la instalación debe de estar dotada de una serie de elementos que aspiren el agua y la prefiltren, la mezclen con los fertilizantes, filtren esa disolución, y finalmente la envíen a los goteros a la presión de trabajo fijada, para que estos apliquen el agua de forma homogénea a cada uno de los olivos de la plantación para que pueda ser extraída por las raíces, y mojando además el adecuado volumen de suelo, de modo que la eficiencia del agua aplicada sea máxima.

- Una instalación típica de riego puede estar constituida por los siguientes componentes:
- Estación de bombeo.
- Balsa de almacenamiento y/o regulación (optativa).
- Elementos de prefiltrado y acondicionamiento del agua.
- Cabezal de riego: filtros, equipo de fertirrigación, elementos de cotrol.
- Red de distribución del agua: conducciones generales (tuberías principales), derivaciones (tuberías secundarias), y tuberías portagoteros.
- Emisores o goteros.
- Elementos de control, regulación y seguridad.

En los apartados siguientes se hará una revisión de los componentes de la instalación. Todo lo relativo a la estación de bombeo y al diseño de la misma se acomete en el capítulo 12.

2. BALSAS DE ALMACENAMIENTO / REGULACIÓN

Aunque las balsas de regulación realmente no forman parte de la instalación de riego propiamente dicha, puede ser interesante disponer de un gran depósito o **balsa de regulación** que, además de permitir un óptimo diseño de la instalación de riego cuando se dispone de pequeños caudales de agua con relación al tamaño de la explotación, puede reducir los costes energéticos de bombeo y facilitar el manejo de la instalación y la programación del riego, permitiendo además asegurar el suministro de agua al cultivo en los momentos de máxima sensibilidad al déficit hídrico. Ello es posible siempre que puedan almacenarse en invierno las dotaciones necesarias para su empleo durante el verano. Otra de las **ventajas** de las balsas de regulación es poder aplicar, en

origen, productos alguicidas y dispositivos de prefiltrado que puedan favorecer unas mejores condiciones de limpieza del agua, lo cual siempre se traducirá en un mejor funcionamiento de la instalación. El principal **inconveniente** es el derivado de una mala conservación del agua almacenada debido a la ausencia de tratamientos durante el periodo de almacenamiento, lo que puede dar lugar a contaminaciones biológicas (algas, bacterias) que pueden afectar al mantenimiento y funcionamiento de la instalación de riego, debido a probables obturaciones de emisores.

En el **diseño de la balsa** de regulación hay que tener en cuenta dos cuestiones importantes:

- Dimensiones que debe tener la balsa
- Diseño geométrico de la balsa, teniendo en cuenta el espacio disponible, la forma geométrica más idónea de modo que el coste de construcción sea mínimo, pendiente de los taludes interior y exterior, materiales para la impermeabilización, etc.

2.1. Dimensionamiento de una balsa o embalse de regulación

La primera de las cuestiones a plantear es el cálculo de las **dimensiones de la balsa de regulación**. Ello depende de las siguientes circunstancias:

- tipo de concesión administrativa del agua para riego,
- disponibilidades anuales de agua y su distribución a lo largo del año,
- caudales continuos disponibles y caudal de bombeo durante la campaña de riego.
- tamaño de la explotación a regar.

A continuación resolveremos algunos **ejemplos** en los que se plantea el dimensionamiento de las balsas de regulación para diferentes situaciones.



Fotografía 9.1: Balsas para almacenamiento de agua de riego para olivar en Baena, provincia de Córdoba. En la impermeabilización se ha utilizado lámina de PE.

Caso 1.

En muchos ocasiones el Organismo Regulador de Cuenca (Confederación Hidrográfica) concede permisos de riego para olivar permitiendo la captación de aguas superficiales solo en períodos en los que los ríos y arroyos transportan aguas no reguladas (septiembre – abril). En este caso si queremos asegurar un riego sin limitaciones durante el periodo mayo-agosto será indispensable almacenar en invierno las necesidades para el abastecimiento de agua en verano, época en la que solamente se podrá regar con el agua de la balsa.

Si las necesidades medias diarias por olivo en el mencionado periodo mayo- agosto fueran 80 litros, se necesitaría almacenar por olivo con marco tradicional una cantidad de:

80 l/día x 4 meses (mayo-agosto) x 30 días/mes = 9.600 litros < > 10 m^3/árbol

por lo que si quisiéramos construir una balsa para almacenar las necesidades de riego de una plantación con 10.000 árboles se necesitaría una balsa con:

10 m^3/olivo x 10.000 olivos = 100.000 m^3

Pero esta sería una primera aproximación. Habría que ajustar más el **dimensionado de la balsa en función del programa anual de riego propuesto para el año medio**, sumándole además el agua que se evaporaría (más adelante propondremos un modelo de cálculo de la cantidad de agua evaporada). Veámoslo con un ejemplo.

Si pretendiéramos dimensionar la balsa para el riego de una explotación de 10.000 olivos en una situación en la que se pudiera tomar agua de un arroyo por el que el agua discurre únicamente durante los meses de invierno, ya que en el año medio deja de pasar agua en los primeros días de mayo, y si las necesidades mensuales de riego, en un programa en el que se ha tenido en cuenta el agotamiento progresivo de la reserva de agua del suelo (ver capítulo 5), fuesen las que se muestran en la tabla siguiente:

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
Riego (l/olivo.día)	0	0	0	60	70	80	100	90	80	0	0	0	
Riego (m^3/olivo.mes)	0	0	0	**1,8**	**2,1**	**2,4**	**3,0**	**2,7**	**2,4**	0	0	0	**12,6**

Las necesidades de almacenamiento de agua de la balsa se calcularían sumando las necesidades mensuales de riego por olivo (mayo a septiembre) calculadas en la tabla anterior (en negritas):

Almacenamiento = 2,1 + 2,4 + 3,0 + 2,7 + 2,4 = **12,6 m³/olivo**

No hemos contabilizado las necesidades del mes de abril porque en este mes el arroyo abastece las necesidades de agua del cultivo.

Luego para una explotación de 10.000 árboles se necesitaría una balsa de:

10.000 olivos x 12,6 m³/olivo = 126.000 m³

A este volumen de agua habría que añadirle la evaporación de agua desde la balsa, que en nuestro clima y en los meses de verano no es despreciable. A efectos de cálculo y para balsas de tamaño medio, la evaporación anual podríamos evaluarla en un 15 % del agua total almacenada. Más adelante se introducirá al lector en el cálculo de las pérdidas reales anuales de agua por evaporación desde una balsa.

Por esta razón la capacidad de la balsa a construir sería:

126.000 m³ x 1,15 = **145.000 m³**

Caso 2

En otras ocasiones, y en particular cuando se extrae el agua de un pozo, se dispone de un **caudal continuo es algo inferior al diseñado para el riego con bombeo directo**. En este caso un **estanque de regulación** es absolutamente necesario para acumular una cierta cantidad de agua bombeada desde el pozo durante las horas en que no se riega, lo que permitirá abastecer las necesidades diarias de riego en bombeo desde el estanque. Para el dimensionado de la balsa habrá que tener en cuenta que en este caso solo la emplearemos para asegurar el suministro diario de agua durante las horas de riego.

Ejemplo: si disponemos de un pozo que en el mes de máximas necesidades suministra un caudal continuo de 5 l/s y queremos regar un olivar de 4.000 olivos con una instalación con riego en dos sectores (2.000 olivos / sector) que suministra 16 l/hora por olivo, y sabemos que en el mes de máximas necesidades debemos aportar diariamente 100 litros de agua por árbol. Calcular el tamaño útil de la balsa de regulación a construir.

Horas diarias de riego = 2 sectores x 100 l/h / 16 l/h = 12,5 h / día.
Suministro diario del pozo = 5 l/s x 3.600 s/h x 24 h/día = 432.000 l / día = 432 m³ / día.
Caudal del pozo en una hora = 5 l/s x 3.600 s/h = 18.000 litros / h = 18 m³ / h.
Producción del pozo durante una jornada de riego = 12,5 h x 18 m³ / h = 225 m³.
Necesidades de agua diarias = 4.000 olivos x 100 li/día = 400.000 l/ día = 400 m³ / día.

Horas diarias de bombeo desde el pozo para cubrir las necesidades de riego del olivar =

$$400\ m^3 / día / 18\ m^3 / h = 22{,}2\ h/día.$$

Luego el suministro de la dosis de agua de riego que demanda el programa de riego propuesto es posible siempre que almacenemos agua en un estanque. La mínima cantidad de agua que debemos poder almacenar diariamente en el depósito será de:

$$400\ m^3 / día - 225\ m^3 / día = 175\ m^3 / día$$

Sin embargo, la experiencia nos dice que disponer de un depósito de tan reducidas dimensiones sería un riesgo ante eventuales averías de la bomba del pozo, averías que normalmente se producen en el mes de agosto cuando todo el mundo está de vacaciones, por lo que por prudencia en este caso creemos aconsejable una capacidad de almacenamiento para asegurar 10 -15 días de riego, es decir:

$$15\ días \times 400\ m^3 / día = 6.000\ m^3$$

Caso 3

En ocasiones el **caudal disponible para el bombeo directo a la instalación de riego es mucho menor que el requerido por la gran superficie de olivar a regar**. Si quisiéramos regar la totalidad de la superficie habría que almacenar en una balsa de adecuadas dimensiones el caudal de agua disponible durante todo el año. Para regar, durante el período de riego, bombearíamos el agua desde la balsa, pudiéndose realizar ambos bombeos simultáneamente.

Ejemplo. Supongamos un pozo con un caudal continuo de 6 l/s. Pretendemos regar una finca de 8.500 olivos con una instalación que en dos sectores suministra 16 l/olivo.hora. Se pretende que el importe de la factura de energía eléctrica sea lo mas reducido posible. El programa de riego anual es el siguiente:

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
Riego (l/olivo.día)	0	0	0	60	70	80	100	90	80	0	0	0	
Riego (m^3/olivo.mes)	0	0	0	1,8*	2,1	2,4	3,0	2,7	2,4	0	0	0	**14,4**

(*) 60 l / olivo.día x 30 días / mes = 1.800 l / olivo.mes = 1,8 m^3.olivo / mes

Los parámetros climáticos ETo y precipitación de la finca en la que se ubica el olivar a regar son los siguientes:

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Total
ETo (mm/día)	1,07	1,64	2,81	3,68	4,97	5,65	6,80	5,88	4,07	2,60	1,42	0.96	**1.269**
P (mm/mes)	52	53	59	46	44	19	4	5	23	42	47	66	**460**

Las prestaciones del pozo son las siguientes:

Horas anuales de bombeo = 365 días x 24 horas/día = 8.760 h

Si nos acogemos a la facturación eléctrica con triple tarifa y discriminación horaria tipo 4 (ver capítulo 13), y renunciamos a bombear en horas punta (6 horas diarias de lunes a viernes), el tiempo diario, semanal o anual que tenemos para el **bombeo en horas valle y llano** será:

en una semana = 7 días/semana x 24 h/día – 5 días x 6 h/día = 138 h/semana
< > 19,7 h/día

en un año = 52 semanas / año x 138 h/semana = 7.176 horas / año

el pozo suministra un caudal horario de = 6 l/s x 3.600 s/h = 21.600 litros / h = 21,6 m^3/h

El agua que aporta anualmente el pozo en horas valle y llano será:

21,6 m^3/ h x 7.176 h /año =**155.001 m^3/ año**

Las necesidades anuales del olivar a regar serán:

8.500 olivos x 14,4 m^3.olivo /año (ver tabla) = **122.400 m^3/año**

Luego almacenando el agua suministrada por el pozo durante todo el año es posible regar la totalidad del olivar sin bombear en horas punta, aunque **es absolutamente necesario construir una balsa de almacenamiento**. Sin embargo, hay que tener en cuenta la **evaporación de agua desde la balsa**, nunca despreciables, por lo que en una primera aproximación las necesidades de agua a bombear desde el pozo serían las siguientes:

122.400 m^3/año x 1,15 = 140.760 m^3 / año

cifra que nos permite pensar que es posible acometer la obra de transformación en regadío, y abastecer el agua necesaria sin que sea necesario extraer agua del pozo en horas punta.

A continuación plantearemos cuales son los cálculos a realizar para el dimensionado más exacto de la balsa. Para ello calcularemos el número de horas de bombeo y las extracciones a realizar para abastecer los diferentes consumos, como es natural con ciertos márgenes por exceso, de garantía ante eventuales averías:

- Bombeo desde el pozo a la balsa:

19,7 h / día x 21,6 m^3/h = 425,5 m^3 / día
30,5 días / mes x 425,5 m^3 / día = 12, 978 m^3 / mes
12.978 m^3 / mes x 12 meses = 155, 7 m^3 / año.

- Bombeo para el riego de la finca:

Para estimar las necesidades de riego de la finca se calcularán en primer lugar las necesidades mensuales:

en el **mes de abril** = 60 l/d x 8.500 olivos x 30 días = 15.300 m^3 / mes

reiterando el cálculo para los meses de mayo a septiembre:

Mes	A	My	Jn	Jl	Ag	S	Total
Riego (l/olivo.día)	60	70	80	100	90	80	
Riego (m^3/m^3.mes)	15.300	18.445	20.400	26.350	23.715	20.400	**124.610**

La cantidad de agua a extraer del pozo durante el horario anual para abastecer las necesidades de riego será **124.610 m^3**.

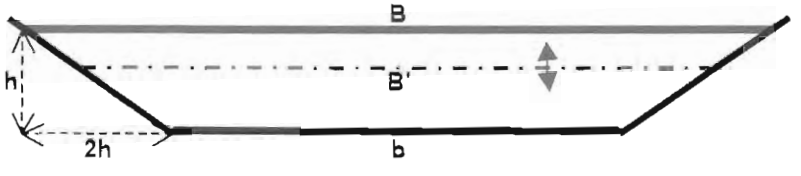
Llegados a este punto, y en base a las cifras anteriores, podemos realizar un primer tanteo, teniendo en cuenta los bombeos mensuales que se vierten desde el pozo a la balsa y los consumos anuales en el riego del olivar:

Meses	dias/mes	Riego l/ol.día	Riego (1) m³/mes	Bombeo (2) desde el pozo m³/mes	Agua almacenada en la balsa (3) m³/mes
O	31	0	0	13.191	13.191
N	30	0	0	12.765	25.956
D	31	0	0	13.191	39.146
E	31	0	0	13.191	52.337
F	28	0	0	11.914	64.251
M	31	0	0	13.191	77.441
A	30	60	15.300	12.765	74.906
My	31	70	18.445	13.191	69.652
Jn	30	80	20.400	12.765	62.017
Jl	31	100	26.350	13.191	48.857
A	31	90	23.715	13.191	38.333
S	30	80	20.400	12.765	30.698
			124.610	**155.308**	

(1) Se riegan 8.500 olivos (ver tabla anterior)
(2) 21,6 m³/h x 19,6 h/d x nº días / mes
(3) = (1) - (2)

En esta tabla vemos como el volumen de agua que a efectos de cálculo debería almacenarse en la balsa sería **77.441 m³**, cifra que se alcanza a final del mes de marzo, antes de iniciarse la campaña de riegos. A partir de este momento el agua que suministra el pozo complementada con agua almacenada en la balsa permitiría cubrir las necesidades mensuales y anuales del cultivo. En la mencionada tabla vemos como a final del mes de septiembre tenemos un excedente teórico de 30.698 m³. Realmente este excedente es ficticio, ya que una parte importante de ese volumen de agua se pierde anualmente por evaporación desde la balsa, lo que es especialmente importante en un ambiente advectivo como el que se da en este caso. A continuación vamos a tratar de evaluar dichas pérdidas de agua por evaporación.

Para ello es necesario realizar un predimensionado del embalse. Tratando de simplificar el cálculo partimos de un embalse troncopiramidal con bases cuadradas con longitud de los lados de las bases menor y mayor **B** y **b** respectivamente, y cuya altura es **h**. Los taludes de la balsa tienen pendientes 1:2.Para entender los cálculos realizados las sección transversal del embalse es la siguiente:



B' es la longitud del lado superior del tronco de pirámide cuando la balsa no está completamente llena (nivel variable). El volumen de agua embalsado en un momento dado en una balsa de las anteriores características viene dado por la expresión:

$$Vt = \frac{1}{3} \times h \times \left[S_B + S_b + \sqrt{S_B \times S_b} \right] \qquad [1]$$

en la que: ***Vt*** = volumen de agua almacenado en la balsa (m^3); ***h*** = diferencia de cota entre la coronación (o la superficie libre del agua cuando la balsa no está llena) y el fondo (metros); S_B = superficie de la base mayor a nivel del zuncho de hormigón de la coronación (m^2) si la balsa está llena, o la superficie libre del agua si la balsa no está completamente llena; S_b = superficie del fondo de la balsa (m^2).

Para conseguir almacenar un volumen máximo de agua de **77.441 m³** las dimensiones de la balsa serían: **h** = 6 m; **B** = 128 m; y **b** = 104 m. A estas cifras se llega realizando sucesivas aproximaciones utilizando la expresión [1].

Si conociéramos la superficie libre del agua acumulada en la balsa a final de cada mes, en función de los niveles mensuales alcanzados durante el ciclo de llenado-vaciado, podríamos hacer una estimación del volumen de agua evaporado anualmente.

Mes	h (1) m	b m	B' (2) m	B m	Sb m^2	SB' (3) m^2	Vt (4) m^3
Llena	6,00	104	128,00	128	10.816	16.384	81.023
O	1,17	104	108,7	128	10.816	11.811	13.233
N	2,22	104	112,9	128	10.816	12.742	26.120
D	3,22	104	116,9	128	10.816	13.661	39.318
E	4,15	104	120,6	128	10.816	14.544	52.432
F	4,95	104	123,8	128	10.816	15.326	64.378
M	5,80	104	127,2	128	10.816	16.180	77.767
A	5,63	104	126,5	128	10.816	16.007	75.031
My	5,30	104	125,2	128	10.816	15.675	69.804
Jn	4,82	104	123,3	128	10.816	15.198	62.394
Jl	3,90	104	119,6	128	10.816	14.304	48.826
A	3,15	104	116,6	128	10.816	13.596	38.364
S	2,60	104	114,4	129	10.816	13.087	31.027

(1) h = altura de la lámina de agua a final del mes
(2) B' = Longitud del lado del cuadrado de la superficie libre de agua
(3) SB' = superficie de la superficie libre de agua (evaporante) = B'^2
(4) Vt = volumen de agua almacenada en la balsa a final de cada mes

El valor mensual de $S_{B'}$ que hemos calculado en la tabla anterior es el que nos va a permitir estimar la **evaporación** desde la superficie libre del agua de la balsa, teniendo en cuenta que parte del agua evaporada es compensada en los meses de otoño-invierno por las precipitaciones de agua de lluvia. Tener en cuenta que capta agua de lluvia la superficie total de la balsa (S_B = 16.384 m² en este caso) en todos los meses, mientras que la evaporación solamente afecta a la lámina libre de agua $S_{B'}$.Por esta razón, algunos meses aparecen valores negativos en la columna "evaporación desde balsa", meses (noviembre, diciembre, enero) en los que la captación de agua de lluvia supera a la evaporación desde la balsa, por lo que esta se rellena en los citados meses.

Meses	días/mes	ETo (1) mm/día	Evaporación (2) (mm/mes)	Precipitación(1) (mm/mes)	Precipitación m³/mes P (3)	Supercie libre de agua (SB') m²	Evaporación E (4) m³/mes	Evaporación desde balsa (m³/mes) (5)
O	31	2,6	107	42	688	11.811	1.269	581
N	30	1,42	57	47	770	12.742	724	-46
D	31	0,96	40	66	1.081	13.661	542	-539
E	31	1,07	44	52	852	14.544	643	-209
F	28	1,64	61	53	868	15.326	938	70
M	31	2,81	116	59	967	16.180	1.879	913
A	30	3,68	147	46	754	16.007	2.356	1.603
My	31	4,97	205	44	721	15.675	3.220	2.499
Jn	30	5,65	242	19	311	15.198	3.680	3.369
Jl	31	6,8	301	0	0	14.304	4.308	4.308
A	31	5,88	260	0	0	13.596	3.540	3.540
S	30	4,07	174	0	0	13.087	2.283	2.283
			1.756	**428**				**18.371**

(1) Datos anuales de ETo y precipitaciones totales de la estación meteorológica de Santo Tomé (Jaén)
(2) E = ETo x 1,4
(3) P (m³ / mes) = SB (m²) x P (mm/mes = l / m² . mes) = 16.384 m² x P (l/m².mes) / 1.000 l/m³
(4) E(m³ / mes) = SB' (m²) x E (mm/mes = l / m². mes) (2) / 1.000 l/m³
(5) Evaporación desde balsa = E - P

Ahora ya podemos calcular las dimensiones totales que debe tener la balsa, una vez conocidos los volúmenes mensuales de bombeo pozo – balsa, riego desde la balsa y las pérdidas por evaporación:

Meses	días /mes	Riego l/ol.día	Riego (1) m^3/mes	Evaporación balsa (2) m^3/mes	Bombeo desde el pozo (3) m^3/mes	Almacenamiento en balsa (4) m^3/mes
O	31	0	0	581	13.191	12.610
N	30	0	0	546	12.765	25.421
D	31	0	0	539	13.191	39.151
E	31	0	0	209	13.191	52.551
F	28	0	0	70	11.914	64.395
M	31	0	0	913	13.191	76.673
A	30	60	15.300	1603	12.765	72.536
My	31	70	18.445	2499	13.191	64.783
Jn	30	80	20.400	3369	12.765	53.779
Jl	31	100	26.350	4308	13.191	36.312
A	31	90	23.715	3540	13.191	22.248
S	30	80	20.400	2283	12.765	12.330
TOTAL			**124.610**	**18.371**	**155.308**	**76.673**

(1) Se riegan 8.500 olivos
(2) Evaporación desde balsa de sección cuadrada de 128 m de lado, 6 m de altura y talud 1:2
(4) = (4) mes anterior + (3) - (2) - (1)

Vemos que la cantidad de agua evaporada supone aproximadamente el:

$$18.371 \times 100 / 155.308 = \mathbf{12\ \%}$$

del agua bombeada a la balsa desde el pozo. El volumen de agua que debemos poder embalsar es de **76.673 m^3**, luego son correctas las dimensiones propuestas en el primer tanteo realizado:

h = 6 m; B = 128 m; y **b = 104 m.**

2.2. Construcción de la balsa de regulación

Aunque el diseño de la balsa de regulación debe encomendarse a un ingeniero, queremos dar una serie de ideas básicas para su construcción. Aunque cada obra sea distinta, podemos enumerar una serie de partidas más importantes que son comunes en la construcción de todas las balsas:

- el movimiento de tierras,
- perfilado de taludes,
- colocación de la lámina impermeabilizante (PE normalmente),

- drenajes,
- dispositivo de entrada y salida de agua,
- aliviadero,
- cerramiento,
- corrección del impacto ambiental.

Para que el coste de movimiento de tierras sea mínimo debe procurarse que el desmonte sea igual al relleno para formar los taludes y paramentos exteriores de la balsa. Para que el coste de la lámina impermeabilizante (lámina PE + geotextil de 200 g/m^2) sea mínimo, deben procurarse, si la forma de la parcela lo permite, formas cuadradas dentro de lo posible. La pendiente de los taludes interior y exterior los determinará el ingeniero proyectista, al igual que las dimensiones de la balsa, procurando que el talud exterior nunca tenga una pendiente superior a la 1:2, lo que evitará el deterioro del mismo por las aguas de escorrentía cuando se produzcan lluvias intensas. Además el talud exterior debe revestirse finalmente de tierra vegetal de la mejor calidad, para así facilitar su posterior revegetación, necesaria para evitar su deterioro precoz por las mencionadas escorrentías. Todo ello debe exigirse y pagarse a la empresa constructora. En la formación de los muros de contención de la balsa debe vigilarse que las compactaciones de la tierra sean las adecuadas, contratando a una empresa especializada para que periódicamente haga los necesarios controles. Como se apuntó anteriormente una balsa debe ir equipada de los siguientes elementos:

- tubería de PEAD de explotación en el fondo de la balsa provista de válvula de mariposa equipada con multiplicador,
- toma flotante para mejorar la calidad del agua bombeada,
- tubería de desagüe en PEAD en el fondo de la balsa provista de válvula de mariposa y desagüe controlado a un cauce público, de forma que pueda realizarse su vaciado con vertido controlado y sin causar daños a terceros. Nunca debe instalarse una única tubería para desagüe y explotación,
- drenaje en el fondo de la balsa con tubería de vertido al exterior, compuesto por zanjas de drenaje rellenas de grava de tamaño adecuado, envolviendo un tubo circular de drenaje de PVC, corrugado y ranurado en todo su perímetro, con salida controlada, lo que servirá para sanear el fondo del estanque en el caso frecuente en que existan manantiales, además de informarnos de posibles roturas de la lámina de PE,
- arqueta en la que se alojan y protegen las válvulas de explotación, vaciado y drenaje,
- aliviadero para prevenir accidentales rebosamientos que pueden erosionar y deteriorar el talud exterior,
- cerca perimetral de suficiente altura en la coronación de la balsa, cuya misión es prevenir accidentes.

En el momento actual, fundamentalmente por razones de mercado, las impermeabilizaciones se realizan utilizando alguno de los siguientes productos:

- Polietileno de baja densidad (PEBD),

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad (PEAD),
- Caucho butílico y caucho (EPDM).

recomendamos que para **la impermeabilización** de las balsas se utilice **PE de alta densidad** y según la **capacidad del embalse** el **espesor nominal** sea **1,5** ó **2,0 mm**. Los componentes de la lámina serán polímeros vírgenes de primera calidad que produzcan formulaciones duraderas, de bajo envejecimiento y alta impermeabilización, sin ningún componente soluble en agua. Debe exigirse certificación al fabricante sobre las siguientes especificaciones técnicas de la lámina, certificaciones en las que se haga referencia expresa a los métodos de ensayo establecidos por las normativas internacionales: índice de fluidez (DIN 53735 (190/5)), dimensiones (DIN 53370), Resistencia a la tracción límite elástico (DIN 53455), alargamiento límite elástico (DIN 53455), Resistencia a la tracción punto de rotura (DIN 53455), alargamiento hasta la rotura (DIN 53455), variación dimensional ensayo térmico (DIN 53377) y resistencia al desgarro (DIN 53363).

Finalmente, debemos calcular la capacidad real de la balsa que nos han construido, y que debemos pagar al contratista de la obra. Lo mejor es encargar el aforo a un topógrafo para que nos lo certifique. Sin embargo, si la balsa tiene una forma troncocónica y el fondo y la coronación de la balsa adoptan figuras regulares, un aforo provisional puede hacerse empleando la expresión [1].

Si se quisiera hacer un cálculo más exacto del volumen de la balsa, habría que trazar curvas de nivel de metro en metro de profundidad aplicando la fórmula anterior para cada metro de altura y cada sección, siendo el volumen total la suma de los parciales entre el fondo y la coronación, a nivel del zuncho de hormigón. Estas mediciones serán particularmente útiles en un futuro, porque permitirán aforar el contenido en agua de la balsa en función del descenso de la lámina de agua medido sobre el talud en un punto de referencia.

3. INSTALACIONES DE PREFILTRADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.

3.1 Decantadores

El equipo de prefiltrado no se suele considerar como un elemento de la instalación de riego, pero muchas veces soluciona problemas que un cabezal de filtrado convencional es incapaz de resolver a un precio asequible. El elemento más clásico es un **decantador**, y su cometido es retener, antes de la entrada en el cabezal de filtrado, los elementos arrastrados por el agua como gravillas, arena, limo, restos vegetales, trozos de madera, etc. cuando el agua pro-

cede de ríos, arroyos o pantanos, impurezas que de otro modo se acumularían en las balsas de regulación, con el consiguiente problema para su limpieza, y en bombeos en directo colmatarían los filtros en muy breve espacio de tiempo.

Para comprender las posibilidades que ofrece un decantador en el tratamiento de aguas para riego que tienen un cierto grado de turbidez debemos considerar los datos siguientes:

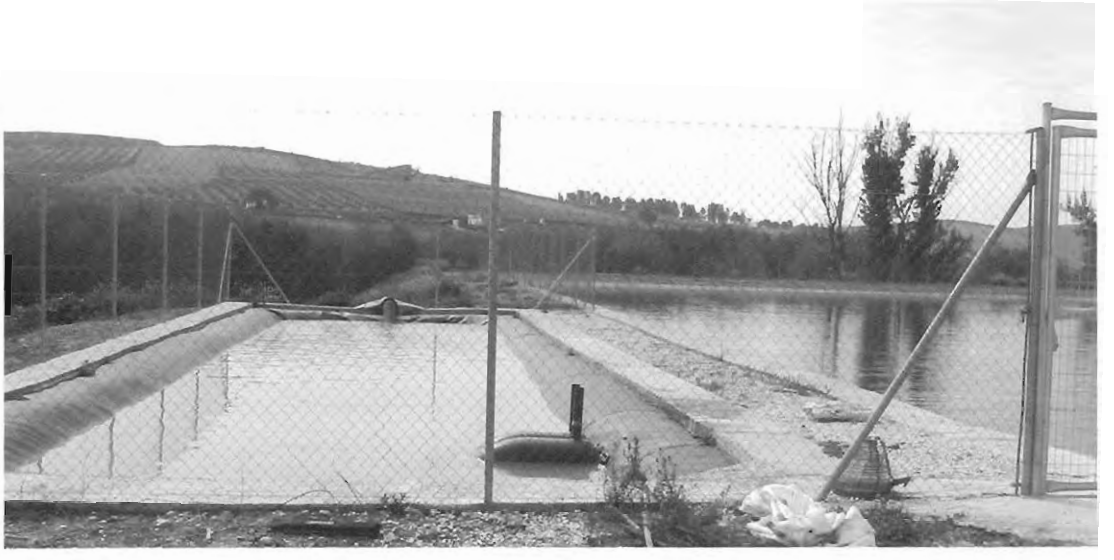
Partículas minerales	Tamaño (micras*)	Tiempo de sedimentación
Arcillas	1-10	horas - días
Limos	10-50	10 minutos – 1 hora
Arena fina	200-50	10 a 60 segundos

1 micra = 0, 001 mm

Como es natural, no debemos esperar nunca que un **decantador** nos separe la totalidad de las partículas de arcilla y limo. Sin embargo, estas partículas si que acaban por decantar en las balsas de almacenamiento, cuyos fondos con el tiempo van acumulando materiales, lo que nunca es lo más deseable, ya que su limpieza no es fácil ni barata de realizar.

Aunque existen diferentes modelos de decantador que pueden ser útiles en multitud de situaciones, en la **figura 9.1** presentamos el esquema general de un decantador tipo que nos ha proporcionado un excelente resultado en el desbaste de aguas del río Guadalquivir. Para abaratar su construcción los decantadores pueden estar construidos directamente sobre el suelo, realizando una excavación dotando a las paredes de un talud de 45°, dichas paredes pueden ser impermeabilizadas empleando una lámina de PE de 1,5 mm de espesor sobre geotextil de 200 g/m^2. Para facilitar su limpieza se dota al fondo de un gran desnivel y una boca de desagüe para su limpieza de gran diámetro (250 mm o superior) provista de una válvula de compuerta. Dicha limpieza se hará con muchísima frecuencia, no dando lugar a la total colmatación del decantador, siendo aconsejable abrir varias veces al día el desagüe durante unos pocos minutos, para evitar así que se deposite excesiva cantidad de sedimentos sobre el mecanismo de cierre, lo que luego impediría su apertura. La separación de sólidos se consigue haciendo circular el agua a una pequeñísima velocidad a lo largo del decantador, procurando que la circulación se produzca en régimen laminar y nunca en régimen turbulento y que dicha circulación sea totalmente homogénea a lo largo y ancho del decantador, de modo que cuando el agua llegue al final del mismo hayan precipitado al fondo todos los elementos gruesos. Para conseguir este efecto, la entrada de agua al decantador se hará a través de un **vertedero** horizontal perfectamente nivelado (canal horizontal o vertedero de chorrillos). Finalmente un sifón transvasará el agua ya decantada a un depósito de bombeo o a una balsa de almacenamiento del agua ya decantada. El sifón evitará el paso a la balsa de los sobrenadantes.





Fotografía 9.2: Decantador de agua vacío (foto superior) que se utiliza para el decantado de aguas procedentes del río Guadalquivir. El vaso del decantador se ha excavado sobre el suelo y se ha impermeabilizado con lámina de PE sobre geotextil, de acuerdo con lo especificado en la figura 9.1. En la imagen superior se observa vertedero horizontal fabricado en tubería metálica con agujeros para conseguir un flujo de agua laminar a lo ancho del decantador; en primer plano el sifón de trasvase del agua decantada hasta la balsa de almacenamiento (imagen inferior). Obsérvese el nivel que alcanza el agua cuando el decantador está en funcionamiento.

El grado de limpieza que se quiera conseguir dependerá del **ancho y longitud del decantador**, y relativamente poco de la **profundidad** del mismo, aunque en la parte menos profunda aconsejamos que tenga al menos 1,5 m de profundidad. Son recomendables **longitudes del decantador de al menos 5 veces su ancho**. En la **tabla 9.1**, y como ejemplo, damos dimensiones de los decantadores necesarios para decantar diferentes caudales de agua, con separación de **partículas de hasta 0,075 mm (75 micras) de diámetro**, partículas que normalmente ya no deberán plantear grandes problemas para el filtrado, si el mantenimiento de la instalación es el correcto. Es frecuente encontrar instalaciones con decantadores de otras dimensiones (normalmente mucho mayores), y formas con otras relaciones ancho-longitud. Al final su funcionamiento no es el adecuado, y acaba por no ser efectiva una parte importante del dispositivo, además de haberse encarecido su construcción.

Tabla 9.1: Dimensiones de decantadores para separar partículas de tamaño superior a 0,075 mm en aguas de riego, previo al almacenamiento en balsa o bombeo al cabezal de filtrado.

Caudal		ancho	longitud
l/s	m^3 / h	m	m
< 20	< 72	1,5	7,5
20 – 50	72 – 180	2,0	10,0
50 – 100	180 – 360	3,5	18,0
100 – 150	360 – 540	4,0	20,0
150 – 200	540 – 720	5,0	25,0
200 – 300	720 – 1.080	6,0	30,0
300 – 400	1.080 – 1.440	7,0	35,0
400 – 500	1.440 – 1.800	8,0	40,0

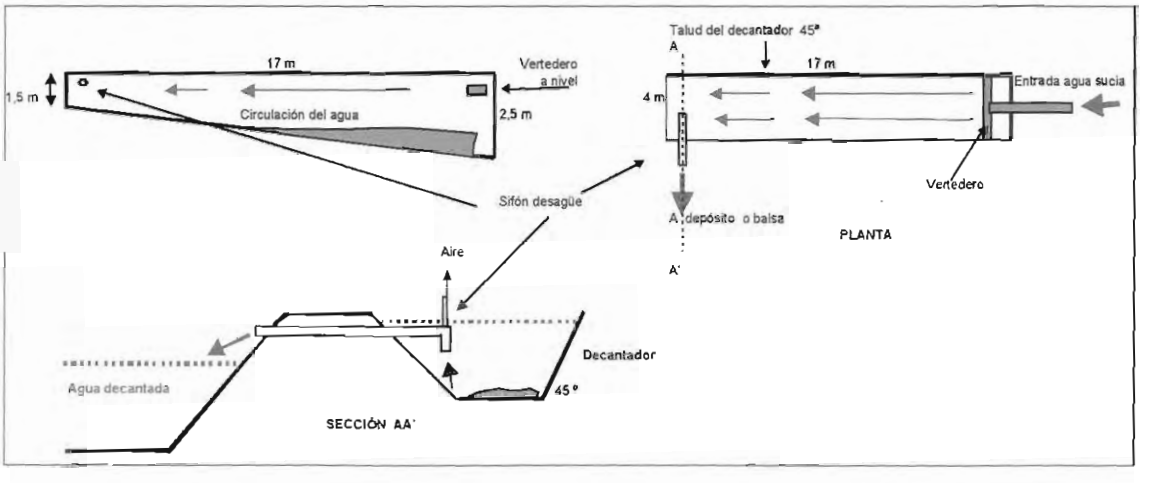


Figura 9.1 : Decantador de agua sucia con capacidad para decantar entre 50 y 100 l/s. Ver fotografía 9.2.

Es frecuente, igualmente, que se realicen estanques de decantación para retener los precipitados de hierro que se forman al airear aguas subterráneas que contienen este elemento en disolución.

Cuando se manejan caudales pequeños y se trabaja con aguas poco corrosivas pueden instalarse decantadores metálicos construidos empleando perfiles galvanizados ondulados.

3.2. Aireadores

Cuando se trabaja con aguas subterráneas, muchas veces puede plantearse el problema de existencia de gases en disolución, como el **ácido sulfhídrico**, que si se introducen sin airear en la red de riego acaban produciendo precipitados al reaccionar este ácido con las sales de calcio y magnesio contenidas en el agua, lo que se traduce finalmente en una obstrucción de los emisores. En este caso es necesario instalar **aireadores,** habiéndonos resultado eficaces las **torres de aireación (fotografías 9.3, 9.4 y 9.5)**, que de una forma sencilla y económica eliminan el gas y resuelven el problema. Una **torre de aireación** debe estar compuesta de una batería de 8-10 bandejas de material plástico acanalado formando pisos paralelos en posición horizontal y con multitud de perforaciones de pequeño diámetro (máximo 8 mm), superpuestas y separadas unos 30 cm, de modo que el agua va descendiendo lentamente y formando chorrillos, Este dispositivo permite la aireación del agua, que finalmente cae a un depósito o balsa de adecuadas dimensiones desde donde se bombea a la estación de filtrado y red de riego. Es conveniente que en el depósito desde el que se bombea el agua aireada se instale una **toma flotante**, para impedir que los precipitados pasen a la estación de filtrado y a la red de riego, así como las algas que flotan en la superficie del depósito, si no se ha hecho un tratamiento alguicida (ver capítulo 15).



Fotografía 9.3: Aireador de bandejas perforadas utilizado para eliminar ácido sulfídrico en aguas de pozo procedentes del acuífero carbonatado de La Loma en la provincia de Jaén. Las bandejas están sustentadas por una estructura metálica protegida por una pintura epoxi. Obsérvese el desprendimiento de gas a la atmósfera favorecido por la alta temperatura del agua. El agua va pasando en cascada de bandeja en bandeja desde la parte más alta del aireador hasta la parte inferior donde un pilón recoge el agua aireada para su trasvase por gravedad hacia una balsa de almacenamiento donde el agua se acaba de airear.



Fotografía 9.4: Detalle de bandejas que componen la torre de aireación fabricadas en plástico acanalado y perforadas.



Fotografía 9.5: La masa de agua al pasar por los agujeros practicados en las bandejas se descompone en delgados chorrillos, lo que mejora el rendimiento en la eliminación del ácido sulfhídrico, lo que evitará el problema de precipitados en tuberías y goteros.

Teniendo en cuenta que este tipo de aguas son muy corrosivas, es conveniente que se pinten los elementos metálicos que componen la torre de aireación empleando una pintura epoxi, más una capa de recubrimiento con una pintura de poliuretano, lo que acabará alargando la vida del aireador.

3.3.- Otros elementos de prefiltrado

Además, incluso cuando se trabaja con aguas teóricamente limpias, es usual instalar a la entrada a los depósitos una batería de rejillas con agujeros de diferentes tamaños, cestos perforados o colectores-filtro construidos en acero o plástico, con mallas de 10-20 mm de paso, cuya misión es retener materias sólidas extrañas.



Fotografía 9.6: Batería de rejillas con agujeros de diferentes tamaños colocada en el canal de desagüe a un dispositivo de captación de agua. Esta batería es capaz de eliminar elementos gruesos (piedras, restos de envases, trozos de madera, etc.) que transportan las aguas superficiales, lo que evitará la acumulación de impurezas en los depósitos de almacenamiento de agua para riego. El diámetro de los agujeros de las rejillas es variable, disminuyendo este a medida que el agua transita por el canal.

4. GRUPO DE BOMBEO

Las bombas para riego tienen la función de transferir energía al agua para posibilitar su transporte hasta todos y cada uno de los emisores que suministran agua al olivar que vamos a regar. En una instalación de riego se utilizan para dotar el caudal de agua requerido a la presión necesaria que asegure el correcto funcionamiento de la instalación. La mayoría de las bombas utilizadas en riego son del tipo denominado rotodinámico (turbobombas). En ellas se produce un aumento de la velocidad del agua provocado por el movimiento giratorio de un elemento, llamado impulsor o rodete, formado por palas o álabes. El giro del impulsor, transfiere al agua una energía cinética que posteriormente se transformará en energía de presión en el interior del cuerpo de la bomba. Los motores eléctricos ofrecen grandes ventajas respecto a los motores de combustión interna (diesel), lo que hace que sean los más utilizados cuando se dispone de suministro eléctrico, lo cual no ocurre en todas las situaciones.

Para la correcta **elección de la bomba**, es necesario conocer antes la **presión de impulsión** (altura manométrica Hm) expresada en metros de columna de agua (mca), y el **caudal a elevar**, aspectos que son tratados con suficiente detalle en el Capítulo 11, donde se da la información básica necesaria para el diseño de la estación de bombeo.

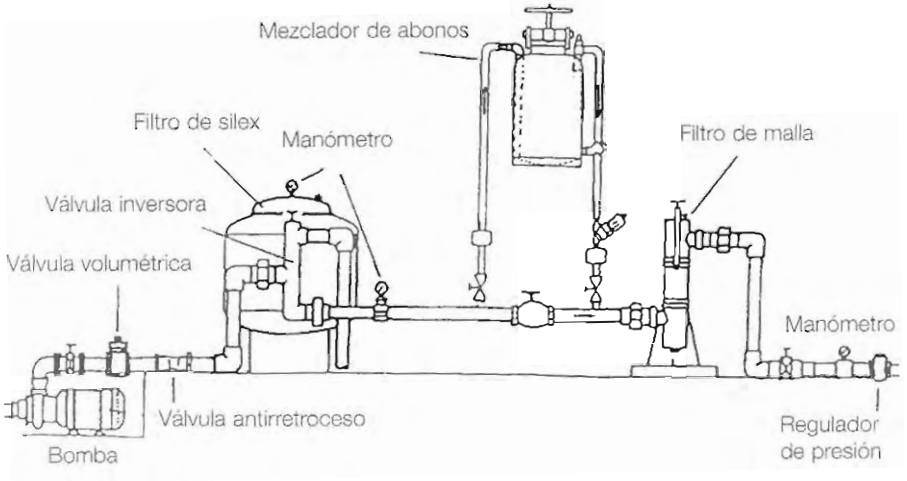


Figura 9.2: Cabezal clásico de filtrado de una instalación de riego por goteo, compuesto por valvulería, filtros de arena (silex) y malla, manómetros y mezclador y dosificador de fertilizantes sólidos (actualmente en desuso) (Ávila *y col.*, 1996).

5. EL CABEZAL DE RIEGO LOCALIZADO.

Se entiende por **cabezal de riego localizado** al conjunto de elementos destinados a **filtrar**, **tratar**, **medir** y **suministrar** el agua a presión para abastecer la red de distribución. Lo normal es que el sistema de bombeo se sitúe por delante del cabezal. En las líneas siguientes se supone que el agua ha sido previamente decantada o aireada si ello hubiese sido necesario.

El **sistema de filtrado** es el componente más importante del cabezal, y puede estar compuesto por distintos tipos de filtros, los necesarios en cada caso para eliminar las partículas y elementos que lleva el agua en suspensión y que pueden ocasionar **obturaciones** en cualquiera de las partes de la red de riego, principalmente en los **goteros**. El cabezal suele contar también con un equipo de fertirriego para incorporar al agua los fertilizantes y correctores (ácidos fundamentalmente) y eventualmente se emplea también para incorporar algún fitosanitario, como un insecticida o incluso herbicidas (**herbirrigación**).



Fotografía 9.7: Estación de filtrado automatizada compuesta por diferentes unidades de filtros de arena desde donde pasa el agua a un segundo filtrado en filtros de malla. El agua filtrada pasa a la red de riego a través de un colector general. Obsérvese la ubicación de válvulas y ventosas.

Podríamos decir que la **obturación de los emisores** es el problema más importante que plantea el manejo de un sistema de riego localizado. Las obturaciones suelen producirse por **partículas minerales** (arena y limo), por **partículas orgánicas** (algas, bacterias y restos de plantas o animales) y por **precipitados químicos** que proceden de las propias sales disueltas en el agua de riego o de los abonos aportados. Si se produjeran obturaciones de emisores, el coste de mantenimiento de la red será mayor, se reduciría la duración de algunos de los componentes de la instalación, y cierto número de árboles quedarían sin regar o mal regados debido a que el agua de riego se aplicaría con una mala uniformidad. En el capítulo 14 se da una detallada información sobre los tipos de obstrucciones, la forma de **prevenirlas** y su **tratamiento** en el caso en que se hayan producido.



Fotografía 9.8: Filtro de malla de 4" no automático equipado con dos manómetros a la entrada y salida de agua en el filtro. La diferencia de lecturas de los manómetros nos informa la necesidad de limpieza del cartucho filtrante. Obsérvese igualmente la instalación de un presostato (color gris claro), cuya misión es transmitir al cuadro eléctrico de mando las órdenes oportunas para la detención del bombeo cuando se produce una eventual colmatación del filtro, detectando un aumento de presión en la instalación. Se trata en este caso de un dispositivo de seguridad en las horas en las que no existe vigilancia humana de la instalación.

Antes de pasar a describir los diferentes tipos de filtros a utilizar, es necesario comentar la conveniencia de instalar en la estación de filtrado un mecanismo de seguridad (un **presostato** por ejemplo) que detenga los motores cuando se produzcan subidas de presión en dicha estación debido a una eventual colmatación de los filtros, bien porque no se han limpiado a tiempo (limpieza manual) o porque en estaciones de filtrado automáticas se ha producido un fallo en alguno de los mecanismos de automatización. La instalación de un presostato evitará muchos accidentes y problemas. Los presostatos trabajando en baja y debidamente regulados deben detener el bombeo de agua cuando se produce una rotura de tuberías, que se traduce en una caida de presión en la red de riego, lo cual evitará vertidos innecesarios, con los efectos que ello conlleva en los alrededores del punto de rotura.

Debe conocerse la capacidad de filtrado de cada uno de los filtros que componen el equipo, así como su correcta ubicación en el cabezal, ya que si el conjunto de filtros está montado en **paralelo**, la capacidad del cabezal será la suma de las capacidades de cada uno de los filtros, mientras que si estos están en **serie**, la capacidad será la del filtro de menor capacidad. Así, conocida la capacidad de filtrado de cada filtro se sabrá cuantos filtros hay que instalar en paralelo o en serie dependiendo del caudal que debe de circular por la red. **La estación de filtrado debe sobredimensionarse siempre** (al menos un 50%). Los fabricantes suelen dar las capacidades de filtrado con aguas relativamente limpias, muy superiores a las prestaciones

cuando se emplean aguas sucias, situación que se presenta en muchas ocasiones. También hay que tener en cuenta que no siempre los filtros resuelven totalmente el problema de las obturaciones, en especial en lo referente a las **obturaciones por precipitados químicos**. En este caso debe combinarse el filtrado con el tratamiento químico del agua, fundamentalmente la **acidificación**, y en ocasiones incluso recurrir a combinar el filtrado con una **aireación** previa, muy enérgica, del agua de riego, siendo siempre recomendable la aireación en los casos en que el agua contiene **hierro** o **ácido sulfhídrico**.

Para **evitar las obstrucciones** de diverso tipo se colocan una serie de tipos de filtrado en el cabezal, cada uno de ellos con unas prestaciones diferentes (hidrociclones, filtros de arena, filtros de anillas o mallas, etc.). Como hemos dicho anteriormente, si el agua acarrea gran cantidad de impurezas sólidas se la debe hacer pasar previamente por un **decantador**.

5.1 Hidrociclones

En ocasiones, y especialmente cuando se emplea agua bombeada directamente de pozos que explotan un acuífero en materiales arenosos, es frecuente el arrastre de **arenas de granulometría fina** que provocarían problemas importantes si no se eliminaran. Además habría que realizar un gran número de operaciones de limpieza que ocasionarían pérdidas de agua e interrupciones de riego, y que aún en el caso en que se automatizara la limpieza, ello siempre aumentaría el coste de la instalación y generaría importantes pérdidas de agua.

En este caso, y antes del paso del agua por los filtros de arena y los de mallas o anillas, es totalmente necesario la instalación de **hidrociclones**, cuya utilidad es separar las partículas de arena y elementos sólidos más pesados que el agua. Se trata de decantadores que pueden llegar a eliminar hasta el 98 % de las partículas sólidas con un peso específico superior al del agua, y con un tamaño superior a 0,1 mm de diámetro.

El **hidrociclón** (**figura 9.3**) es un recipiente metálico sin elementos móviles que retiene las impurezas sólidas. La mayoría de los hidrociclones son de forma troncocónica en la parte central

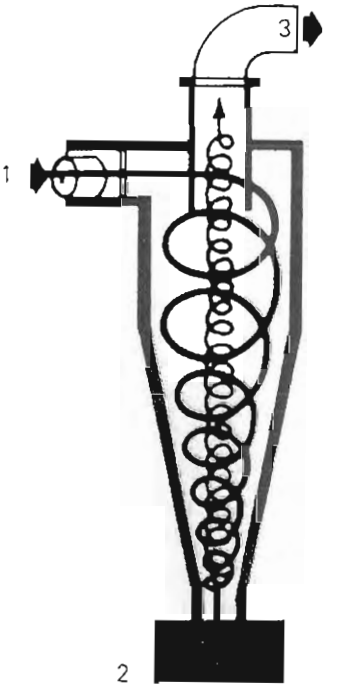


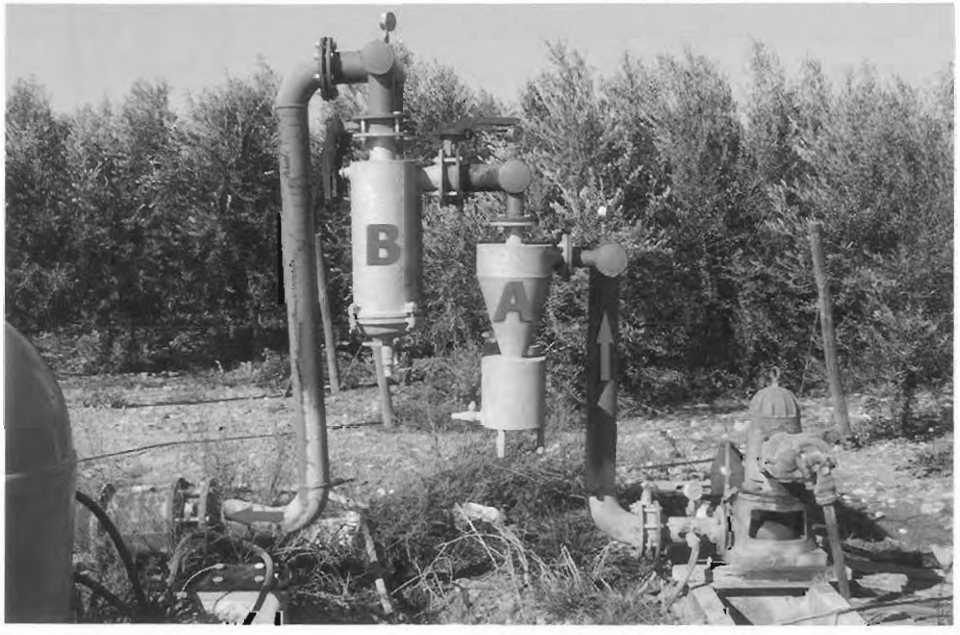
Figura 9.3: Esquema de la trayectoria del agua en un hidrociclón y la forma de separación de partículas sólidas (arena fundamentalmente) que se encuentran en suspensión en el agua de riego. (1) entrada del agua; (2) depósito colector donde se almacenan las partículas separadas; (3) salida del agua sin partículas sólidas. (Cortesía de Regaber, S.A.)

y de forma cilíndrica en sus extremos. El agua entra de forma tangencial por la parte superior del hidrociclón, siguiendo el agua un movimiento en forma de espiral, generando un remolino vertical, turbulento y descendente cuya fuerza centrífuga proyecta las partículas de arena en suspensión contra las paredes del hidrociclón, depositándose estas partículas en su parte inferior al perder velocidad, mientras que el agua sale por el extremo superior, tal como vemos en el esquema de la figura.

La selección del **modelo de hidrociclón** a instalar se debe hacer teniendo en cuenta el tamaño de las partículas que pueden ser retenidas, que es función del diámetro del cuerpo. En la siguiente tabla se dan los valores orientativos del tamaño de las partículas retenidas en función del diámetro del hidrociclón.

Tamaño de partículas (micras)	Diámetro del hidrociclón (pulgadas)
2-10	1/4 - 1/2
5-20	1/2 - 4
20-60	6-12
60-70	16-30

Debe tenerse en cuenta igualmente el caudal a filtrar, existiendo en el mercado modelos desde 10 a 150 m^3/hora por unidad, con posibilidad de instalar varios hidrociclones en paralelo para filtrar el caudal necesario. La mayoría de los constructores aconsejan una presión



Fotografía 9.9: Estación de filtrado compuesta por un hidrociclón (A) y un filtro de malla con efecto hidrociclónico (B). Este tipo de cabezales de filtrado se emplean cuando el agua (de pozo en este caso) transporta partículas de arena en suspensión.

máxima de trabajo de 8-10 kg/cm^2. Para que la separación de las partículas de arena sea eficiente debe generarse una pérdida de carga del orden de 3 a 5 m.c.a. (= 0,3 – 0,5 kg/cm^2).

En este caso **nunca debe sobredimensionarse el equipo si queremos conseguir una máxima eficacia** en la separación de partículas sólidas. La instalación de un mayor número de hidrociclones que el necesario, o la instalación de hidrociclones de mayor capacidad, no permite generar la necesaria fuerza centrífuga del agua, que determina que las partículas sólidas se depositen, a su entrada, por lo que se disminuiría la capacidad de separación y por tanto la filtración no sería suficiente.

En ocasiones el tamaño de las partículas es tan pequeño que los hidrociclones no son capaces de eliminarlas, siendo en este caso necesario el empleo de decantadores.

Una vez que las partículas más gruesas se han eliminado, el agua pasa por un equipo de filtrado y quedará así lista para su distribución por la red.

5.2. Filtros

5.2.1. Filtros de arena

Se usan principalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión y el limo. Son especialmente recomendables para aquellas aguas que tengan problemas de algas debido a su exposición a la luz (embalses o conducciones al aire libre). Cuando las aguas son limpias suele prescindirse de la instalación de filtros de arena. Estos filtros están compuestos (**Figura 9.4**) por un tanque metálico, normalmente pintado con pintura anticorrosiva (epóxi en la actua-

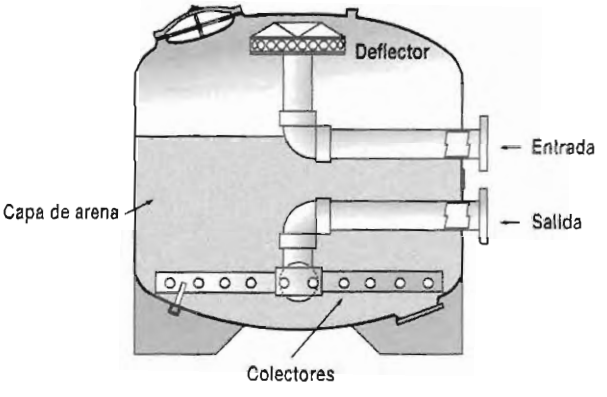


Figura 9.4: Sección esquemática de un filtro de arena y de su funcionamiento, donde se indica la entrada del agua sucia y la salida del agua ya filtrada.(Fernández *y col.*, 1999)

lidad) que asegure una resistencia a la intemperie y a la corrosión interna durante años, o fabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Suelen tener forma cilíndrica, y en su interior se pueden colocar una o varias capas de arena superpuestas, con granulometría variable entre 0,4 y 3 mm. La granulometría a emplear depende de la calidad de filtrado que se pretende conseguir, siendo recomendable un diámetro entre 0,8 y 1,2 mm. El espesor de la capa no debe ser nunca inferior a 50 cm.

Es importante decir que cuanto menor es la **granulometría de la arena** mejor es la **calidad del filtrado**, pero antes se ensucia el filtro, requiriéndose limpiezas más frecuentes. Lo normal es que toda la arena sea del mismo tamaño (una única capa de arena), aunque a veces se pueden colocar dos capas con distintas granulometrías, atravesando el agua primero la arena de mayor diámetro para retener las partículas más gruesas; aunque este sistema puede, a largo plazo, crear ciertos problemas, ya que tras un tiempo de funcionamiento la arena de ambas capas del filtro llega a mezclarse. Una arena de calidad aceptable para estos filtros es la procedente del **triturado de piedra silícea**, ya que las aristas son mayores y por tanto su superficie de limpieza también será mayor. **Un filtro de arena deja pasar partículas cuyo tamaño es 1/10 a 1/12 del diámetro efectivo de la arena**, requiriéndose una arena cuyo diámetro efectivo sea igual al diámetro mínimo del gotero. Por ejemplo, una arena de diámetro efectivo 0,75 mm retiene partículas superiores a 0,075 mm, equivalente a 200 mesh.

Los filtros de arena se instalan al principio del cabezal, **tras los hidrociclones** si éstos fuesen necesarios, conectados con la entrada del agua. Esta entra por la parte superior del filtro, atraviesa las mencionadas capas de arena, y sale filtrada por la parte inferior, para pasar después a los filtros de malla o anillas. Los filtros de arena pueden filtrar caudales de agua muy diversos, existiendo en el mercado modelos que filtran entre 5 y 250 m^3/hora, aunque la capacidad de filtración más corriente por unidad en riego por goteo oscila entre 20-70 m^3/hora.

Al dimensionar los filtros de arena de una estación de filtrado conviene tener en cuenta que su capacidad sea entre un 50 y un 100 % mayor que el caudal que realmente vamos a filtrar, teniendo en cuenta, a efectos de cálculo de la superficie filtrante, que la velocidad de filtrado no supere 50-60 m^3 / m^2, hora. Las pérdidas de carga generadas en el filtrado nunca deben superar los 3 mca (0,3 kg/cm^2)

El filtrado se produce como resultado de la actuación de varias acciones:

- retención de las materias de mayor tamaño que el de los poros del filtro en la capa superior de la arena.
- sedimentación de partículas favorecida por la baja velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de las partículas,
- por la adherencia y retención de las sustancias extrañas con los granos de arena por lo

que las impurezas queden atrapadas, y ello debido a la cohesión que se origina entre las propias partículas entre sí.

La retención de las impurezas se realiza en profundidad, iniciándose por las capas superiores que se van cargando de suciedad dejando pasar a las capas inferiores agua más limpia, hasta que transcurrido un cierto tiempo las capas inferiores de la arena también se ensucian, por lo que la capacidad de filtrado disminuye y la pérdida de carga en el filtro se incrementa, lo que obliga a proceder a su lavado para devolver al filtro las condiciones de filtrado iniciales, por lo que es necesario remover periódicamente la arena y forzar contralavados cuando se produzcan pérdidas de presión superiores a 0,5 kg/cm^2.

El **funcionamiento de un filtro de arena** es el siguiente (**figura 9.4**):

El agua sucia entra por la parte superior del filtro y desciende a través del lecho filtrante de arena. El filtrado se realiza al ir quedando absorbidas las partículas sólidas a lo largo del sinuoso lecho filtrante. Cuando el agua filtrada llega a la parte inferior del paquete de arena se recoge en un colector de salida, a través del cual se envía el agua hasta los filtros de malla o anillas. El lecho filtrante de arena queda retenido dentro del filtro gracias a unas **crepinas**, **brazos filtrantes**, etc. con pequeñas ranuras, pequeños agujeros o pasos de agua. Las partículas sólidas se van quedando retenidas en el lecho de arena. A medida que se incrementa la suciedad retenida en arena o crepinas se incrementa también la pérdida de carga del filtro.

El **contralavado de los filtros de arena**

Cuando aumenta mucho la pérdida de carga en el filtro, debe realizarse la limpieza del mismo. Dicha limpieza se realiza por inversión del flujo del agua, haciéndola circular de abajo a arriba. El lavado se realiza con agua limpia solamente cuando hay instalados más de dos filtros. Con el contralavado el agua arrastra la suciedad acumulada en el filtro. El agua cargada de sedimentos sale a través de la válvula de drenaje hacia el exterior, fuera de la instalación.

La **limpieza de los filtros de arena** puede ser manual o automática, realizándose la limpieza cuando la arena se aglutina y reduce el paso del agua. En explotaciones con un solo filtro en el cabezal de riego, éste se limpia con agua que no ha sido previamente filtrada. siendo conveniente instalar como mínimo dos filtros de arena, conectados de tal forma que el contralavado de uno se realice con agua filtrada del otro y viceversa (**figura 9.5**). Cada uno de los filtros debe tener capacidad suficiente como para filtrar la totalidad del agua que demanda la instalación. En explotaciones extensas y manejando grandes caudales de agua se utilizan siempre varios filtros conectados en paralelo. Siempre es necesario que exista un colector provisto de una válvula para la evacuación fuera del cabezal del agua sucia generada por la limpieza de los filtros.

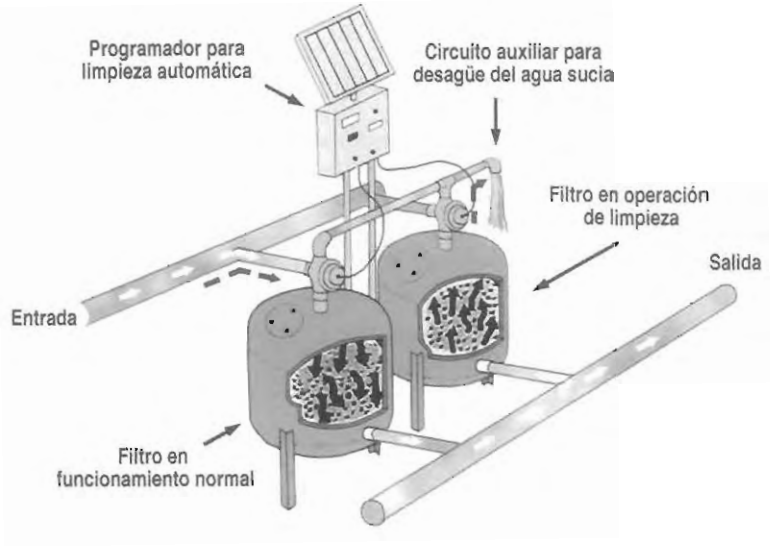


Figura 9.5: Representación esquemática del proceso de limpieza automática de una unidad de filtrado compuesta por dos filtros de arena invirtiendo el flujo de agua.(Fernández *y col.*, 1999).

Los filtros de arena se han de limpiar como mínimo una vez por semana, o antes si los manómetros instalados previo y a continuación del filtro indican una caída de presión mayor de **0,5 kg/cm²**. Esta diferencia de presión se produce debido a la suciedad acumulada, ya que el agua traspasa el filtro con mayor dificultad, reflejándose esta pérdida de carga en el manómetro. El filtro **siempre** debe limpiarse cuando no está demasiado sucio, pues cuando la diferencia de presión entre entrada y salida es demasiado grande (el filtro está muy sucio) la limpieza es muy dificultosa. Es importante que cada cierto tiempo se remueva manualmente la arena del filtro, lo que evitará la formación de conductos preferenciales de circulación de agua sucia, lo que reducirá la calidad de filtrado.

La **renovación de la arena** habría que hacerla cuando la suciedad acumulada no se elimina con la operación de contralavado, con lo que se entorpece el correcto funcionamiento del filtro. Es oportuno reponer la arena-gravilla todos los años o mucho antes si las condiciones de trabajo realizado por el filtro así lo aconsejan. Cuando se emplean aguas muy calizas las arenas llegan a cementarse y la eliminación de la cal por acidificación es prácticamente imposible.

La **arena** debe tener ciertas características de:

- granulometría,
- friabilidad y
- resistencia al ataque ácido,

para que pueda ser considerada adecuada para su empleo como lecho filtrante. Debe exigirse que el suministrador de la arena certifique dichas características.

La **granulometría** de la arena debe ser uniforme. El parámetro que mide dicha característica es el **coeficiente de uniformidad**, que se determina a partir de la curva granulométrica de la arena, y cuyo valor debe estar comprendido entre 1,5 y 1,8 siendo aconsejable que dicho coeficiente sea menor de 1,6.

El **diámetro efectivo de la arena** es el tamaño de las partículas que puede retener el filtro, y se determina también a partir de la curva granulométrica de la arena. Para evitar posibles obturaciones, el diámetro efectivo de la arena debe ser igual al diámetro mínimo del paso del emisor.

La **friabilidad** es la característica que mide la resistencia de la arena a la fracturación. Una arena es friable cuando se fractura fácilmente, variando con el transcurso del tiempo de filtrado su granulometría y sus características filtrantes. La friabilidad de una arena se determina a partir de la curva granulométrica tras someter la arena en un triturador a dos series de 750 y 1.500 golpes, comparando posteriormente con la curva original. En función de los valores obtenidos en el ensayo de friabilidad, se puede dar la siguiente clasificación de las arenas:

CLASIFICACIÓN DE LA ARENA	FRIABILIDAD	
	Tras 750 golpes	Tras 1.500 golpes
Muy buena	6 – 10	15 – 20
Buena	10 – 15	20 – 25
Mediocre	15 – 20	25 – 35
Rechazable	> 20	> 35

Por último, la arena debe ser **resistente al ataque de los ácidos**. Tras poner una muestra de arena durante 24 horas en una solución con ácido clorhídrico al 20 %, la pérdida de peso producida debe ser inferior al 20 %.

Dimensionado del equipo de filtrado de arena

Para el dimensionado del equipo de filtrado de arena para una determinada instalación es necesario, en primer lugar, calcular la sección circular del filtro (**S**):

$$S = \frac{Q}{v}$$

siendo Q = caudal a filtrar mayorado en un 50 % (coeficiente de seguridad) expresado en m^3/h, y v = velocidad máxima del agua = 60 m/h (de modo que no se supere el caudal recomendado de 60 m^3/h por cada m^2 de superficie de filtro).

Luego la superficie filtrante del lecho de arena será:

$$S\ (m^2) = \frac{1{,}50\ x\ Q\ (m^3\ /ha)}{60}$$

$$S\ (m^2) = \frac{\pi\ x\ D^2}{4}$$

D = diámetro de la sección transversal más estrecha del filtro, expresado en metros

$$D = \sqrt{\frac{4\ x\ S}{\pi}}$$

Ejemplo: si se quiere filtrar un caudal de 100.000 litros / h (= 100 m^3 / h), el equipo de filtrado de arena a emplear debe tener una superficie de:

$$S\ (m^2) = \frac{1{,}50\ x\ 100\ (m^3\ /\ ha)}{60} = 2{,}50\ m^2$$

Para conseguir esta superficie de filtrado y teniendo en cuenta que podría ser recomendable la automatización de la limpieza de la estación de filtrado, posibilitando que dicha limpieza se realice siempre con agua limpia, se opta por la solución de **instalar tres filtros**, de modo que la superficie de filtrado de cada uno sea:

$$S\ (m^2) = \frac{2{,}50\ m^2}{2\ filtros} = 1{,}25\ m^2\ /\ filtro$$

El diámetro interior de cada filtro será:

$$D = \sqrt{\frac{4\ x\ 1{,}25}{\pi}} = 1{,}265\ m$$

Luego para filtrar los 100.000 litros / h se instalarán tres filtros de arena de 1,265 m de diámetro, por lo que una vez consultados los catálogos de diferentes fabricantes se opta por la opción de instalar 3 filtros de 48".

5.2.2. Filtros de malla

Estos filtros deben colocarse a la salida del agua en el cabezal de riego, después del punto de aplicación de los fertilizantes. Y en las instalaciones clásicas, y cuando se filtran aguas relativamente sucias, a continuación de los decantadores y de los filtros de arena.

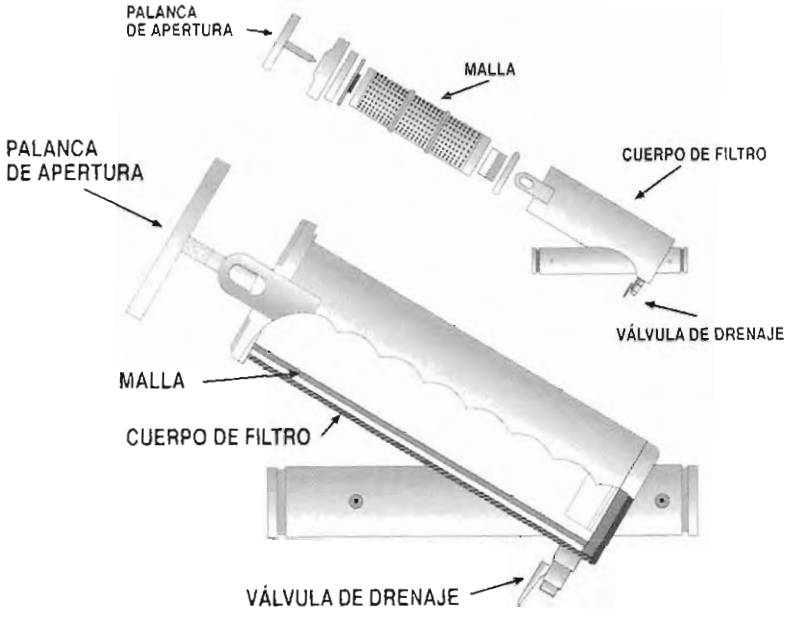


Figura 9.6: Esquema que muestra un filtro de malla y sus principales componentes (Fernández *y col.*, 1999).

Los filtros de mallas retienen todo tipo de **sólidos en suspensión** y se instalan solos cuando se emplean aguas relativamente limpias, o como complemento a los filtros de arena. Las impurezas del agua se retienen en la superficie de unas mallas dotadas de orificios de pequeño tamaño. Estos filtros son de forma cilíndrica, con una carcasa (**figura 9.6**) construida en PVC o de chapa de acero o fundición, o incluso en acero inoxidable. Se fabrican y protegen de forma que no puedan ser atacados por los fertilizantes y/o sales disueltas en el agua. En el interior se encuentra un cartucho de **malla filtrante** construido de acero inoxidable, poliamida, poliéster, nailon, etc. sobre un **soporte de PVC convenientemente agujereado** para permitir el paso del agua.

El filtrado (**figura 9.7**) se realiza al atravesar el agua la superficie filtrante formada por mallas cilíndricas, quedando retenidas, en su superficie, las partículas cuyo grosor es mayor que los orificios de estas mallas. Cuanto mayor sea el diámetro de los orificios de la malla, menor será la superficie efectiva de filtración. En la capacidad de filtración influye además la disposición y forma geométrica de los orificios, así como la relación entre la superficie total de las perforaciones y la superficie total del filtro, de tal forma que cuanto mayor sea dicha relación, la filtración es mejor. Los filtros de malla no son adecuados para retener partículas muy pequeñas o partículas coloidales.

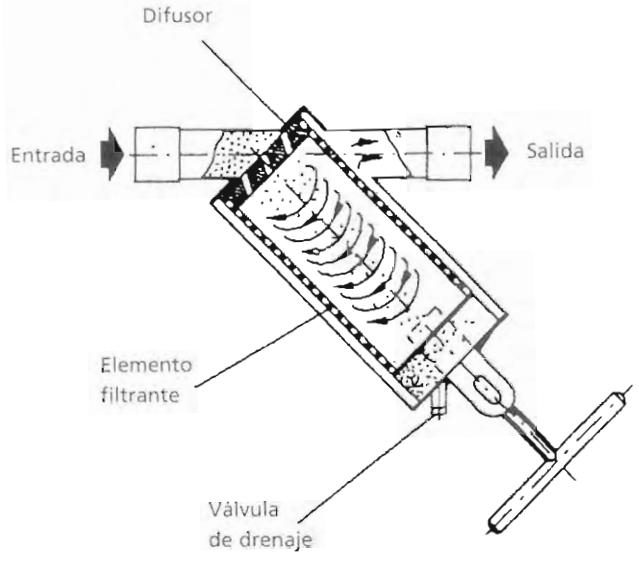


Figura 9.7: Esquema del funcionamiento de un filtro de mallas. El agua proveniente de la tubería penetra en el interior del cartucho de malla y se filtra a través de sus paredes parando a la periferia del filtro y posteriormente a la conducción de salida. Las partículas filtradas quedan retenidas en la cara interior del cartucho de malla. (Ávila *y col.*, 1996)

Los filtros de malla pueden filtrar caudales muy diversos, los fabricantes nos informarán de la capacidad de filtrado de cada modelo, lo que permitirá elegir el que mejor se adapte a nuestras necesidades. La pérdida de carga en un filtro limpio es variable, entre 0,1 - 0,5 kg/cm^2, aunque los valores entre 0,1 y 0,3 son los más frecuentes, dependiendo para un determinado modelo del caudal filtrado. Los filtros hay que limpiarlos cuando la diferencia de presión entre la entrada y salida del agua sea mayor de 0,4 kg/cm^2, tomando como referencia la pérdida de carga que se produce en condiciones normales de trabajo con el filtro totalmente limpio. Si dejásemos que el filtro se ensucie más (diferencias de presión superiores a 0,5 kg/cm^2) luego es muy difícil de limpiar, al incrustarse las impurezas en la malla.

La limpieza de estos filtros normalmente se realiza de forma manual con la frecuencia que la experiencia aconseje en cada caso y teniendo en cuenta las pérdidas de carga observadas entre la salida y entrada a filtro (mayores de lo recomendado anteriormente), existiendo la posibilidad de automatizar las limpiezas rutinarias. **Si se emplean aguas *limpias*** y las limpiezas se hacen manualmente, siempre conviene comprobar con frecuencia que la malla está limpia. Para su limpieza hay que desmontar el filtro y someterlo a una corriente de agua a presión. Si se hiciese por contralavado debe abrirse la parte inferior para que ésta pueda arrastrar las impurezas. En caso de ser preciso, para limpiar las mallas pueden emplearse cepillos de plástico, pero nunca cepillos de púas metálicas, ya que dañarían las mallas. El lavado por inmersión en agua acidulada con ácido nítrico o clorhídrico rebajado al 30 % es recomendable cada cierto tiempo (10 -- 15 días), especialmente cuando se riega con aguas con un cierto contenido en bicarbonato cálcico.

En los **filtros de mallas con lavado automático** se produce una inversión del flujo del agua, de tal forma que al invertir el sentido del recorrido normal del agua a través del filtro, ésta corriente arrastra en su recorrido la mayor parte de la suciedad acumulada en la superficie de la malla. Como más adelante se describe, el sistema de **limpieza automática** se realiza por medio de la apertura y cierre de válvulas que hacen invertir el flujo del agua, accionándose dichas válvulas automáticamente en función de la suciedad acumulada, lo que el sistema detecta al producirse una diferencia de presión, previamente fijada.

La malla filtrante deberá elegirse en **función del tamaño del conducto interno del gotero**, es decir, que cuanto más estrecho sea el conducto por el que debe pasar el agua en el emisor, más pequeño debe ser el tamaño de los orificios de la malla, para que de este modo se separen incluso las partículas más pequeñas. El tamaño de los orificios de la malla (**tabla 9.2**) se mide por el **número de mesh** (número de orificios en una pulgada lineal), teniendo en cuenta que a mayor número de mesh menor es el tamaño de los orificios. En general se recomienda que los orificios de la malla **no sean mayores que la décima parte del tamaño del conducto del emisor.** Para la elección de un filtro se debe saber que el flujo de agua debe ser del orden de **24-36 m³ por minuto y por cada metro cuadrado de superficie filtrante**. El fabricante debe informarnos sobre la superficie filtrante (área efectiva de su filtro), que es el porcentaje de la superficie total del filtro que realmente filtra. Si no se conoce este dato utilizar como superficie filtrante efectiva el 30% de la superficie total.

Tabla 9.2: Relación entre el número de mesh y el tamaño de orificios de la malla de acero inoxidable del filtro

Número mesh	Orificio (mm)
60	0,25
80	0,18
100	0,15
115	0,12
150	0,10
170	0,09
200	0,075
250	0,063

Con la ayuda de estos datos podemos determinar el tipo de malla y la superficie filtrante del filtro de malla de acero inoxidable que debemos instalar. Por **ejemplo**, si quisiéramos filtrar un caudal de 950 litros / minuto y conocemos que el diámetro mínimo del conducto interior del gotero es 0,9 mm y el fabricante nos informa que el área efectiva de la malla es el 30% del área total, la elección del filtro viene determinada por:

Orificio que debe tener la malla: 0,90 mm / 10 = 0,090 mm.

Por esta razón (**tabla 9.2**) debemos utilizar una malla de **170 mesh**)

Q = 950 l/min = 0,95 m^3/min

$$S = \frac{0{,}95 m^3 / \min}{24\ m^3 / m^2 . \min} = 0{,}0396\ m^2$$

Como el área efectiva es el 30 %, la superficie efectiva necesaria (**A**) a instalar será:

A = S / 0,30 = 0,0396 / 0,30 = 0,13 m^2

5.2.3. Filtros de anillas

Su función es también la de atrapar todo tipo de **sólidos en suspensión contenidos** en el agua de riego. Los filtros de anillas o de discos tienen la misma aplicación que los filtros de mallas, utilizándose indistintamente unos y otros como complementarios al filtrado de arena. En el diseño de la estación de filtrado debemos asegurarnos que no pasen partículas de arena hacia los filtros de anillas. Si el agua tuviese arena en suspensión debe instalarse un **hidrociclón inmediatamente delante del filtro de anillas (ver fotografía 9.9)**.

En este tipo de filtros los elementos del filtrado están hechos a base de multitud de anillas planas y finas, construidas en polipropileno. Estas anillas tienen la superficie ranurada, y en su posición de trabajo están unas sobre otras, unidas entre sí y apretadas, formando un cuerpo compacto y cilíndrico, constituyendo un conjunto filtrante de gran superficie que retiene partículas sólidas, no orgánicas, en suspensión (**figura 9.8**). Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según el tipo de anillas utilizadas.

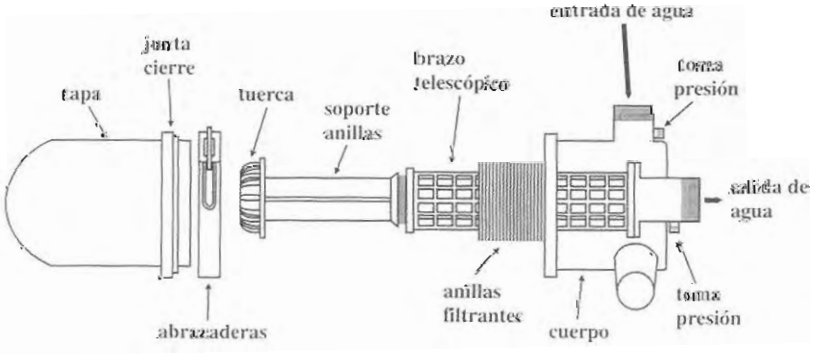


Figura 9.8: Componentes de un filtro de anillas. Este sistema de filtración proporciona una excelente calidad de filtrado.(Fuente: Esperilla Fernández, 1998).

Los pasos de agua en un mismo tipo de anillas son máximos donde la ranura de una anilla coincide con la estría del otro disco, y mínimos donde una estría coincide con el espacio entre dos ranuras. Este paso es el que define el grado de filtración de las anillas. Los mismos pasos se repiten a lo largo de la sinuosa trayectoria del agua en su camino desde fuera del cuerpo del cartucho filtrante hacia el interior en el proceso de filtrado.



Fotografía 9.10: Batería de filtros de anillas en paralelo. A la izquierda (en el centro de la imagen) uno de los filtros desmontado y desprovisto de la carcasa (ver figura 9.8). Obsérvese el paquete de discos ranurados filtrantes (color rojo = 130 mesh) que constituyen el cartucho de filtrado. En la fotografía de la derecha la misma batería de filtrado en pleno funcionamiento; se ha colocado una carcasa transparente para poder ver el funcionamiento del filtro.

El área de las anillas y la superficie de orificios influye en la calidad de filtrado, igual que en los filtros de malla. Estos filtros son capaces de retener grandes cantidades de suciedad, dependiendo el filtrado del número de ranuras de las anillas. Igual que en el caso de los filtros de mallas, los de anillas se instalan después de los puntos de inyección de los fertilizantes. Últimamente, y debido a la calidad de filtrado que proporcionan, los filtros de anillas están desplazando a los de mallas en muchas ocasiones.

Los filtros de anillas se conectan en línea, solos o en paralelo, atravesando el agua todo el cuerpo del filtro de fuera a dentro, quedando retenidas las partículas de mayor tamaño entre los orificios de sus anillas.

Estos filtros pueden trabajar con presiones de hasta 10 atmósferas, tienen una capacidad de filtración variable, según fabricante y modelo. La pérdida de carga de un filtro limpio debe ser como máximo de 0,2 kg/cm^2 para una densidad de malla que oscila frecuentemente entre 50 y 200 mesh.

Para su limpieza manual se desmontan aflojando la carcasa exterior que envuelve las anillas, separando posteriormente éstas y limpiándolas con agua a presión. Es posible conseguir que su limpieza pueda hacerse de forma automática, y en este caso no es necesario desmontarlos ni interrumpir el riego durante su autolimpieza, ni reducir la presión y caudal del agua. Es conveniente limpiar los filtros al menos una vez por día o cuando la caída de presión indicada en los manómetros, instalados a la entrada y salida de este filtro, marque una diferencia igual o superior a 0,4 kg/cm^2 con respecto a la caída de presión característica del filtro limpio. El tratamiento periódico de las anillas con ácido también es necesario en este caso, siguiendo las instrucciones que se dieron para los filtros de malla.

Las anillas de filtrado estándar suelen tener tamaños de orificio de 75 mesh (anillas color **verde**) , 120 mesh (anillas color **rojo**) ó 150 mesh (anillas color **amarillo**) . La capacidad de filtrado de un filtro de anillas depende del número de ranuras que contengan las anillas, así como del tamaño de dichas ranuras. El tipo de anillas a colocar en el filtro también depende del diámetro de salida del agua en los emisores, adoptándose también el criterio de que el paso de agua del filtro no sea superior a la décima parte del tamaño del conducto del emisor.



Fotografía 9.11: Detalle de los discos del cartucho de filtrado de un filtro de anillas.

5.2.4.- Filtros hidrociclónicos de mallas

Son filtros de malla o anillas que llevan una placa en la entrada de agua al cartucho filtrante que hace girar tangencialmente al agua con un efecto parecido al hidrociclón. Los sólidos, limos y materiales en suspensión son arrastrados por el flujo hasta un depósito o un colector de salida que los recoge y los conduce al exterior para su vertido (ver fotografía 9.9).

5.2.5.- Filtros hidrociclónicos de anillas

Recientemente apareció en el mercado este tipo de filtro dotado de una **hélice,** ubicada en la base del cartucho, que dispone de unas aletas deflectoras que con un ángulo de inclinación determinado consiguen un movimiento rotacional del agua (**figura 10.9**). Este movimiento helicoidal genera una gran fuerza centrífuga sobre las partículas que lleva el agua en suspensión, que las proyecta hacia las paredes interiores de la carcasa. Esta centrifugación del agua antes de pasar a ser filtrada por las anillas provoca que las partículas en suspensión, incluso la arena, se separen desplazándose hacia el fondo de la carcasa por donde pueden ser eliminados a través de un colector de desagüe de las impurezas fuera del cabezal.

Finalmente el agua, ya libre de la mayoría de los elementos sólidos, penetra en el cartucho a través de la única vía posible: los canales en los discos ranurados, en donde tiene lugar una limpieza en profundidad. El agua filtrada se dirige hacia la boca de salida, entrando a continuación en la red de riego.

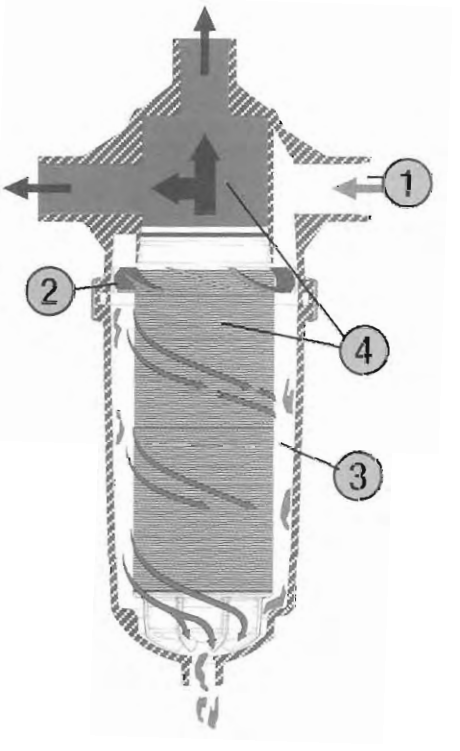


Figura 9.9: Esquema de funcionamiento de un filtro de anillas con efecto hidrociclónico.El agua se introduce en el filtro a través de la boca de entrada (1); al pasar a través de la hélice (2), sus aletas deflectoras imprimen al agua un movimiento helicoidal que genera una fuerza centrífuga sobre las partículas en suspensión, proyectándolas sobre las paredes de la carcasa del filtro; la centrifugación del agua antes de ser filtrada provoca que las partículas en suspensión, incluso la arena, se separen (3), desplazándose hacia el fondo de la carcasa, por donde pueden ser eliminadas; el agua, ya libre de sólidos en suspensión, penetra a través del cartucho de filtración a través de los canales formados por los discos ranurados donde tiene lugar el filtrado: finalmente el agua filtrada se dirige hacia cualquiera de las bocas (4) de salida (Sistema AZUD Hélix® System).

5.2.6.- Filtros autolimpiantes automáticos

Debido a los problemas de manejo que ocasiona la limpieza de los filtros, en especial en las instalaciones de fincas grandes o comunidades de regantes, desde hace varios años se vienen instalando los llamados equipos de filtrado automáticos, que poseen mecanismos electrónicos que comandan válvulas eléctricas y/o hidráulicas que ponen en marcha el lavado en cuanto se detecta una cierta diferencia de presión entre la entrada y salida de la instalación de filtrado, diferencia que no debe ser nunca superior a 0,5 kg/cm^2, ya que cuando los filtros acumulan gran cantidad de impurezas se dificulta enormemente su limpieza. Existen **filtros autolimpiantes** de:

- mallas
- anillas

con sus ventajas e inconvenientes, dependiendo éstas del tipo de agua que se debe filtrar. Todos estos equipos básicamente incluyen un mecanismo de inversión de flujo y aprovechan la propia presión del agua en la red para expulsar la suciedad hacia un circuito de drenaje.

5.2.6.1.- Filtros de anillas automáticos autolimpiantes (fotografía 9.12)

Los filtros automáticos de **anillas** permiten la automatización completa del proceso de limpieza por contralavado, empleando un sistema de inversión de flujo más un mecanismo de separación de las anillas. Para que el filtrado sea continuo, sin necesidad de parar la instalación, es recomendable, aunque no absolutamente necesario, que se incluyan al menos dos filtros, en este caso con capacidad suficiente cada uno de ellos como para filtrar la totalidad del caudal. Cuando se instala una batería de varios filtros, la limpieza se hace filtro por filtro, en un orden establecido en la automatización.

En modo de filtración una batería de filtros de anillas automática funciona manteniendo las anillas fuertemente comprimidas entre sí, lo que se consigue tanto por la fuerza de un muelle como por un sistema de presión hidráulico, aprovechando en este caso la propia presión de entrada del agua al filtro. Los sólidos quedan retenidos en la superficie del elemento filtrante, realizándose una captura selectiva en función del ranurado de anillas seleccionado. Cuando se acumula cierta cantidad de suciedad en las anillas (aumento de la diferencia de presión entrada-salida del filtro) se desencadena el **proceso de limpieza**, que activa la válvula de contralavado, cambiándola de posición e invirtiendo el sentido de flujo en el interior del filtro. Simultáneamente las anillas se separan y unos chorros de agua tangenciales les imprimen un movimiento rápido de giro, liberando todas las partículas de suciedad retenidas. El agua de contralavado es expulsada al exterior por el colector de drenaje. Al finalizar el proceso de limpieza del filtro, la válvula de contralavado vuelve a su posición normal de filtrado.



Fotografía 9.12: Unidad de filtrado automático autolimpiante de gran capacidad de filtrado compuesta por diferentes filtros de anillas. Este tipo de unidades además de proporcionar una gran calidad de filtrado poseen una estructura compacta en torre que permite su ubicación en un espacio muy reducido. (Cortesía de Regabar, S.A.)

Cada cierto tiempo debe hacerse una limpieza en profundidad de las anillas, siendo recomendable su inmersión en agua acidulada, para eliminar las inscrustaciones, especialmente la cal adherida.

5.2.6.2.- Filtros de mallas automáticos autolimpiantes

Estos sistemas de filtrado tienen la ventaja de que con un solo filtro o un reducido número de unidades, con capacidad suficiente como para filtrar simultáneamente la totalidad del caudal, se mantiene un flujo ininterrumpido incluso cuando se efectúa la autolimpieza.

Básicamente el esquema de funcionamiento de un filtro de malla automático es el que se presenta en la **figura 9.10**. Tal como describe un fabricante (Mondragón) el agua penetra en el filtro por la **entrada** (1). Nada más entrar el agua en el filtro en primer lugar se prefiltra en una **criba** previa **de desbaste**(3) para eliminar elementos gruesos, pasando a continuación a la **malla fina** filtrante (4). En este tipo de filtros el agua se filtra desde dentro hacia fuera del cartucho filtrante, desde donde ya filtrada sale hacia la red de distribución a través de la **salida** (2). Conforme se acumula suciedad en la cara interior de la malla fina (4) aumenta la dife-



Fotografía 9.13: Estación de filtrado automatizada (ver programador en el centro) compuesta por dos filtros de malla automáticos autolimpiantes. Esta estación filtra un caudal de 15 l/segundo. (Cortesía Agrosystems Consorcios, S.A.)

rencia de presiones entre la entrada y salida del filtro. A una diferencia predeterminada de presión (no es recomendable nunca que sea superior a 0,5 kg/cm^2) el **controlador de autolimpieza (presostato diferencial)** (12) abre la **válvula de purga** (9), dando comienzo el ciclo de limpieza, creandose un fuerte flujo de contralavado hacia el exterior a través de la **descarga** (11). Dicho contralavado crea un efecto de succión en las boquillas (6) que limpian la cara interior de la malla fina, directamente delante de las aberturas de las **boquillas de succión**. A continuación el agua del contralavado fluye a través del **tubo colector** (7) mediante el **rotor hidráulico** (8) hasta la válvula de descarga, haciendo girar el conjunto del tubo colector de suciedad y a la boquillas de succión (6), solidarias con el colector (7). Debido al lavado, a medida que se elimina la suciedad de la malla fina el gradiente de presión desaparece. Esta bajada de presión de la cámara de rotores (5) y el drenaje del pistón obliga al conjunto del tubo colector a realizar un movimiento en sentido longitudinal (axial). La combinación simultánea del movimiento giratorio y el axial asegura que las boquillas de succión barran todo el interior de la malla fina arrancando las impurezas hacia el tubo colector. Al concluir la purga, se arranca automáticamente un segundo ciclo de purga, empujando al conjunto del colector hacia atrás, hasta adoptar la posición original. Durante el ciclo de limpieza una válvula hidráulica permite desalojar el agua sucia de la operación de lavado junto con las impurezas. El ciclo de purga combinado requiere entre 10 y 15 segundos.



Fotografía 9.14: Estación de filtrado compuesta por dos filtros de malla automáticos autolimpiantes. El sistema de filtración se muestra en la figura 9.10. Cada filtro es capaz de filtrar unos 300 m^3/hora. Las flechas indican la trayectoria del agua en el proceso de filtrado.

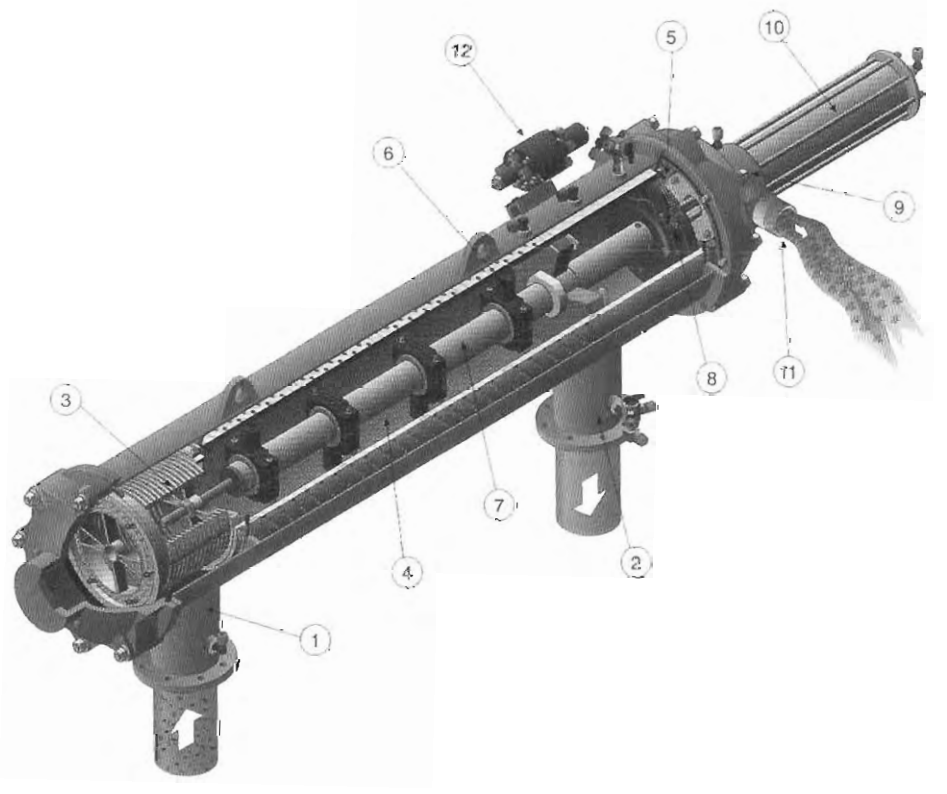


Figura 9.10: Esquema de funcionamiento de un filtro automático de malla (ver explicación de funcionamiento en el texto). (Sistema Filtromat. Cortesía de Mondragón, S.A.)

5.2.7.- Filtros auxiliares

No es frecuente instalar otro tipo filtros en el cabezal de riego. No obstante, es recomendable que se instale un pequeño **filtro de seguridad** conectado a la salida de la solución fertilizante, en los depósitos de abono líquido o solución nutritiva. Dichos filtros suelen ser de plástico, de anillas o mallas cilíndricas de poliéster, para que retengan las partículas sólidas e impurezas que pueden contener los abonos y que se hayan quedado en suspensión en la disolución y así evitar su entrada a la red. Dichas partículas filtradas se acumulan al final de la malla cilíndrica, de donde son expulsadas por medio de la apertura de una válvula. Igualmente Otros filtros podrían situarse en las **cabeceras de cada sector de riego** para retener las partículas que como consecuencia de la reparación de una avería y reparaciones de la red, así como **precipitados químicos** formados en la propia tubería después del filtrado, y que pueden llegar a los goteros y obstruirlos.

5.3.- El sistema de fertirrigación.

La **fertirrigación es una práctica imprescindible cuando se riega de forma localizada**. Consiste en la distribución del fertilizante junto con el agua de riego y **durante la gran mayoría del tiempo de riego**, lo que permite aportar al cultivo los elementos nutritivos necesarios para un desarrollo adecuado y en momento más adecuado.

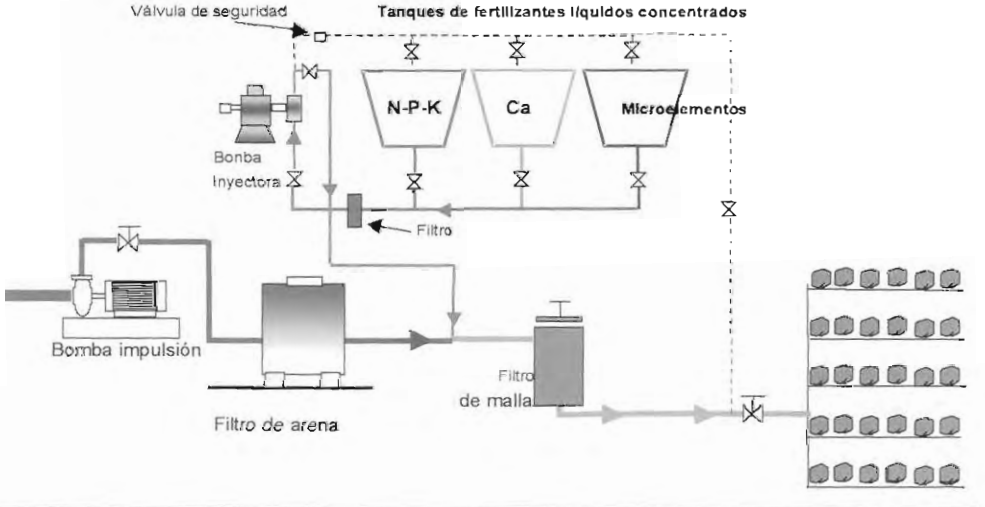


Figura 9.11: Esquema de dispositivo general para fertirrigación. Obsérvese la utilización de tres tanques para fertilizantes, uno para N-P-K, un segundo tanque para el Ca (no es compatible con fertilizantes NPK), y el tercer tanque para los microelementos. Obsérvese la ubicación de los filtros.

Lo más usual es que los elementos del **sistema de fertirriego** se instalen en el cabezal de riego. Sin embargo, en determinadas ocasiones se colocan en cabecera de cada unidad de riego si el sistema riega diferentes cultivos con distintas necesidades de abonado, u olivares con diferentes capacidades productivas debidas al tipo de suelo, desarrollo de los árboles, marco de plantación, etc. Es indispensable que la inyección del fertilizante se haga después del sistema de filtrado basto (hidrociclón y/o arena) y siempre antes de la unidad de filtro/s de malla o anillas.

Los equipos de fertirrigación deben estar compuestos por los siguientes elementos (**figura 9.11**):

- un **depósito para disolver los fertilizantes**, si se van a emplear fertilizantes sólidos solubles, equipado con el correspondiente **agitador** mecánico o una **bomba de soplado**;
- **depósitos de almacenamiento** de abonos líquidos de suficiente capacidad, uno para N-P-K y otro para el calcio si este fuese necesario; también sería necesario incluir un tercer depósito si se van a aportar micronutrientes.
- un **inyector** del fertilizante en la red de riego (procurar no inyectar nunca en una tubería metálica, procurar hacerlo siempre en PVC o PE;

5.3.1.- Dispositivos para inyectar fertilizantes

5.3.1.1.- Tanques de fertilización

Este tipo de dispositivo para la inyección de abonos sólidos está hoy en día en desuso. En esencia se trata de depósitos que están conectados en paralelo a la tubería de riego. El fertilizante se incorpora a la red de riego por diferencia de presión entre la salida y la entrada del tanque fertilizante gracias a una válvula de regulación instalada en la tubería general de la red de riego, entre las derivaciones de entrada y salida al tanque Este sistema de inyección de fertilizante tiene el problema de su dificultad para automatizar el proceso. El material en que suelen estar construidos estos tanques suele ser plástico o metálico (acero inoxidable), y existen diferentes sistemas de inyección. El más habitual es aquel en el que la concentración va disminuyendo conforme se va inyectando fertilizante al sistema

5.3.1.2.- Inyectores tipo Venturi

Básicamente consisten en un tubo conectado en paralelo a la tubería principal, con un estrechamiento donde se produce una succión que hace que el fertilizante pase desde tanque hasta la red de riego. Al igual que los tanques de fertilizante, no necesitan energía para su funcionamiento, pero generan una gran perdida de carga del orden de 0,7 a 1,0 kg/cm^2. Gracias al efecto Venturi, producido por un aumento de la velocidad en el estrechamiento del tubo, se produzca una presión negativa (succión) de la solución fertilizante contenida en un tanque, por lo que a continuación se inyecta la solución nutritiva en la red de riego. El caudal de fer-

tilizante que inyectamos en la red depende del caudal que circula por la conducción. Nunca se debe dejar agotar el deposito de fertilizante ya que se produciría una succión de aire que podría provocar problemas en la instalación si no se han instalado ventosas que permitan expulsar el aire inyectado. Este tipo de inyector está en desuso en la actualidad.

5.3.1.3.- Bombas inyectoras eléctricas

El esquema de instalación de este tipo de bombas de inyección en un cabezal de fertirrigación se muestra en la **figura 9.12.** Estas bombas de inyección están accionadas por un motor eléctrico. Existen en el mercado inyectores que pueden ser de pistón o bien de membrana, en ambos casos la inyección del fertilizante se realiza a pulsos, estando construido el mecanismo inyector en materiales muy resistentes a la corrosión química. Existe una amplia gama de modelos, con caudales de inyección que abarcan también un amplio rango. Las presiones de impulsión suelen ser elevadas, suficientes como para inyectar la solución nutritiva en una red en la que el agua circula a una determinada presión. Los modelos más usuales suelen trabajar entre 3 y 10 kg/cm^2 (algunos fabricantes llegan hasta 15 kg/cm^2), por lo que en el circuito de inyección debe montarse tuberías fabricadas en material resistente a la corrosión y capaces de soportar grandes presiones, lo que se hace extensivo a todos los componentes del circuito de inyección: válvulas, válvulas de retención, ventosas, etc.

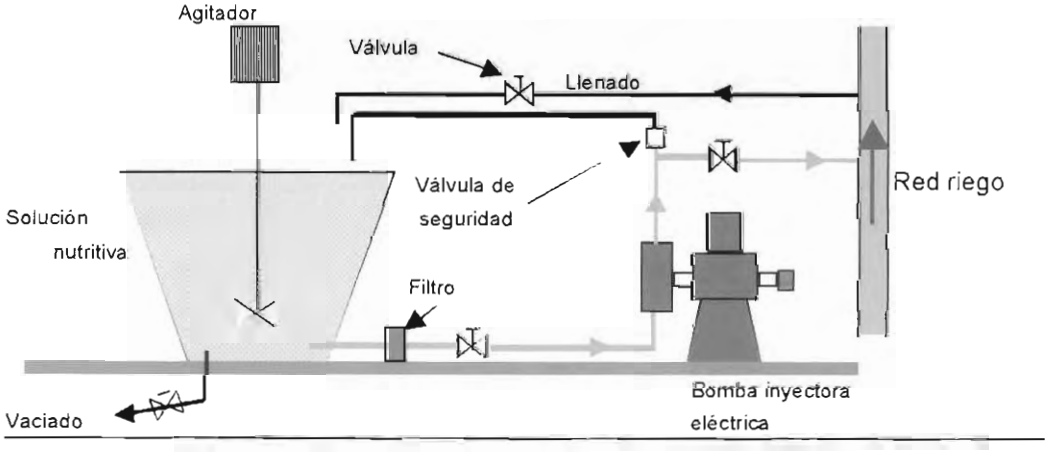
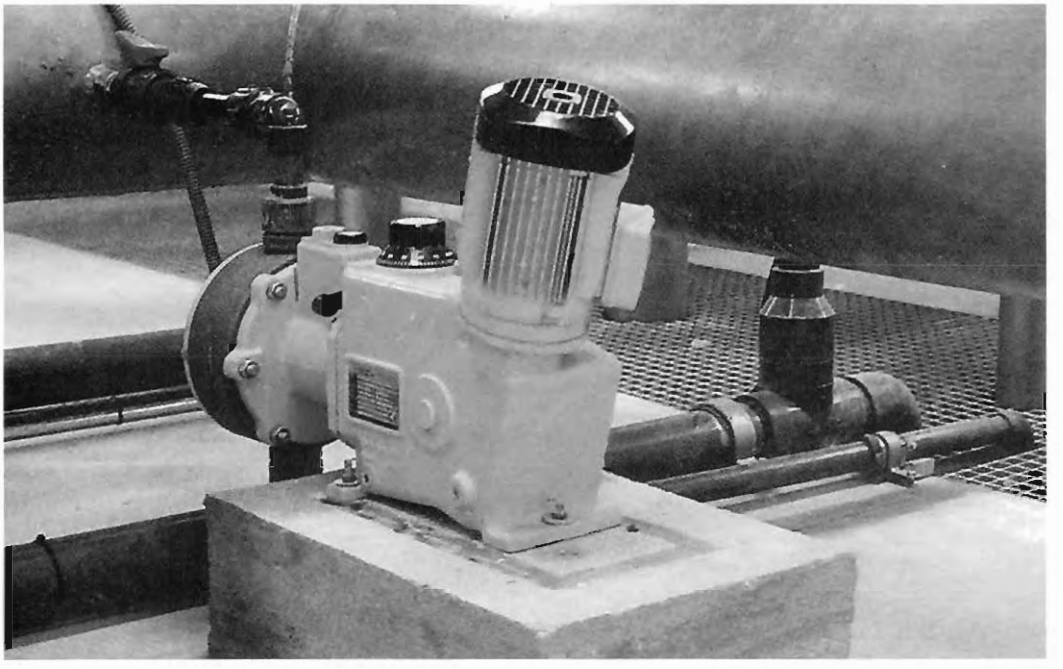


Figura 9.12: Esquema de instalación para fertirrigación empleando una bomba inyectota eléctrica. Obsérvese la colocación del agitador, filtro para la solución fertilizante, válvula de seguridad y válvulas de aislamiento. Aguas abajo del punto de inyección del fertilizante estará situado el sistema de filtación general de la instalación tal como se detalla en la figura 9.11.





Fotografía 9.15: Inyector eléctrico de fertilizantes líquidos (amarillo) en una cabezal de riego de una comunidad de regantes de olivar de la provincia de Jaén. Obsérvese en la foto de arriba que el punto de inyección se sitúa tras el filtro de arena y por delante del filtro de malla. En la fotografía de abajo detalle de la bomba de inyección. Advertencia: la inyección del fertilizante en una tubería metálica nunca debería de realizarse, habría que hacerlo en PVC. En este caso se ha resuelto utilizando un inyector de acero inoxidable en el centro de la vena líquida, lo cual evita los problemas de corrosión química.

5.3.1.4.- Inyectores hidráulicos

Este tipo de inyector (**figura 9.13**) utiliza el agua a presión de la red para la inyección del fertilizante en la tubería de riego, sin que en este caso se produzca ningún tipo de pérdida de carga en la red distribución del agua. Para que el inyector funcione correctamente se necesita una presión mínima en la red. La carrera del pistón es fija por lo que la modificación del caudal inyectando se produce debido al número de emboladas por minuto, que va a depender de

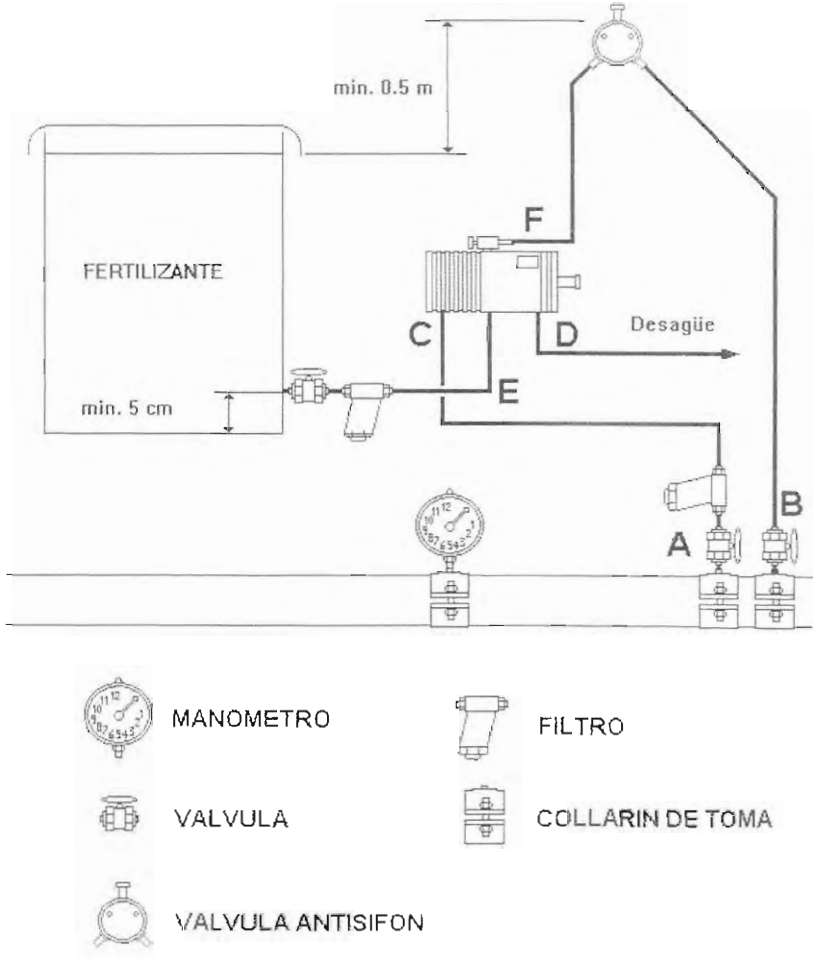


Figura 9.13: Esquema de la instalación de un inyector hidráulico de fertilizantes. En el punto A y mediante un collarín de toma, el agua a presión de la red se filtra (filtro de 120 mesh) y se conduce utilizando una manguera de presión flexible hasta el inyector hidráulico (C), esta agua activa el funcionamiento del inyector. La solución fertilizante, una vez filtrada (filtro de 120 mesh), por aspiración llega al inyector (E). La bomba impulsa a presión la solución fertilizante (F) y a través de una manguera de presión flexible se inyecta en la red de riego en el punto B, aguas abajo del punto A de toma. El inyector está dotado de una válvula antirretorno. El agua consumida por el inyector es evacuada al exterior a través del conducto D, hacia una tubería de evacuación. En el tramo F-B debe colocarse una válvula antisifón (Cortesía de ITC, S.L.).

la presión con que el agua circula por la red de riego. En su funcionamiento, este inyector consume una cierta cantidad de agua (unas dos veces el volumen de abono líquido inyectado), agua que se envía a la red de drenaje de aguas sucias del sistema de filtrado. El abonado puede automatizarse empleando un simple programador de jardín (bajo coste) situado en la tubería de desagüe del agua de consumo. Con los habituales modelos disponibles en el mercado puede trabajarse con una presión en red de hasta 10 kg/cm^2 Se trata de un dispositivo muy versátil que podría utilizarse como equipo móvil para la inyección en diferentes puntos de la red si ello fuese necesario. Por sus prestaciones y ausencia de problemas cada día son más utilizados en olivar.

5.3.2.- Depósitos para almacenar abonos líquidos para fertirrigación

Si se van a disolver los abonos sólidos deben instalarse depósitos cilíndricos con una ancha boca y equipados de tapadera, construidos en polietileno o poliéster reforzado con fibra de vidrio, y tratados con resina anticorrosión, tal como más adelante se describe.



Fotografía 9.16: Batería de depósitos de PE para el almacenamiento de fertilizantes líquidos. Se utilizan tuberías de conexión y alimentación del sistema de fertirrigación de PE y valvulería de polipropileno. En este tipo de montajes no debe emplearse ningún tipo de pieza metálica. Por motivos de seguridad el montaje debería hacerse a la interperie.

Hay que disponer de depósitos para almacenar las soluciones fertilizantes, bien las soluciones madre preparadas en la propia explotación, disolviendo los diferentes abonos sólidos solubles, o abonos líquidos comerciales suministrados por algún fabricante. Los depósitos más adecuados son los de polietileno virgen, debiéndose exigir al fabricante que el **PE** tenga

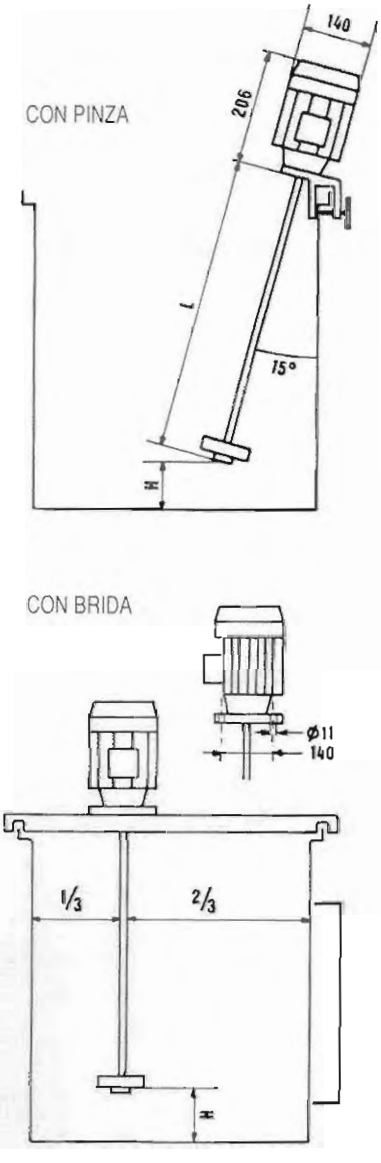


Figura 9.14: Esquema de instalación y funcionamiento de un agitador mecánico, elemento imprescindible en la preparación de las soluciones nutritivas concentradas a partir de fertilizantes sólidos solubles, soluciones que después serán inyectadas en la red de riego por goteo (Cortesía de ITC, S.L.).

filtro solar si van a ser colocados a la intemperie, y que el **grosor de la pared** del depósito sea suficientemente gruesa como para soportar el empuje del fertilizante dentro del depósito, tener en cuenta que las soluciones fertilizantes tienen una densidad entre 1,2 y 1,6 Kg/l, muy superior a la del agua, por lo que por motivos de seguridad el grosor de la pared debe ser suficiente como para permitir almacenar líquidos con una densidad de 1,8 t/m³. Si se empleasen depósitos de poliéster reforzado con filtro de vidrio, estos deben estar protegidos mediante un tratamiento con resina especial anticorrosión química (**Derakane** o **Atlas 382**) de suficiente grosor o mejor aún, todo el depósito fabricado empleando este tipo de resina. No olvidemos nunca que los fertilizantes son bastante ácidos (pH = 0,5 – 2,0) y muy agresivos, y que los anteriores requerimientos deben cumplirse si queremos tener un mínimo de seguridad en la instalación. También existen depósitos de acero inoxidable, pero su alto precio hace que no esté justificado su empleo en la mayoría de las ocasiones. Un detalle importante es instalar en todo el circuito de abonado, por motivos de seguridad, válvulas de polipropileno con mecanismo de cierre en viton, especialmente en la salida de los depósitos.

5.3.3.- Agitadores y bombas de soplado.

Cuando se programa la fertirrigación empleando **abonos sólidos solubles**, el cometido de los agitadores mecánicos y el de las bombas de soplado es facilitar la disolución de los abonos y homogeneizar las mezclas de productos, por lo que en este caso es imprescindible su instalación. El modelo a emplear depende de las dimensiones y volumen del tanque, de modo que se asegure una adecuada agitación.

Los **agitadores mecánicos** se componen de los siguientes elementos (**figura 9.14**):

- **Motor eléctrico** de eje vertical con potencia entre 0,5 y 1,5 cv según el tamaño de la explotación.

- **Eje vertical** fabricado en acero inoxidable, a cuyo extremo se encuentran las **aspas** o **hélices** que, con su giro, mueven el agua y facilitan la disolución de los fertilizantes y homogeneizan las mezclas de productos. Su longitud debe permitir situar la hélice en el fondo del depósito

- **Elemento de unión al depósito**, que permiten situar el agitador en el lugar más apropiado, existiendo modelos de brida (anclaje fijo) y de pinza (anclaje móvil).

Las **bombas de soplado** (**figura 9.15**) son dispositivos con accionamiento eléctrico que introducen aire a presión en el tanque de fertilizante a través de una tubería de PVC que acaba en un distribuidor del que salen varias tuberías perforadas, formando una especie de pulpo, situado así en el fondo del depósito la salida de aire a presión. Estas bombas tienen una capacidad de soplado entre 20 y 30 litros de aire por segundo, con potencias entre 1 y 1,5 cv respectivamente. Normalmente el tiempo máximo de funcionamiento y de parada de estas bombas es de 14 minutos y 30 segundos respectivamente.



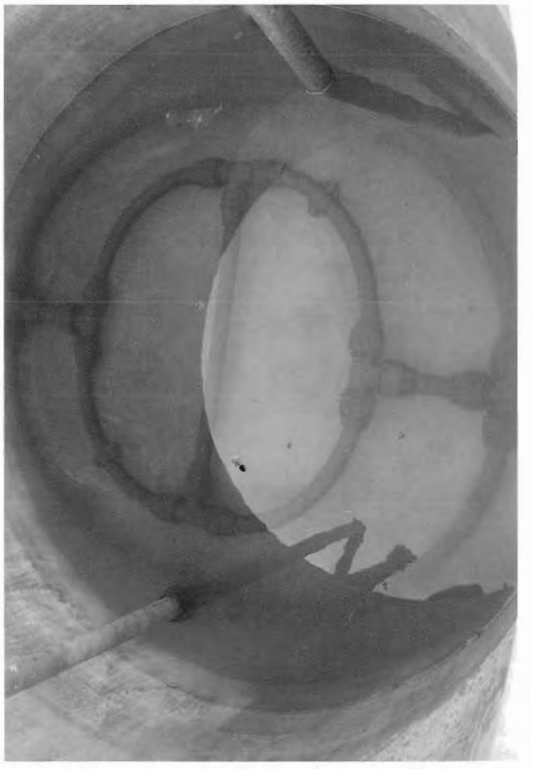


Figura 9.15: Una bomba de soplado (color amarillo) con accionamiento eléctrico puede ser empleada como alternativa a los agitadores mecánicos (ver figura 14) en la preparación de soluciones nutritivas concentradas para fertirrigación. A la derecha dispositivo de salida de aire – agitación en el fondo del depósito construido en tubería de PE en la que se han practicado perforaciones.

5.3.4.- Controlador de pH y conductividad eléctrica del agua de red

Aunque su eficiencia es en la actualidad muy discutida debido al **necesario** y muy **frecuente** mantenimiento, limpieza y calibrado de los sensores, en ocasiones se emplean controladores proporcionales de fertirrigación de inyección directa, que unidos a una bomba inyectora de varios cabezales o a varias bombas, permite la regulación integral del sistema de riego con control de **pH** y conductividad eléctrica (**CE**) del agua de la red de riego. Electrodos de pH y CE (con corrector de temperatura) transmiten los datos a un programador que acciona las bombas inyectoras. El mantenimiento en el tiempo de la calibración de los sensores es el principal inconveniente del sistema.

La inyección de los distintos abonos y correctores se hace de forma analógica (no por impulsos), consiguiéndose así una regulación fiable y dosificaciones de distinto caudal para cada uno de los productos empleados.

Al incorporar los abonos y correctores proporcionalmente al caudal y controlar al mismo tiempo la conductividad del agua, nos permite satisfacer un doble propósito, control de la inyección y una respuesta inmediata a los cambios de caudal en los distintos sectores.

Los controladores más sofisticados permiten incluso conocer a tiempo real el caudal que circula por la tubería, el pH y CE del agua de riego.

6.- LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

La red de distribución está formada (**figura 9.16**) por los siguientes componentes:

- las **tuberías**, que llevan el agua filtrada y tratada desde el **cabezal de riego** hasta el olivar.
- los **elementos singulares** o piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar, por ejemplo: juntas, codos, tes, curvas, ventosas, reguladores de presión y otros accesorios.

Dependiendo de la categoría de la tubería, ésta recibe una denominación diferente (**figura 9.16**). La tubería que parte del cabezal de filtrado se denomina **primaria**. El área a regar se divide en **unidades de riego** según determinados criterios, superficie, cultivo (edad, marco de plantación), tipo de suelo, etc., siendo la tubería que abastece cada **unidad de riego** la denominada tubería **secundaria**. Una **tubería terciaria** abastece las tuberías denominadas laterales o **ramales portagoteros** que es donde se encuentran colocados los emisores (**goteros**) de riego localizado. La superficie regada por cada tubería terciaria se llama **subunidad de riego**.

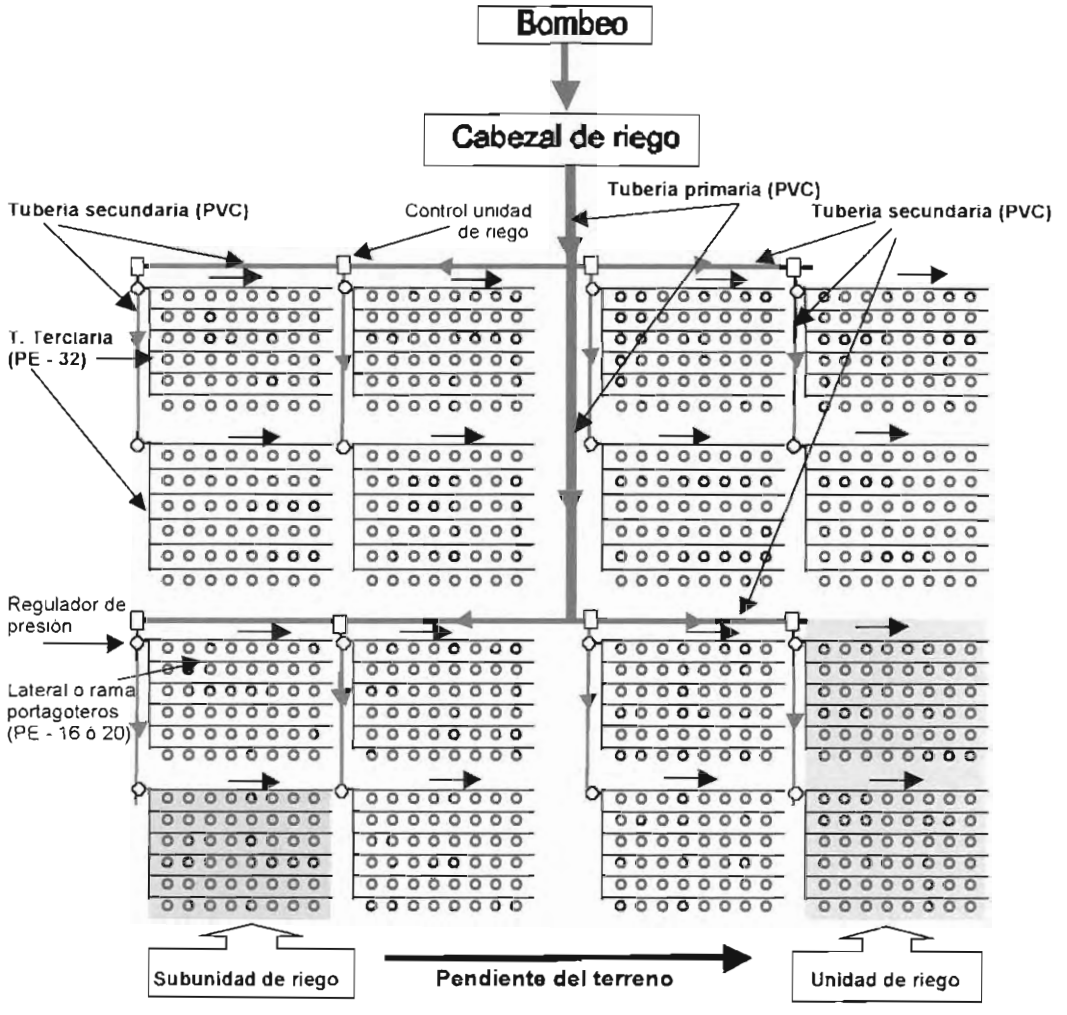


Figura 9.16: Esquema general de una instalación de riego por goteo en olivar en el que se indica la circulación del agua así como los diferentes rangos de tubería de distribución: **primarias** y **secundarias**, normalmente en PVC enterrado, y **terciarias**, normalmente en PE enterrado, y finalmente los **laterales** o **portagoteros** (en PE de 16 ó 20 mm) que normalmente quedan en superficie, aunque a veces se entierran. La **unidad de riego** va controlada al menos con una válvula, instalándose a veces filtro, contador de agua y conexiones para equipo de fertirrigación, según la entidad de la instalación. Cada **subunidad de riego** suele ir equipada (arquillo) con una válvula de bola y un regulador de presión, optativos son accesorios como toma para medición de presión con manómetro y ventosa . En la distribución de la red de tuberías el proyectista debe tener en cuenta la pendiente del terreno, de modo que en las tuberías portagoteros el agua siempre circule a favor de la pendiente del terreno, y nunca hacia arriba.



Fotografía 9.17: Cada subunidad de riego debe ir equipada (arquillo) con una válvula de bola y un regulador de presión, optativos son accesorios como tomas para medición de presión con manómetro portátil y ventosa, elementos todos ellos disponibles en este caso en el arquillo de la fotografía. A la izquierda terminal de una tubería terciaria de PE de otra subunidad de riego en cuyo final se ha instalado una válvula de bola para facilitar la limpieza de la red.

6.1.- Tuberías

En olivar las tuberías más utilizadas en riego localizado son normalmente de plástico, siendo los materiales más frecuentes el **PVC** (policloruro de vinilo) y el **PE** (polietileno). Solarnente en grandes instalaciones que transportan grandes caudales a cierta distancia se emplean **tuberías de fundición** (aleación de hierro y carbono), que para preservar y garantizar una durabilidad larga se recubren tanto por dentro como por fuera con distintos compuestos, incluso, si el terreno es de gran agresividad se añaden revestimientos con diferentes materiales plásticos. Las **tuberías laterales portagoteros** y las **terciarias** se instalan normalmente en **PE**, mientras que la tubería **principal** y las **secundarias** suelen ser de **PVC**. Solamente en pequeñas instalaciones, en las que se manejan pequeños caudales, y por tanto son también pequeños los diámetros de las tuberías a instalar, por cuestiones de sencillez de instalación se pueden utilizar tuberías principales también en polietileno. Este material es muy útil en situaciones en que no es posible enterrar la tubería.

Las características que hacen muy adecuadas a este tipo de tuberías en instalaciones de riego localizado de olivar son las siguientes:

- Son muy ligeras, lo que facilita su manejo.

- Baja rugosidad interior (pequeñas pérdidas de carga si se elige correctamente el diámetro).
- Presentan baja alteración ante fertilizantes y otras sustancias químicas.
- Bajo coste para las presiones y caudales (bajos o medios) empleados en el riego localizado.

Las características básicas para clasificar las tuberías de plástico (PE y PVC) para riego son:

- **Presión nominal (Pn)**: Es la presión máxima de trabajo a 20 ºC.
- **Presión de trabajo (Pt)**: es la presión interna máxima para la que se ha diseñado el tubo, con un coeficiente de seguridad que tiene en cuenta las fluctuaciones de los parámetros que se pueden producir normalmente durante el uso continuado. La presión de trabajo a 20 ºC coincide con la presión nominal.
- **Diámetro nominal (Dn)**: coincide con el diámetro exterior de los tubos y con el diámetro interior de las zonas de acoplamiento de los accesorios. Para un determinado Dn, en función del timbraje de la tubería (0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,6 MPa = 4 – 6 - 10 - 16 atmósferas), varía su diámetro interior.

La calidad de las tuberías es un factor clave para el correcto funcionamiento de las instalaciones. La **certificación AENOR** es el **máximo indicativo de calidad de las tuberías,** ya que garantiza el cumplimiento de una normativa más estricta que las normas UNE (específicas para cada material). Para facilitar la identificación de las características de la tubería según norma, tanto en PE como en PVC, éstas se marcan siempre, al menos cada dos metros, de forma indeleble. Sobre el contenido del marcado para cada tipo de material hablaremos más adelante.



Fotografía 9.18: Tubería portagoteros marcada de acuerdo con la norma UNE 53367. Esta marca, que será indeleble, debe aparecer a intervalos que no excedan de 2 m. El marcado AENOR debe contener, al menos, la identificación del fabricante (PLASTINER, en este caso), la referencia del material (PE 32 para baja densidad), su diámetro nominal en milímetros (Ø 16), el espesor nominal de la pared (1,2) en milímetros, su presión nominal (0,4) en MPa (1 MPa = 10 Kg/cm^2 = 10 atm), el año de fabricación (1998 en este caso), la referencia a esta norma (UNE 53367) y finalmente el logotipo AENOR.

6.1.1.- Tuberías de PVC

El **PVC** es un material rígido y bastante frágil por lo que no deben ser utilizadas en circunstancias donde puedan ser sometidas a presiones externas o impactos. Suelen emplearse en trazados que exijan diámetros mayores de 40 mm. La norma de calidad que se aplica a estas tuberías es la **UNE 53-112-88**, que indica básicamente que deben ser cilíndricas, rectas, sin ondulaciones ni estrías u otros defectos que puedan alterar su uso normal. Nunca deben colocarse sin enterrar, ya que su vida se ve muy reducida por la exposición prolongada a los rayos solares. La **tabla 9.3** muestra los diámetros de tubería de PVC disponibles en el mercado, así como las presiones de trabajo disponibles para cada diámetro.

Tabla 9.3 : Diámetros de tuberías de PVC disponibles en el mercado, así como las presiones de trabajo también disponibles.

Diámetro exterior (mm)	Presiones de trabajo (1)			
	0,4 MPa	0,6 MPa	1,0 MPa	1,6 MPa
16				X
20				X
25			X	X
32			X	X
40		X	X	X
50		X	X	X
63	X	X	X	X
75	X	X	X	X
90	X	X	X	X
110	X	X	X	X
125	X	X	X	X
140	X	X	X	X
160	X	X	X	X
180	X	X	X	X
200	X	X	X	X
250	X	X	X	X
315	X	X	X	X
400	X	X	X	X
500	X	X	X	X

(1) 1 atm = 0,1 MPa

6.1.2.- Tuberías de Polietileno (PE)

El **PE** es flexible, resistente a la radiación ultravioleta y al calor, es fácil de manejar, lo que facilita su instalación, incluso de forma mecanizada, ya que se suministra en piezas de cierta

longitud (250 - 500 m para tuberías de 16 mm, 100 m para tuberías de 32 a 63 mm, y 50 m para tuberías de 75 a 110 mm de diámetro). Normalmente suele emplearse PE hasta diámetros de 50 mm, aunque en determinados casos también se emplean diámetros mayores, especialmente cuando no puede enterrarse la tubería. Existen tres **tipos de PE**, la diferencia entre ellos está en su flexibilidad, dureza y resistencia. Las tuberías de **baja densidad** (designadas como **P32** por la norma UNE por tener un valor σ (esfuerzo tangencial de trabajo a 20 °C igual a 32 kgf/cm²) son muy flexibles y blandas, mientras que las de PE de **alta densidad** (**PE 50 A**) son las menos flexibles, pero resisten mejor a las altas temperaturas y los productos químicos. Existe también un polietileno de media densidad (**PE 50 B**). El material más apropiado para los laterales o **ramales portagoteros** de riego es el **PE de baja densidad**, con tuberías de espesor menor de 2 milímetros y presiones máximas recomendables de 2,5 kg/cm².

Tabla 9.4: Diámetros de tuberías de PE disponibles en el mercado, así como las presiones de trabajo también disponibles.

Diámetro exterior (mm)	Presiones de trabajo (1)		
	0,4MPa	0,6 MPa	1,0MPa
12			X
16		X	X
20		X	X
25	X	X	X
32	X	X	X
40	X	X	X
50	X	X	X
63	X	X	X
75	X	X	X
90	X	X	X

(1) 1 atm = 0,1 MPa

Las tuberías laterales o portagoteros (denominadas de microirrigación), normalmente en PE de diámetros de 16 y 20 mm, se fabrican con espesor de pared de 1,2 y 1,3 mm respectivamente. Las tuberías emisoras se fabrican también en diámetro exterior de 17 mm. La presión de trabajo de este tipo de tuberías suele ser 2,5 kg/cm².

Centrándonos en el tema de la calidad de los materiales, cabe destacar que en algunos casos se venden tuberías de polietileno construidas con **material reciclado**, lo cual acorta la vida de las instalaciones. Cuando hace 15 años comenzaron a realizarse las primeras instalaciones de riego no se disponía de ningún tipo de normativa que amparara al usuario, pero **AENOR** (Asociación Española para la Normalización) ha dictado normas muy precisas de calidad para los distintos materiales, de manera que los fabricantes que cumplen dichas normas garantizan la calidad del material y obtienen de AENOR la certificación y el sello de calidad. Debemos exigir el empleo en las instalaciones únicamente de material con sello AENOR. Ello garanti-



Fotografía 9.19: Despiece de un enlace recto para tubería de PE. Este enlace permite la unión de diferentes tramos de tubería de PE.

za la duración y funcionamiento de nuestras instalaciones. Las normas aplicables a las tuberías de PE es la **UNE 53131 (82)** y **UNE 53133 (82)**, mientras que para ramales portagoteros es aplicable la norma **UNE 53367**.

Algunas Comunidades Autónomas, como la Murciana, poseen laboratorios de Calidad de Materiales, de modo que cualquier persona se pueda dirigir a él y obtener datos de la calidad de sus materiales. En Andalucía no se dispone aún de este servicio. En España diferentes laboratorios realizan igualmente análisis y certificación de materiales.

Los tubos definidos y garantizados en la norma **UNE 53367** se deben marcar de forma indeleble, a intervalos que no excedan de 2 m. El marcado AENOR debe contener, al menos, la siguiente información y en el orden siguiente (ver **fotografía 9.18**):

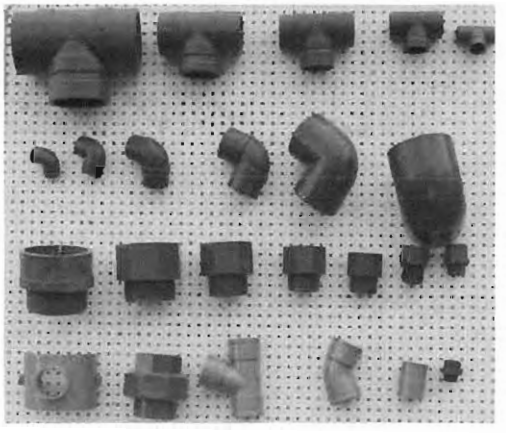
- Identificación del fabricante.
- Referencia del material (PE 32 para baja densidad, PE 50 A para alta densidad).
- Su diámetro nominal en milímetros.
- El espesor nominal de la pared, en milímetros.
- Su presión nominal, en MPa. (1 MPa = 10 Kg/cm² = 10 atm)
- Año de fabricación.
- Referencia a esta norma (**UNE 53367**) .

Por ejemplo: **PLASTIMER PE-32 ∅ 16mm 1,2 mm 0,4 MPa 1998 UNE 53367** (ver **fotografía 9.18**). Como es natural **PLASTIMER** es el nombre del fabricante de la tubería. Los controles que deben hacerse según la norma son variados, tales como color, aspecto, diámetro, espesor, determinación de la resistencia a la presión interna, comportamiento al calor, resistencia al cuarteamiento, resistencia a la tracción y del alargamiento a la rotura, y de contenido y dispersión del negro de carbono.

El negro de carbono es el componente que confiere a la tubería el color negro característico (se necesita sólo un 0,5%). Se trata de un componente esencial para la duración de la tubería a la intemperie. La tubería debe contener, según la norma, un 2,25% en masa, permitiendo un error de 0,25%. Si la tubería contiene una cantidad inferior se produce un deterioro prematuro de la tubería y si existe un exceso, provoca un perjuicio de las propiedades mecánicas de la misma.

6.1.3.- Elementos singulares de la red de riego

Además de las tuberías, los elementos singulares constituyen una parte importante en la red de distribución de agua. Son piezas especiales diseñadas para conectar dos tubos de igual o diferente material, cambiar el diámetro entre tuberías, cambiar la dirección de éstas (codos de 45° y 90°), conectar más de dos tramos entre sí (bifurcaciones), tapones finales etc.

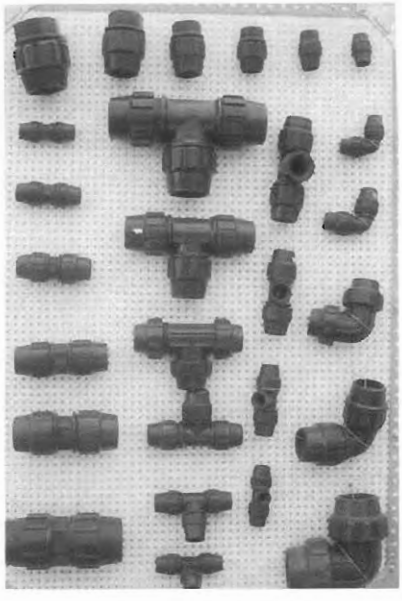


Fotografía 9.20: Accesorios para tubería de presión de PVC (codo 90°, codo 45°, te 90°, reducción lisa, reducción roscada, machón, etc.).

La unión entre dos tramos de tubería de **PVC** suele realizarse mediante una **junta elástica** para los diámetros más usuales, es decir, igual o superiores a 63 milímetros. Por el contrario, para los diámetros menores de 63 milímetros (50, 40, 32), la unión se suele realizar por encolado, usando un adhesivo disolvente del PVC aplicado tanto al exterior del extremo macho como al interior del extremo hembra (que se fabricará en forma de copa).

La conexión del cabezal de filtrado, cuando las piezas son metálicas, con la tubería principal (PVC) hay que hacerla mediante **piezas metálicas de adaptación para PVC** equipadas de la correspondiente junta tórica de goma y bridas especiales con sujeción con tornillos. Este mecanismo de enlace es aplicable igualmente cuando hay que intercalar en la red cualquier tipo de pieza metálica en tubería de cierto diámetro (válvulas por ejemplo).

En tubos de PE no puede realizarse el pegado o el roscado, por lo que la unión en este tipo de tuberías se hace con juntas mecánicas entre las que destacan los enlaces para PE, **enlace recto** para unir dos tuberías de PE de igual diámetro (**fotografía 9.19**), **enlace reducido** en el caso de tuberías de distinto diámetro. Los enlaces son piezas con cierta complejidad, preequipados con una junta tórica, que permiten una unión sólida y estanca, por lo que su uso está generalizado. Existen igualmente **codos de 90°**, **T** (igual o reducida) y los **enlaces mixtos rosca** (macho o hembra) que permiten la conexión de una tubería de PE a una válvula o



Fotografía 9.21: Accesorios para tubería de presión de PE (enlace recto, enlace reducido, te de tres bocas, te reducida, codo de 90º, tapón final, etc.)

cualquier pieza roscada. La conexión de las tuberías portagoteros (PE) a las terciarias (PE 32, 40 o 50 mm generalmente) se hace mediante las llamadas **tomas de ramal** o acometida de toma. Un **tapón final** permite el cierre de las tuberías (ver **fotografía 9.21**).

6.2.- Emisores

Son probablemente los elementos más importantes de la red de riego, ya que son los responsables de que produzca la salida controlada de agua desde las tuberías laterales al olivo. Es usual que los emisores estén situados a cierta distancia unos de otros (lo más frecuente en olivar), por lo que la salida del agua se produce de manera discreta a lo largo del lateral de riego, formando los bulbos húmedos de los que el árbol extrae el agua. Sin embargo, el agua también puede aplicarse de forma continua creándose una banda humedecida en el suelo.

Las características o requisitos que debe cumplir **un buen emisor** son las siguientes:

- Caudal uniforme, por ser poco sensible a las variaciones de presión en la red.
- Poca sensibilidad a las obturaciones.
- Buena relación calidad – precio.
- Alta uniformidad de fabricación.
- Resistencia a las condiciones de trabajo.
- Fácil instalación.

No siempre se requiere, ni es posible, que cumplan todas las características a la vez, aunque ello sería lo deseable. Por ejemplo, si el agua de riego está relativamente sucia, además de instalar un buen equipo de filtrado, los emisores deberán ser muy poco sensibles a las obturaciones, mientras que si el agua es limpia, esta característica puede ser menos estricta. Igualmente, en terrenos con topografía accidentada (casi siempre en olivar), los emisores deberán ser **autocompensantes** lo que permite absorber las variaciones de presión que puedan producirse en la red de distribución, inducidas por las diferencias de cota del terreno.

Igual que con las tuberías, existe una **Norma de Calidad** que deben cumplir los emisores **UNE 68075-86**. Esta norma se aplica a emisores, dotados o no de capacidad de autocompensación, destinados a instalaciones de riego, aunque todavía no existe una normativa aplicable a los goteros integrados en tuberías.

Cada emisor debe llevar **marcado**, de modo claro e indeleble, las siguientes indicaciones:

- Nombre del fabricante, su marca registrada o símbolo de identificación usado en el catálogo.
- Caudal nominal de ensayo, en litros por hora.
- En caso necesario, una flecha indicando el sentido del flujo.

El fabricante debe poner a disposición del usuario, conjuntamente con los emisores, información escrita que contenga los siguientes datos:

a) Año de fabricación.
b) Número de catálogo del emisor.
c) Instrucciones para la conexión del emisor a la tubería.
d) Tipo de tubería aconsejable y sus medidas.
e) Limitaciones del uso del emisor (fertilizantes, productos químicos).
f) Recomendaciones de filtrado, incluyendo la medida de menor paso de agua (número de malla del filtro).
g) Instrucciones para la limpieza y prevención de obturaciones.
h) Caudal nominal en proceso de lavado (si corresponde).
i) Categoría del emisor en relación a su uniformidad de caudal.
j) Instrucciones de mantenimiento, almacenaje y reparaciones.
k) Intervalo de presión efectiva de trabajo.
l) Curva de caudal-presión.
m) Ecuación característica del emisor.
n) Intervalo de autocompensación (si corresponde).
o) Longitud equivalente, en metros de tubería, de la pérdida de carga singular originada por la conexión del emisor a la línea de riego.
p) Coeficiente de variación de caudal.

La clasificación de los emisores **según su uniformidad** (apartado i), variación del caudal medio sobre el caudal nominal (CV), es:

- Categoría A: con un coeficiente de variación (CV) inferior al 5%.
- Categoría B: con CV entre el 5% y el 10%.
- Fuera de categoría: con un CV superior al 10%.

Según el **coeficiente de variación** de fabricación (apartado p), los emisores se clasifican también en tres categorías:

- Categoría A: con un coeficiente de variación (CV) inferior al 5%.
- Categoría B: con CV entre el 5% y el 10%.
- Fuera de categoría: con un CV superior al 10%.

La **categoría global** es la más desfavorable de las dos. Para realizar esta catalogación se ensaya con una muestra al azar de 25 emisores. También se comprueban las siguientes características: aspecto, conductos interiores del emisor, resistencia a la presión hidrostática, desconexión del emisor, uniformidad de caudal, curva caudal-presión y determinación del exponente del emisor (para autocompensantes). En las instalaciones de olivar y debido a la topografía del terreno debemos procurar siempre usar emisores de categoría A.

Los emisores suelen proporcionar diferente caudal si la presión a la que están trabajando es distinta a la nominal. Esa relación, representada por la **relación caudal-presión** del gotero (**figura 9.17**), es diferente para cada tipo de emisor y debe ser también suministrada por el fabricante para conocer el caudal que aplica el emisor según la presión de trabajo.

La **ecuación característica de un emisor**, presenta la forma siguiente:

$$q = k \cdot h^x$$

en donde: **q** = caudal del emisor en l/h; **k** = Coeficiente de descarga; **h** = presión a la entrada del emisor, generalmente expresada en m.c.a. (10 mca = 1 kg/cm^2); **x** = exponente de descarga del emisor.

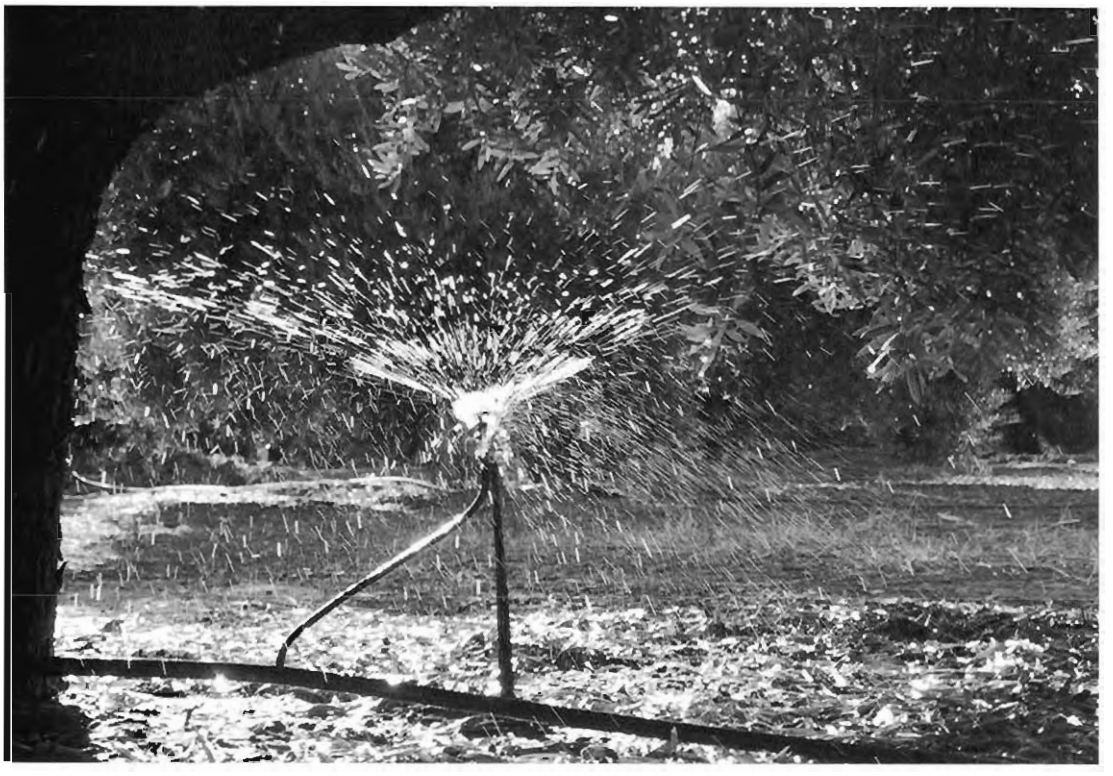
Este **exponente de descarga** es un parámetro muy importante ya que nos indica la sensibilidad de los emisores a la variación de caudal al hacerlo la presión. Así, cuanto más se aproxime **x a 1, más varía el** caudal del emisor cuando varía la presión. Un gotero sería perfectamente autocompensante cuando **x** se aproxime a 0, pero lograr eso es prácticamente imposible. Se considera que un **emisor** es **autocompensante** cuando **x** es menor de 0,2.

Los emisores de riego localizado se clasifican según la forma en que aplican el agua al suelo en:

- Goteros
- Microaspersores y difusores
- Tuberías emisoras

Los **goteros** y las **tuberías emisoras** se consideran emisores de bajo caudal, aplicando en condiciones normales hasta 16 litros por hora y emisor. Los **microaspersores** y los **difusores** son emisores de alto caudal, y permiten aportar entre 16 y 200 litros por hora.

Al elegir el tipo de **emisor más adecuado**, es preciso considerar la posibilidad de que se produzcan **obturaciones,** teniendo en cuenta básicamente la calidad del agua de riego a aplicar y el equipo de filtrado instalado. Los goteros y tuberías emisoras son los más exigentes en cuanto a calidad de filtrado, ya que presentan mayor riesgo de obturación al tener un menor tamaño de paso de agua y salir ésta al exterior con escasa velocidad. Los microaspersores y difusores, por su parte, presentan menor sensibilidad a la obturación.



Fotografía 9.22: En suelos arenosos o cuando se requiera una gran cobertura del suelo pueden emplearse microaspersores para aplicar el agua de riego.

6.2.1.- Goteros

Constituyen el tipo de emisores más utilizado en riego localizado de olivar. Son dispositivos fabricados en plástico que se colocan en las tuberías laterales y disipan la presión de la red haciendo que el agua salga prácticamente sin velocidad, es decir, goteando. Es muy recomendable **trabajar en la red terciaria a presiones entre 1 y 2 kg/cm²**. Para disipar la presión, los goteros suelen tener en su interior un conducto muy ondulado o sinuoso, parecido a un **laberinto**.

Según la forma en que se colocan los goteros en los laterales portagoteros se podría hacer la siguiente clasificación:

- Goteros **interlínea** o **insertados**: se instalan cortando la tubería y empalmando por ambos lados la tubería al gotero.
- Goteros **pinchados**: éstos van equipados de un arponcillo de forma cónica, que permite insertar el gotero a través de un orificio previamente practicado en la tubería de PE (**fotografía 9.23**).





Fotografía 9.23: A la izquierda gotero autocompensante de 4 l/h, en funcionamiento, pinchado directamente sobre la tubería lateral o ramal portagoteros. A la derecha despiece del gotero anterior, formado por (de izquierda a derecha) tapa (con tubito de salida del agua al exterior, base (incluye arponcillo para pinchar el gotero en la tubería lateral y que va provisto de un prefiltro +), laberinto y diafragma. El mencionado diafragma es una membrana flexible responsable de que se mantenga prácticamente constante el caudal del gotero. Cuando finaliza el riego y disminuye la presión se separa la membrana aumentando el tamaño del paso de agua, lo que permite la limpieza del emisor.

- **Goteros integrados**: se embuten en la tubería durante su proceso de fabricación y la salida del agua al exterior se realiza a través de uno o dos orificios practicados en dicha tubería (**fotografía 9.24**).





Fotografía 9.24: Detalle de trabajo de un gotero integrado en la tubería (izquierda). Los goteros, de los que existen diferentes modelos y marcas, van insertos en la tubería lateral de riego, bien pegados a un lateral de la pared o bien como un canutillo al que rodea la tubería (imagen de la derecha), existiendo unos agujeros practicados en la pared de la tubería para permitir la salida gota a gota del agua de riego al exterior.

Dependiendo del tipo de **curva de gasto del gotero**, es decir, del caudal que suministre según la presión a la que esté trabajando, los goteros se denominan:

No compensantes: el caudal cambia cuando varía la presión. A mayor presión, el caudal que suministra es mayor (ver **figura 9.17**).

Autocompensantes: dentro de unos límites de presión (normalmente entre 0,5 y 3,5 Kg/cm^2), que deben ser indicados por el fabricante, el caudal que suministra el gotero prácticamente no varía (ver **figura 9.17**). El intervalo de presiones para el que el gotero compensa la presión se llama **intervalo de compensación**.

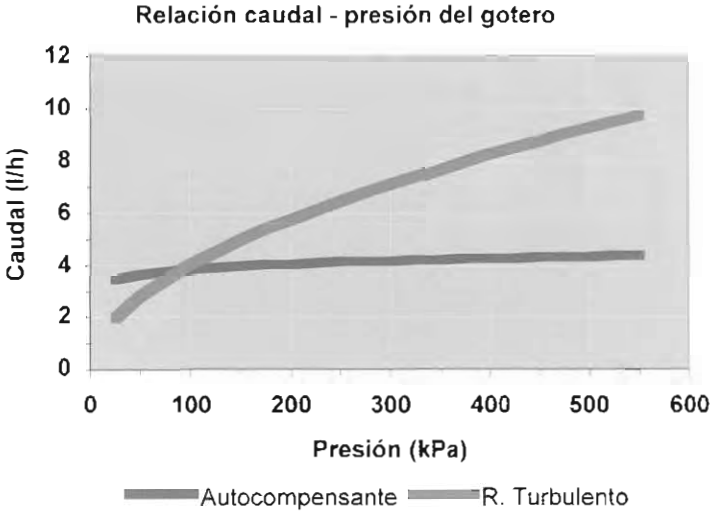


Figura 9.17: Relación caudal-presión en dos goteros de caudal nominal 4 l/h del mismo fabricante. Un el primer caso (azul) se trata de un **gotero autocompensante** en presiones entre 0,5 y 4,0 kg/cm^2 (= 50 a 400 kPa) en red, cuya ecuación característica es $q = 2{,}6848 \cdot h^{0{,}0777}$. En el segundo caso (rojo) se trata de un **gotero no autocompensante** (régimen turbulento) que a una presión en torno a 1,0 kg/cm^2 (100 kPa) en red proporciona 4 l/h, cuya ecuación característica es $q = 0{,}3691 \cdot h\ 0^{0{,}5188}$ (Goteros TwinDrops. Cortesía de Mondragón).

El efecto de **autocomensación** se consigue normalmente empleando una **membrana elástica** situada junto al orificio de salida del agua en el gotero (**fotografía 9.23**). Cuando la presión aumenta, la membrana se deforma tapando parcialmente el orificio y limitando el caudal de salida; si la presión disminuye, la membrana recupera su posición, aumenta la sección de paso y así se mantiene el caudal prácticamente constante para el **intervalo de presiones de compensación**.

Los **goteros autocompensantes** son con diferencia los más empleados en olivar, aunque son más caros, pero es la única forma de obtener una adecuada uniformidad de distribución. Aunque la uniformidad de fabricación de estos goteros pueda ser menor que la de los goteros convencionales, a largo plazo pueden ir perdiendo la calidad de trabajo y su carácter autocom-

pensante, debido a que tienen piezas móviles y además porque el funcionamiento de la membrana elástica suele verse afectado por la temperatura, el uso de productos químicos en fertirrigación y por el paso del tiempo. Existen numerosas circunstancias en las que el empleo de este tipo de goteros está más que justificado, por ejemplo, en terrenos muy ondulados o en laterales de gran longitud, casos en que la diferencia de presión entre los emisores más próximos a la tubería terciaria y los más alejados puede ser grande. Lo normal es que un determinado fabricante tenga una gama de goteros de 2, 4 y 8 l/h.

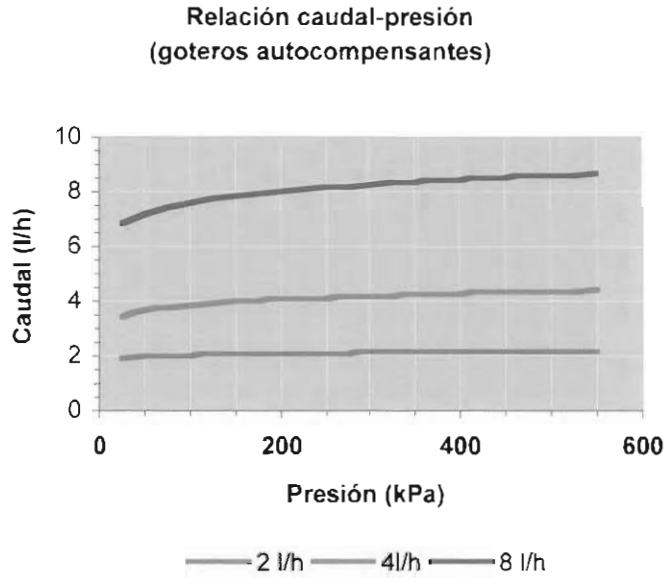


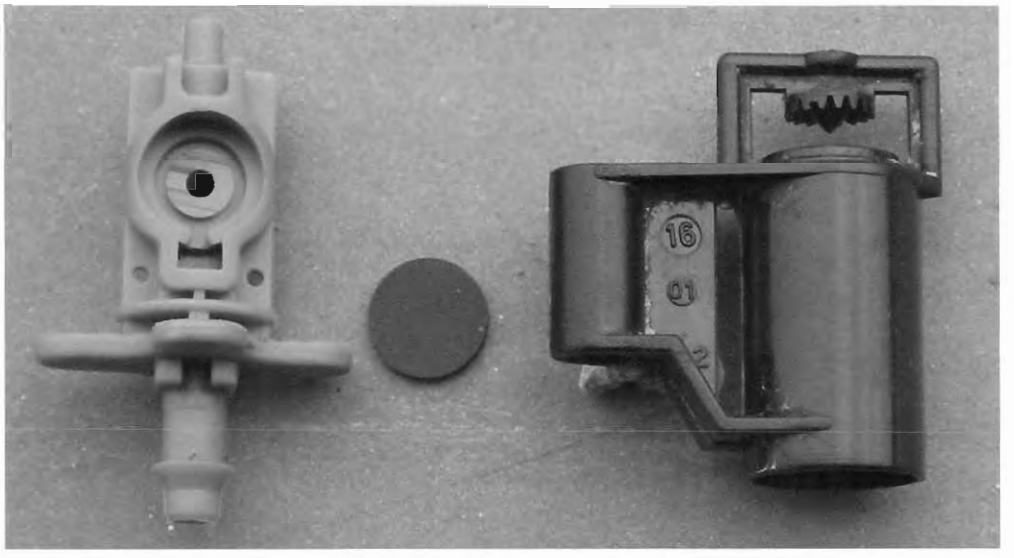
Figura 9.18: Relación caudal-presión en goteros autocompensantes de caudales nominales 2 (verde), 4 (rojo) y 8 l/h (azul) del mismo fabricante. Son **goteros autocompensantes** en presiones entre 0,5 y 4,0 kg/cm^2 (50 y 400 kPa) en red, cuyas ecuaciones características son: $q = 1{,}6940 \cdot h^{0{,}0403}$, $q = 2{,}6848 \cdot h^{0{,}0777}$ y $q = 5{,}3001 \cdot h^{0{,}0777}$ respectivamente (Goteros Twin Drops. Cortesía de Mondragón).

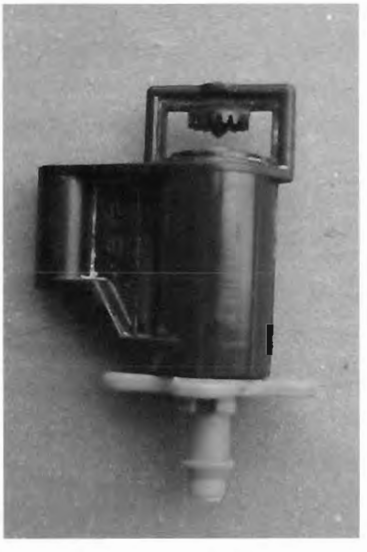
6.2.2.- Microaspersores y difusores

Son emisores que distribuyen el agua al suelo en forma de **fina lluvia** sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo (por lo que se incluyen dentro de los emisores de riego localizado). Tanto unos como otros mojan una superficie circular con un radio normalmente menor de 2-3 metros, aunque también pueden aplicar el agua en sectores no circulares. Están recomendados en suelos muy arenosos o cuando queremos humedecer grandes áreas de suelo, este sería el caso de instalaciones en las que se riega en un suelo con gran capacidad de retención de agua y solo dispone de agua en invierno, por lo que el sistema debe tratar de aprovechar la máxima capacidad de almacenamiento del suelo (superficie, profundidad).

Los **microaspersores** tienen alguno de sus elementos móviles, generalmente efectuando un movimiento de rotación (bailarina) (**fotografía 9.22**), mientras que los **difusores** tienen todas sus partes fijas (**fotografía 9.25**). Ambos suelen trabajar a presiones en torno a 2

kg/cm^2. Al igual que en los goteros, existen en el mercado microaspersores y difusores con dispositivo autocompensante. Son estos más caros pero también están justificados cuando las parcelas de riego tienen cierta pendiente o se emplean laterales muy largos.







Fotografía 9.25: En la fotografía superior despiece de un microjet autocompensante de bajo caudal que permite el riego por chorrillos consiguiéndose así una gran superficie de suelo mojado, de derecha a izquierda, cuerpo con corona alveolada que parte el chorro de agua provocando la formación de chorrillos en todas las direcciones, a su izquierda soporte de fijación para una varilla que permite pincharla en el suelo del olivar fijando su posición; en el centro de la imagen membrana flexible responsable de que se mantenga prácticamente constante el caudal del gotero independiente de la presión de agua en la red; y a la izquierda cuerpo del emisor que por abajo permite la entrada de agua a través de un microtubo y en el centro cavidad circular donde va alojada la membrana de autocompensación. Abajo, en la fotografía de la izquierda el microjet montado y listo para ser instalado. En la fotografía de la derecha detalle del suelo mojado por este emisor.

El uso de **microaspersores** en riego agrícola es más frecuente que el de difusores. Los microaspersores más difundidos son los de bailarina, que permiten intercambiar las piezas móviles para adaptarlas a las condiciones requeridas por el cultivo en cuestión. Se pinchan directamente a la tubería o bien se conectan mediante un microtubo. Para obtener mayores alcances del chorro de agua suelen colocarse en estaquillas de sujeción a varios centímetros sobre el suelo.

Los **difusores** presentan el inconveniente de producir un tamaño de gota tan fino que se dispersa muy fácilmente por el viento. Además, las **pérdidas por evaporación** pueden ser mayores. Para solucionar estos problemas, se han desarrollado unos difusores llamados **microjets** que tienen un mayor diámetro de boquilla y generan pequeños chorritos de agua, con lo que la influencia del viento en la distribución del agua es muy pequeña.

Las boquillas y deflectores de microaspersores y difusores se fabrican con **códigos de color** que definen su caudal, forma de área regada y alcance. En el diseño y reposición de elementos deteriorados, es necesario conocer y respetar estos colores.

6.2.3.- Tuberías emisoras

Son las tuberías que conducen y aplican el agua de forma simultánea a través de orificios practicados durante el proceso de fabricación o a través de su pared porosa. Normalmente se fabrican en polietileno (PE) y suelen utilizarse con cultivos con marco de plantación muy estrecho que precisarían gran densidad de emisores, o en cultivos en línea con objeto mojar un gran volumen de suelo o de crear una banda continua de humedad. Son cada vez más utilizadas en olivar, especialmente en las instalaciones de **riego subterráneo**.

Aunque hay gran variedad de tuberías emisoras, las más utilizadas son:

- **Tubería perforada**: son tubos de polietileno (PE) en los que se practican orificios espaciados regularmente. Dependiendo de la presión de trabajo, el agua puede salir goteando o bien en forma de pequeño chorro, por lo que no se trata de un material autocompensante. Normalmente trabajan a presiones próximas a 1 kg/cm^2. Este tipo de material no se emplea generalmente en olivar.

- **Tubería goteadora** (ver **fotografía 9.24**): constan de dos partes diferenciadas, la tubería propiamente dicha, que conduce el agua, y un laberinto que disipa la presión y permite la salida del agua al exterior gota a gota. El funcionamiento, por tanto, es análogo al de un gotero, aunque su duración y coste son menores. Los goteros integrados, como su nombre indica, están integrados en la tubería durante el proceso de fabricación, instalándose los emisores a diferentes distancias entre ellos según las necesidades del cultivo (0,75 – 1,00 – 1,25 m es lo más frecuente en olivar). Los caudales disponibles para algunas de las empresas suministradoras son los siguientes:

Empresas	Caudal del emisor (l / h)
Netafim	1,2 – 1,6 – 2,3 – 3,5
Agrosystems Consorcios	1,6 – 2,0 - 2,2 – 3,4
Azud	2,2 – 3,6
TwinDrops	1,8 – 3,9

Las tuberías con gotero integrado se están empleando cada vez con más frecuencia en el cultivo del olivo, tanto colocadas en superficie, tratando de formar una banda continua de suelo humedecido o como se hace en **riego suberráneo**, enterrando a cierta profundidad las tuberías (**fotografía 9.26**), modalidad de riego localizado que por sus indudables ventajas, tanto desde el punto de vista del cultivo como desde el punto de vista de manejo de la instalación, probablemente va a tener cada vez más adeptos en este cultivo.

El **riego por goteo subterráneo**, del que todavía no hay muchos estudios de cierta duración en olivar, puede presentar ventajas como proporcionar un mayor volumen de suelo mojado, **menores pérdidas de agua por evaporación**, menor sensibilidad a deterioro por animales o ataques vandálicos, más fácil control de malas hierbas, en especial cuando se entierra en el centro de la calle. Como inconvenientes, su instalación y diseño es más complejo (necesidad de instalar ventosas en las subunidades de riego), necesidad de controlar la posible invasión del emisor por



Fotografía 9.26: Operación de enterrado de la tubería en una instalación de riego subterráneo. Se utiliza tubería de PE de 17 mm de diámetro con gotero autocompensante integrado. En este caso el enterrado de la tubería se realiza, con muy buenos resultados, en el centro de la calle de la plantación.

las raíces del olivo o las malas hierbas, la dificultad de detectar las obturaciones al estar el gotero enterrado, etc. Los estudios se se llevan a cabo son muy prometedores en este momento.

6.3.- Elementos de control, medida, protección y automatismos

En las instalaciones de riego localizado existen una serie de elementos con funciones muy diversas y distintos tipos de accionamiento (mecánico, hidráulico o eléctrico) que permiten manejar y realizar el riego de forma adecuada. Es muy importante conocer su función y la forma en que trabajan para colocarlos en los lugares apropiados, saber interpretar la información que suministran y en consecuencia realizar los cambios oportunos.

La ubicación de todos estos elementos de control y automatización en una instalación de riego depende de las características de la finca a regar y del grado de automatización que se pretenda conseguir, por lo que debe exigirse que el proyecto defina perfectamente los elementos a instalar, incluyendo la ubicación exacta de los mismos, aspecto que se revisará con sumo cuidado durante la dirección de obra.

Según la función de los distintos elementos dentro de la instalación, estos se pueden clasificar en:

- **Elementos de medida**: medidores de caudal y medidores de presión (manómetros).
- **Elementos de control**: reguladores de presión, de caudal, válvulas etc..
- **Elementos de protección**: presostatos, ventosas, calderines, etc..

Los elementos de medida son imprescindibles en una instalación de riego localizado ya que permiten conocer y regular tanto el **caudal** que pasa por los diferentes puntos de la instalación como la **presión** en lugares estratégicos.

6.3.1.- Medidores de caudal

Son elementos que miden la cantidad de agua que pasa por un determinado punto en un cierto tiempo. Son muy útiles para controlar el volumen de agua aplicado, así como para descubrir roturas o fugas de agua en determinados lugares de la instalación.

Los **contadores** se pueden utilizar para ajustar el tiempo de riego a las necesidades de agua calculadas para el cultivo. Los medidores más utilizados son los de turbina tipo **Woltman** (**fotografía 9.27**), ya que son bastante precisos y tienen una buena relación calidad-precio. El organismo regulador de las cuencas hidrográficas exigen su instalación en la actualidad. También existen contadores electro-magnéticos que son muy precisos pero de mayor precio. Los **rotámetros** miden el caudal instantáneo (m^3/h). Cada fabricante debe darnos normas precisas sobre su instalación en el cabezal de riego.



Fotografía 9.27: Contador de turbina tipo Woltman instalado en tubería a la salida del cabezal de riego.

6.3.2.- Medidores de presión

Los **manómetros** sirven para medir la presión en un punto concreto de la instalación (presión del agua a la que trabajan los filtros, presión que suministra la bomba, etc.) y sirven también para ver pérdidas de carga en algún elemento de la instalación, como pueden ser filtros, permitiendo conocer el momento en que los filtros están sucios y hay que limpiarlos, elementos de inyección de fertilizante, etc. Informan igualmente de averías de cierta entidad en la red. **Los manómetros bien ubicados son los ojos del regador.**

6.3.3.- Reguladores de presión

Se utilizan fundamentalmente para mantener la presión dentro de un determinado rango, especialmente en las tuberías terciarias, de modo que el caudal que apliquen los goteros autocompensantes sea relativamente constante, y dentro del rango de presiones fijado por el fabricante (**fotografía 9.17**), por eso se suele colocar un regulador de presión a la entrada de cada una de las subunidades de riego (arquillos) para mantener la presión constante durante el funcionamiento de los emisores, además evita sobrepresiones en las tuberías que podrían provocar roturas (en especial cuando no se emplea el timbraje adecuado) y hacer saltar los goteros cuando estos están pinchados.



Figura 9.19: Diferentes tipos de válvulas (de arriba abajo): válvula hidráulica de dos vías, válvula sostenedora especial para equipos de filtrado, válvula hidráulica 3 vías, válvula de mariposa, válvula de esfera en PVC, válvula hidráulica. (Cortesía AZUD).

6.3.4.- Reguladores de caudal

Se usan para dejar pasar un caudal determinado de agua, con lo que se consigue ajustar el caudal que pasa por un determinado punto de la instalación con el que se debe aplicar según los cálculos. Se puede colocar un regulador de caudal a la entrada de cada unidad de riego para que pase la cantidad de agua que se desee. Son innecesarios cuando se emplean reguladores de presión y goteros autocompensantes.

6.3.5.- Válvulas

Permiten controlar el paso de agua en determinados puntos de la tubería, abriendo o cerrando, o bien regulando el caudal que pasa por ese punto. Estas válvulas pueden ser de accionamiento manual o bien automático. También se suelen colocar **válvulas de retención** que impiden que el agua circule en sentido contrario, su instalación es obligada a la salida de las bombas o estaciones de filtrado cuando parte de la superficie a regar o el trazado de la tubería principal está en cotas superiores.

Además existen otros **tipos de válvulas** (**figura 9.19**):

- **Válvulas de compuerta**: poseen un movimiento vertical que cierra totalmente el paso de agua a través de la tubería, son bastante estancas y provocan perdidas de carga pequeñas cuando están abiertas. Sirven para regular el caudal.
- **Válvulas de mariposa**: poseen un disco del mismo diámetro de la tubería de riego que gira según un eje vertical. Cuando está abierta provoca escasa pérdida de carga. Sirve tanto para cerrar una tubería como para regular el caudal.

- **Válvulas de bola**: también se llaman de esfera, ya que el mecanismo de cierre es una esfera con un orificio cilíndrico en el sentido del movimiento del agua a lo largo de la tubería. No deben emplearse para regular el caudal y se utilizan para cerrar/abrir totalmente el paso de agua.

- **Válvulas hidráulicas**: son válvulas en las que el paso del agua es controlado mediante una membrana flexible, cuya posición es regulada en función de las presiones de entrada y/o salida y la existente en la cámara. Se pueden dotar de distintos equipos de regulación (*pilotos*) para regular las presiones de salida (reguladores de presión), presiones de entrada (sostenedores de presión), caudales (reguladores de caudal), etc. En una misma válvula se pueden montar distintos tipos de *pilotos*.

- **Válvulas volumétricas** (fotografía 9.28): además de una válvula hidráulica posee un contador tipo Woltman que posee un selector manual para que una vez que haya pasado el volumen de agua deseado manda una señal hidráulica que hace cerrar la válvula.



Fotografía 9.28: Válvula volumétrica instalada en una subunidad de riego. Puede programarse, manualmente en este caso, un consumo comprendido entre 0 y 50 m^3.

- **Electroválvulas**: son válvulas dotadas de un dispositivo electromagnético que se acciona al recibir una señal eléctrica desde un programador lo que permite abrir o cerrar la válvula para permitir o impedir el paso del agua. Son imprescindibles cuando se instalan programadores de riego que son los encargados de controlar el tiempo de riego, al enviar una señal eléctrica, lo que en definitiva permite la automatización de la instalación.



Fotografía 9.29: Electroválvula que comanda en este caso una subunidad de riego. El mando de color rojo permite seleccionar tres posiciones: close (cerrado), open (abierto) para el trabajo en programación manual, como en este caso; y finalmente la posición auto (automático) que permite programar el tiempo de riego y el momento de comienzo y final de riego a través de un programador.

6.4.- Elementos de protección

Su función es proteger la instalación de sobrepresiones o depresiones que aparecen cuando la instalación esta empezando a funcionar y cuando se para el riego. Se suelen utilizar dos elementos principalmente como son las ventosas y los calderines.

6.4.1.- Presostatos

Los presostatos (**fotografía 9.8**) son aparatos mecánicos que detectan variaciones en la presión del agua de la red. El instalador puede fijar la presión máxima o mínima de trabajo permisibles, y en el momento en que se alcanza este valor envía una señal, por mediación de la apertura o cierre de un contacto, al cuadro eléctrico que comanda la estación de bombeo, parando automáticamente los motores como medida de precaución ante posibles averías y/o siniestros. Es imprescindible su instalación delante de las estaciones de filtrado, detectando eventuales colmataciones de filtros, evitando accidentes debidos a los aumentos de presión en tuberías de impulsión.

6.4.2.- Ventosas

Son dispositivos que se instalan en las conducciones de agua y que sirven para introducir o evacuar aire en o desde las tuberías. Si no se dispusieran ventosas se producirían sobrepre-

siones en las tuberías durante el llenado y depresiones durante el vaciado, lo que podría ocasionar su rotura. Además, en estas instalaciones pueden producirse bajadas de presión hasta quedar por debajo de la atmosférica, que en ocasiones se traduce en el aplastamiento de las tuberías. La colocación de ventosas permite entonces la admisión de aire desde el exterior que funciona a modo de colchón, evitando el riesgo de rotura ante las depresiones.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, las ventosas se pueden clasificar en tres tipos, según las funciones que pueden realizar:

- **Purgadores** o ventosas **monofuncionales** se encargan de eliminar el aire que se acumula en las conducciones durante su funcionamiento.
- Ventosas **bifuncionales** sirven tanto para la evacuación del aire acumulado en las tuberías durante su llenado, como para que se introduzca el aire durante el vaciado de la tubería.
- Ventosas **trifuncionales** realizan las tres funciones de purgar el exceso de agua para reducir la presión, así como la admisión y la expulsión de aire.

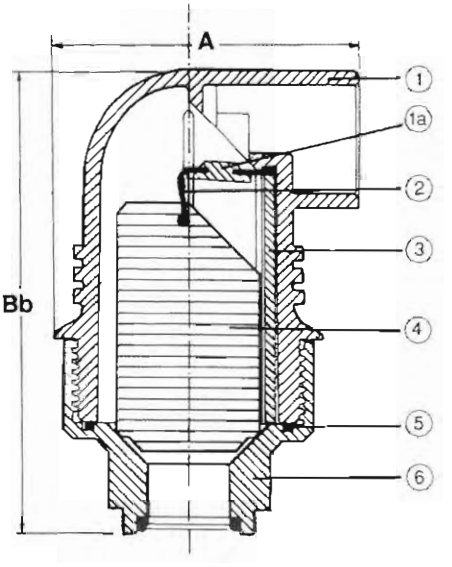


Figura 9.20: Esquema de válvula ventosa trifuncional. Los elementos que la forman son los siguientes: (1) cuerpo, (1) junta rígida, (2) junta de cierre, (3) posicionador, (4) flotador, (5) junta tórica, (6) base. Esta ventosa libera el aire mientras se está llenando la tubería; cuando el agua entra en la válvula hace subir el flotador (4) y la junta flexible presiona contra el orificio de salida cerrando la válvula de efecto cinético. Cuando en condiciones de funcionamiento se acumula aire en la válvula, el flotador desciende abriéndose el orificio de salida de la válvula automática, por donde se libera el aire. Expulsado el aire, el agua provoca de nuevo la subida del flotador que cierra el orificio de salida de la válvula automática evitando la salida de agua. Al suspenderse el bombeo disminuye la presión de la red, el flotador y la junta flexible descienden abriendo el orificio de la válvula de efecto cinético, permitiendo de esta manera la entrada de aire en la tubería. (Cortesía de Regaber, S.A.).

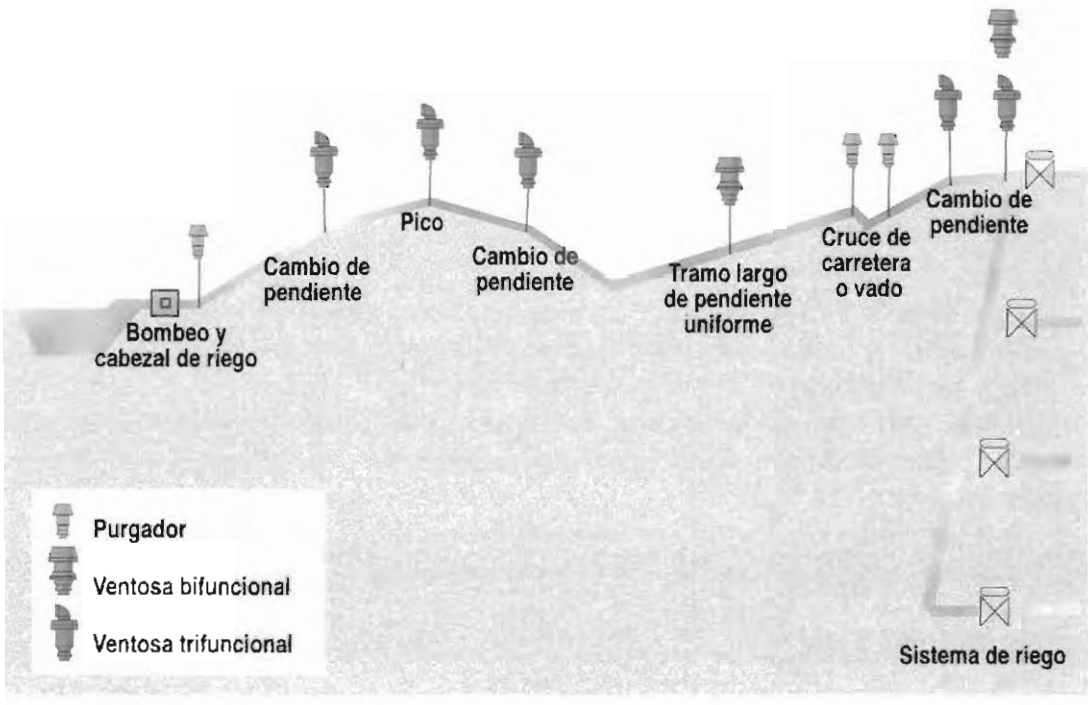


Figura 9.21: Uso más frecuente de las ventosas, en función de topografía del terreno a la que se adapta el trazado de la tubería, en instalaciones de riego localizado (Fuente: Fernández *y col.*, 1999).

En general deben colocarse en los siguientes puntos de la instalación (**figura 9.21**):

- puntos altos de la instalación.
- tramos largos con pendiente uniforme.
- cambios de pendiente en las tuberías de conducción de agua.
- salida del grupo de bombeo.

6.4.3.- Calderines

Son depósitos metálicos de diferente tamaño y forma (aunque suelen ser cilíndricos) que **contienen en su interior agua y aire a presión**. Con ellos se pretende aliviar la presión de la instalación cuando ésta sube demasiado haciendo que el agua de la red entre en el calderín y el aire que hay en su interior se comprima. Si por el contrario, la presión en la red disminuye el aire que está comprimido en el interior del calderín empuja el agua logrando así restablecer la presión adecuada. Existen dos tipos de calderines los de **contacto**, en los que el agua y el aire ocupan un solo espacio, y los de **vejiga** en los que el aire está confinado en una bolsa elástica y no entra en contacto con el agua. Los primeros son más recomendados cuando se trabaja con grandes volúmenes, pero es necesario disponer de un compresor para mantener el aire comprimido en el interior del calderín.

6.5.- Automatismos

La automatización de las instalaciones de riego localizado tiene muchas ventajas:

- Conseguir un mayor control de la dosis y frecuencia de riego
- Ahorrar mano de obra
- Poder programar otras operaciones como limpieza de filtros y el fertirriego
- Ahorrar costes programando el riego en horas de menor coste de la energía eléctrica

El grado de automatización de una instalación de riego localizado es tan variable que puede oscilar desde un nivel denominado **"cero"**, en el que la apertura y cierre de las válvulas se realiza de forma manual, hasta un nivel de automatismo **"total"**, en el que la puesta en marcha de los diferentes elementos que componen la instalación se realiza según las ordenes recibidas de determinados sensores que determinan las necesidades de agua de las plantas, e incluso de sensores que miden y corrigen instantáneamente determinados parámetros de calidad del agua (por ejemplo conductividad y pH).

La automatización del riego puede realizarse **por tiempos** (las válvulas cierran el paso del agua transcurrido un cierto período de tiempo), o **por volúmenes de agua aplicada** (las válvulas cierran tras haber pasado una determinada cantidad de agua).

6.5.1.- Automatización por tiempos

Es una forma muy sencilla de automatizar el riego, que se basa en determinar el tiempo que tiene que durar el riego teniendo en cuenta la dosis necesaria por olivo, el número de emisores por árbol y el caudal que suministra cada emisor. Cuando ha transcurrido el tiempo que hemos calculado (programa de riego) necesario para suministrar la dosis de agua previamente determinada, se cortará automáticamente el suministro de agua.

Para realizar este tipo de automatismo es necesario contar con **electroválvulas** y un **programador**. El programador, que dispone de un reloj para contabilizar el tiempo que está funcionando el sistema, envía una señal eléctrica a la electroválvula cuando ha transcurrido el tiempo calculado de riego, y ésta se encarga de cerrar el paso del agua. El programador, si es necesario, se puede encargar de poner en marcha el sistema el sistema de riego, incluso cuando se emplean motores diesel.

La **automatización por tiempos** no garantiza que el aporte de la dosis de agua sea la determinada para el cultivo, sino que garantiza que se está regando un tiempo preestablecido. Si las condiciones de presión, caudal de los emisores, etc. se mantienen, posiblemente se esté cerca de la dosis que pretendíamos aplicar, pero si estas condiciones varían a lo largo del tiempo, también variará la dosis aplicada. En este tipo de automatización un buen diseño de la instalación

y la calidad de los emisores y el hecho de que realmente sean estos autocompensantes en un rango suficientemente amplio de presiones garantiza el éxito de la automatización.

6.5.2.- Automatización por volúmenes

Con esta forma de automatización el paso de agua se corta cuando ya ha pasado **el volumen de agua que se ha fijado** para el riego. Se requieren válvulas de accionamiento automático (hidráulicas, volumétricas y electroválvulas) y en algunos casos un programador de riego. Dependiendo del tipo de elementos que se utilicen se pueden conseguir varios niveles de automatización:

Nivel 1

Cada **unidad de riego** lleva asociada una **válvula volumétrica** que inicialmente está cerrada y en la que se ha seleccionado la cantidad de agua que se desea pase hacia cada unidad. La primera válvula se abre manualmente y se cierra automáticamente cuando se llega al volumen deseado. A continuación se abre de forma manual la segunda válvula volumétrica, que igualmente se cerrará automáticamente al pasar el volumen de agua predeterminado. De contar con más unidades de riego se procederá de igual manera.

Con ayuda de un **presostato** se puede automatizar la detención del bombeo cuando se produce un aumento de presión en la red de riego debido al cierre de la válvula volumétrica, lo que se produce en el momento en que se ha aplicado el volumen de agua seleccionado.

Nivel 2

De igual forma que en el nivel 1, **cada unidad de riego** tiene en cabecera una **válvula volumétrica**, pero la primera está conectada a la segunda, esta a la tercera y así consecutivamente. En todas ellas se habrá seleccionado previamente la cantidad de agua de riego que se desea aplicar en cada unidad.

La primera válvula se abre manualmente, y cuando pasa la cantidad de agua deseada se cierra automáticamente, y **envía una señal hidráulica a través de un tubo de conexión entre ellas** a la segunda válvula, que se abre y comienza a dejar pasar el agua. Esta actuará de forma similar y tras cerrarse abrirá la tercera válvula y así sucesivamente.

Si las unidades de riego son muy grandes, es necesario disponer de **válvulas volumétricas de gran diámetro**, que generalmente son muy caras. En estos casos es frecuente efectuar el conocido **riego con satélite**, en el que **cada unidad de riego tiene una válvula volumétrica** que deja pasar agua a una sola subunidad , pero que está conectada a válvulas hidráulicas

dispuestas al principio del resto de las subunidades de esa unidad. Así, las volumétricas podrán ser más pequeñas y baratas, con lo que se logra reducir el coste del automatismo. Basta con accionar manualmente la volumétrica de la primera unidad y automáticamente se conectarán sus válvulas hidráulicas asociadas. Cuando la válvula volumétrica se cierra, se cierran las válvulas hidráulicas asociadas y se transmite la señal a la válvula volumétrica de la siguiente unidad y continúa el proceso.

Nivel 3

Es el sistema de automatización más avanzado usando válvulas y programadores, denominado **programación electrónica por volúmenes**. El elemento que rige todas las tareas u operaciones que han de realizarse en cada instante en el **programador de riego**, enviando las señales oportunas a los elementos de control y medida. Son también necesarios los contadores de agua con transmisión de datos, es decir, envían al programador información sobre la cantidad de agua que pasa por ese lugar de la red de riego, y las **electroválvulas** abren o cierran el paso de agua tras recibir la señal del programador.

6.5.3.- Automatización por ordenador

Utilizando un ordenador se puede lograr un grado total de automatización de la instalación de riego, desde la limpieza de filtros, fertirrigación, programación automática del riego según la demanda estimada en tiempo real en el propio cultivo, ajuste de parámetros químicos del agua, etc.

La automatización requiere la instalación de sensores que miden los parámetros climáticos (estimación de la ETo), los que determinan el contenido de agua del suelo, contadores y manómetros digitales que envían información puntual y precisa al ordenador, sensores de pH y conductividad del agua de riego, y equipo de corrección instantánea de los parámetros medidos. Dado el elevado precio de estos equipos, este tipo de automatización es muy útil cuando es preciso realizar riegos frecuentes con un control muy estricto de volumen de riego y dosis de abonado, lo que solamente los cultivos de alto valor económico permiten.

Referencias bibliográficas

Avila, R., Cabello, A., Lirola, J., Martín, A., Ortiz, F., 1996. Agua, Riego y Fertirrigación. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Cadahía, C., 2000. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales.Ed. Mundi Prensa. Madrid.

Esperilla Fernández, A., 1998. Riego por goteo en olivar. Serie Hojas Divulgadoras 1/98. Servicio de Relación, Tramitación e Información Agraria. Dirección General de Financiación y Medios Agrarios. Consejería de Agricultura y Comercio. Junta de Extremadura.

Fernández, R., Yruela, M.C., Milla, M., García, Juán P., Avila, R., Gavilán, P., Oyonarte, N., 1999. Manual de riego para agricultores. Riego localizado. Consejería de Agricultura y Pesca

Fuentes Yagüe, J.L., 1992. Técnicas de riego. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid.

Reche Mármol, J., 1993. Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo. Hoja Divulgadora 8-9/93 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias. Madrid.

Vademécum Materiales de Riego, 2001. Ed. Edipublic, S.L. Valencia



CAPÍTULO 10

DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO



Miguel Pastor Muñoz-Cobo
Victorino Vega Macías



1.- INTRODUCCIÓN

2.- DISEÑO AGRONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO.

3.- EJEMPLO DE DISEÑO AGRONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO

4.- NÚMERO DE EMISORES A INSTALAR POR OLIVO

5.- PÉRDIDAS DE AGUA POR EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO HUMEDECIDO POR LOS GOTEROS
5.1.- Plantación adulta
5.2.- Plantación joven

6.- RIEGO SUBTERRÁNEO.

7.- DISEÑO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO.
7.1.- Recomendaciones para el diseño de la red de riego

8.- COSTES DE BOMBEO EN RELACIÓN CON EL COSTE DE LA TUBERÍA

9.- UBICACIÓN DE LAS BALSAS DE RIEGO

Referencias bibliográficas

1.- INTRODUCCIÓN

El diseño de una instalación de riego localizado en olivar es un proceso de gran importancia ya que de él depende en gran medida el buen funcionamiento futuro del sistema, y que en el futuro y durante la vida de la plantación se puedan aplicar las dosis de agua requeridas por el cultivo. La clave para un buen diseño está en fijar las prestaciones que se le van a exigir a la instalación como:

- dotación de agua a emplear
- caudal
- presión de servicio
- eficiencia de aplicación esperada,
- necesidades de lavado cuando se empleen aguas salinas; etc.

y conocer las limitaciones a las que debe estar sometido el proyecto debido al tipo de suelo, necesidades de agua del cultivo y la cantidad de agua disponible, y finalmente la calidad del agua a aportar.

Una vez que se ha recopilado toda esta información, se proyectará todo el sistema de riego, tratando de conseguir que sea óptima la relación entre la suma de los costes que supone la instalación, más los costes de riego y las prestaciones necesarias para alcanzar los objetivos previamente establecidos. A este proceso se le denomina **diseño de la instalación** y debe ser acometido por el ingeniero proyectista del sistema de riego.

Cuando ya se ha realizado la instalación del sistema de riego localizado, ésta se presta ya a muy pocas modificaciones, por lo que desde un principio es necesario prever con relativa precisión las necesidades máximas de agua que habrá que aportar a los olivos en un futuro, momento en que los árboles alcancen el volumen óptimo de copa (volumen de copa que proporcionará la capacidad productiva máxima) y nunca diseñar para el momento actual (volumen de copa en secano).

El proceso de diseño de una instalación de riego se divide normalmente en dos fases:

- **diseño agronómico del riego**, realizado por el agrónomo, en el que se determinan las necesidades brutas de riego en las épocas de máximas necesidades, y el número de emisores por planta y su caudal en base a las características del terreno y el tipo de olivar a regar. Ello permitirá calcular el volumen de agua que ha de transportar la instalación.

- **diseño hidráulico de la instalación,** realizado por el ingeniero, y cuyo fin es determinar las dimensiones, ubicación y funcionamiento óptimo de las tuberías de conducción del agua, componentes del sistema (cabezal de riego, elementos de seguridad y control, y resto de elementos), para de esta forma satisfacer las exigencias establecidas previamente en el diseño agronómico. Un correcto diseño del sistema evitará averías y reducirá al máximo el coste de funcionamiento, lo que se traducirá en unos mínimos costes de explotación, aunque en este caso el coste de la instalación pueda no ser el más bajo. Tengamos en cuenta que la inversión en el montaje del sistema de riego es un pago que lo hacemos una vez en la vida de la instalación, mientras que los costes de funcionamiento, en especial los costes energéticos derivados de un mal diseño, los vamos a tener que pagar todos los meses en el recibo que nos emite la compañía eléctrica, o en la de adquisición de carburantes cuando el bombeo se realiza utilizando motores de combustión interna.

2.- DISEÑO AGRONÓMICO DEL RIEGO.

A la hora de diseñar una instalación de riego localizado es necesario un trabajo previo en campo que permitirá evaluar las necesidades máximas del cultivo, y con ello las dotaciones de agua que tiene que abastecer la instalación. Es la parte fundamental de todo tipo de proyecto, ya que si se cometen errores en el diseño agronómico, estos repercutirán posteriormente en el diseño hidráulico.

La capacidad de la instalación está basada en la predicción de la **evapotranspiración máxima de la plantación** a regar, cuya metodología de cálculo se describe detalladamente en el Capítulo 5 - Programación de Riegos. El requerimiento de agua se determina en función de diferentes parámetros, entre los que debemos siempre considerar los siguientes:

a) **Condiciones climáticas**. Las necesidades de agua del cultivo dependen de la evapotranspiración de referencia (**ETo**), parámetro que cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera. Para el cálculo de la **ETo** se necesitan parámetros climáticos tales como temperatura, radiación solar, humedad relativa del aire, velocidad del viento. En una determinada zona la **ETo** está sujeta a una variabilidad interanual relativamente baja para una determinada época del año, y en especial para el verano, época de máximas necesidades, por lo que el empleo de valores medios interanuales puede ser suficiente para el diseño de la instalación.

b) **Características de la plantación**. De ellas depende en gran parte las necesidades de agua del cultivo. El **coeficiente de cultivo** cuantifica la influencia del cultivo a regar (en nuestro caso el olivo). El cálculo de los valores mensuales de este coeficiente puede encontrarlos el lector en el ya referido Capítulo 5. En el diseño debemos considerar:

   - la **densidad de plantación** del olivar a regar
   - el **volumen de copa de los árboles** cuando se alcance la máxima capacidad productiva de la plantación, y no al volumen actual de la copa.

c) **Ciclo del cultivo.** Teniendo en cuenta que vamos a regar, en este caso, un cultivo perenne, hay que establecer los momentos críticos donde no se permite un déficit hídrico (ver Capítulo 4). Cuando vamos a regar un olivar de almazara podríamos plantearnos un recorte de las aportaciones durante el verano (riego deficitario controlado), pero en aceituna de mesa en verano probablemente será necesario cubrir las necesidades del cultivo, lo que nos permitirá obtener una cosecha abundante y de óptima calidad comercial.

d) **Cuantificación de las lluvias efectivas y su distribución anual**, teniendo en cuenta que solamente una fracción del agua de lluvia es almacenada en el suelo durante la estación lluviosa, fracción que puede ser programada para cubrir las necesidades del cultivo durante la estación seca. Es fundamental definir los momentos en los que la pluviometría es superior a la ETc (consumo del cultivo + evaporación desde el suelo), momentos en los que se va acumular agua en el suelo (**reserva**). La estimación de la reserva y la programación correcta de su consumo es de vital importancia en el diseño de una instalación y en el cálculo de la dotación anual de agua de riego, en especial en las situaciones (frecuentes) en que las disponibilidades de agua para el riego están muy ajustadas a la superficie de olivar que queremos regar. **La lluvia es el parámetro que ofrece mayor incertidumbre a la hora de realizar una programación del riego en el olivar**, debido a la irregularidad interanual con que se producen las lluvias. Nunca hay dos años pluviométricamente iguales. A la hora de diseñar el riego para la zona en que vamos a realizar la instalación, deberíamos considerar, con un criterio de prudencia, la pluviometría media de los **años considerados secos**.

e) **Cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.** Para ello hay que conocer en primer lugar cual es la **profundidad** útil del suelo (explorada por las raíces de los olivos) y la textura de éste (**capacidad de retención** de agua), para poder así establecer su **capacidad máxima de almacenamiento**, así como la cantidad de agua que podría ser utilizada por la planta sin que se afecte su producción. La textura del suelo y su profundidad van a imponer el **número de goteros** a instalar **por olivo**, así como la **frecuencia de los riegos**. Por ejemplo, en un suelo arenoso y poco profundo, en el que las raíces están muy superficiales, y en que además la capacidad de almacenamiento es muy reducida, debemos diseñar una instalación en la que el número de goteros por olivo debe ser elevado (aumento del volumen de suelo mojado) y la frecuencia de riegos alta. En suelos arcillosos y profundos podríamos reducir el número de emisores por

árbol y reducir asimismo el número de riegos semanales, aplicándose en este caso riegos de larga duración, con lo que probablemente mejoraríamos la eficiencia del agua aplicada.

f) **Eficiencia de la aplicación**, que nos indica la cantidad de agua, sobre el volumen total aplicado, que es aprovechada por el cultivo. Este concepto de eficiencia de la aplicación engloba por un lado la **uniformidad** de riego conseguida en el conjunto de emisores que componen la instalación, y por otro las **pérdidas de agua** que se producen, por no quedar esta a disposición de los árboles (precolación profunda por ejemplo). En este parámetro, que puede ser evaluado directamente en campo una vez realizada la instalación, cuantifica en realidad la **uniformidad de la aplicación**, es decir las variaciones en la cantidad de agua aplicada a todos y cada uno de los olivos de la plantación, y depende de:

- la calidad, tipo y número de **emisores empleados**, de lo que depende en gran medida una determinada uniformidad de distribución.
- **diseño hidráulico de la instalación** que garantice disponer de una adecuada presión (dentro del campo de trabajo recomendado por el fabricante del gotero) en todos los emisores.
- **manejo** que se haga de la **instalación de riego** procurando que la cantidad de agua aportada quede siempre en la zona explorada por las raíces activas de los árboles.

Una vez que se han determinado las necesidades del cultivo para el período de máxima demanda, hay que fijar la **eficiencia de aplicación** que se desea conseguir con la instalación, de tal manera que la cantidad de agua a aplicar a cada olivo en dicho periodo sea el adecuado, asegurando así que **todos los árboles de la plantación** reciban la dosis de agua que se ha fijado como adecuada. La cantidad de agua de riego a aplicar viene dada por la expresión:

$$Necesidades\ brutas\ (m^3/ha) = \frac{100 \times necesidades\ netas\ (m^3/ha)}{eficiencia\ de\ la\ aplicación\ (\%)}$$

en riego localizado debemos proyectar una instalación que permita siempre conseguir una eficiencia superior al 90 %.

g) **Necesidades de lavado**. Cuando se utilice **agua con alto contenido en sales**, es necesario aumentar la cantidad de agua a aportar con el riego para evitar así que se alcance una alta concentración salina dentro de los bulbos. Este incremento se denomina necesidades de lavado (**fracción de lavado**), y en el riego localizado con aguas de mala calidad es práctica habitual aportar en cada riego esta cantidad extra de agua. La fracción de lavado va a depender de la textura del suelo (cuanto más arenoso sea el terreno mejor

será el drenaje y por tanto mejor será el lavado), de la calidad del agua (cuanto menos salina sea menor será la necesidad de lavado) y de la variedad que vamos a regar, ya que existen variedades que toleran mejor la salinidad que otras. La cantidad de agua de riego a aplicar viene dada por la expresión:

$$Necesidades\ brutas\ (m^3/ha) = \frac{100 \times necesidades\ netas\ (m^3/ha)}{eficiencia\ de\ la\ aplicación\ (\%) \times [1 - fracción\ de\ lavado\ (\%)]}$$

En el Capítulo 8 dimos indicaciones sobre el cálculo de la fracción de lavado.

Finalmente para el correcto manejo de la instalación hay que conocer cual es la **disponibilidad anual máxima de agua por hectárea** y **en qué momentos vamos a poder disponer del agua**, y además la **estrategia de riego** que se va a emplear en el caso en que no dispongamos de la cantidad de agua suficiente como para regar toda la superficie de la finca aportando las necesidades óptimas.

Si solamente se dispusiera de **agua durante el invierno** tendríamos que utilizar un máximo volumen de suelo como almacén de agua, por lo que habría que procurar que la superficie mojada fuera máxima, por lo que en estos casos el número de goteros por árbol tiene que ser necesariamente alto, o mejor aún emplear sistemas de riego con suficiente cobertura (por ejemplo aspersión empleando en este caso una pluviometría compatible con el tipo de suelo), recomendación que queda avalada por evidencias experimentales en un ensayo de larga duración realizado por la Estación de Olivicultura de Jaén en Mengíbar en suelo profundo en el que este tipo de diseño de riego ha proporcionado interesantes resultados (citado por Orgaz *y col*, 1996), en especial en los años secos.

3.- EJEMPLO DE DISEÑO AGRONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO

Tratamos de diseñar una instalación de riego por goteo que permita regar 23 hectáreas de una plantación de olivar cultivado hasta ahora en secano. El marco de plantación es 10 x 10 m (100 olivos/ha), con volumen inicial de copa de 7.000 m^3/ha, pretendiendo que este olivar llegue a alcanzar cuando se alcance el óptimo productivo un volumen 9.000 m^3/ha. El suelo es franco-arenoso (limo fino + arcilla = 55 %). La profundidad del sistema radicar es de 1,20m. Para el mencionado suelo el déficit permisible de agua en el suelo (DASP) = 13,5 mm cada 10 cm de profundidad. La **tabla 10.1** muestra los parámetros climáticos medios para el cálculo de las necesidades de riego del cultivo (ETo, precipitación media de años secos y número de días de lluvia).

Utilizando los conceptos presentados en el Capítulo 5, la máxima capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, utilizable por el cultivo ascendería anualmente a:

Reserva = DASP x profundidad = 13,5 mm x (120 / 10) = 162 mm

Recordemos, que solo se podrá disponer de esta reserva los años de adecuada pluviometría. Para el diseño de la instalación consideraremos el **volumen de copa** que preveamos que alcanzarán los olivos cuando se alcance el volumen considerado como óptimo, en este caso 9.000 m^3/ha, volumen al que correspondería un diámetro medio de la copa de 6,1 m.

Tabla 10.1: Parámetros climáticos necesarios para la programación anual de riegos. Los datos corresponden a la localidad de Santo Tomé (Jaén)

Mes	Precipitaciones (mm/mes)	PE (mm/mes)	nº días lluvia al mes	ETo mm/día
O	42	39	7	81
N	47	44	8	43
D	66	59	5	30
E	51	47	5	33
F	53	48	8	46
M	59	53	8	87
A	46	42	5	110
My	35	33	3	154
Jn	10	0	0	170
Jl	5	0	0	211
Ag	7	0	0	182
S	45	42	3	122
Total	**466**	**407**	**52**	**1.269**

Supongamos que los valores mensuales de **Kc** (ver capítulo 5) calculados para la plantación a regar son los siguientes:

Mes	O	N	D	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S
Kc	0,72	0,97	0,89	0,85	0,84	0,60	0,51	0,42	0,38	0,37	0,37	0,48

Teniendo en cuenta los valores de **ETo** y **PE** (**tabla 10.1**), las dotaciones de agua que habría que aportar mensualmente por olivo en el año medio se calculan en la **tabla 10.2**.

Tabla 10.2: Cálculo de las necesidades mensuales de agua por olivo, en el supuesto presentado en el texto. Se plantea un gradual agotamiento de la reserva de agua en el suelo a lo largo de la primavera y verano, de modo que la hayamos agotado a final de septiembre. Dicha reserva a final del mes de marzo ascendía a la cifra de 82 mm, muy inferior al valor de DASP = 162 mm en este caso. En el cálculo de la dotación diaria de agua no se ha tenido en cuenta la eficiencia de la aplicación del sistema de riego.

MES	ETc mm/mes	PE mm/mes	Riego l/ol/día	Riego mm/mes	Reserva mm
O	58,5	39,2	63,0	19,5	0
N	41,7	43,5	0,0	0,0	2
D	26,8	59,0	0,0	0,0	34
E	27,9	46,8	0,0	0,0	53
F	38,1	48,5	0,0	0,0	64
M	51,8	53,4	0,0	0,0	65
A	55,6	42,6	40,0	12,0	64
My	65,2	33,0	110,0	34,1	66
Jn	64,9	0	160	48,0	49
Jl	78,1	0	160	49,6	21
Ag	66,7	0	160	49,6	4
S	58,5	41,8	44,0	13,2	0
TOTAL	**634**	**408**		**226**	

Una vez calculada la dotación mensual a aportar, descontando cada mes la parte de reserva de agua en el suelo que queremos aplicar, ya estaríamos en condiciones de calcular los litros de agua de riego que habría que aportar diariamente en el mes de máximas necesidades. La cantidad máxima a aportar mensualmente sería de 49,6 mm equivalentes a:

$$Riego\ (mm/dia) = \frac{49{,}6\ \ mm/mes}{31\ dias/mes} = \ \ 1{,}60\ \ \ mm/dia$$

Después debemos considerar la eficiencia del sistema. Con una eficiencia en la aplicación del **90 %** podemos considerar que un riego localizado está bien diseñado. La dosis diaria a aplicar por olivo será:

$$Riego\ bruto = \frac{100 \times Riego\ neto}{eficiencia\ \ aplicación\ (\%)} = \frac{100 \times 1{,}60}{90} = 1{,}78\ mm/dia <> 1{,}78\ l/m^2$$

Los litros de agua que habría que aportar diariamente a los olivos de la plantación, que ocupan una superficie de 10 x 10 = 100 m^2 / olivo serían:

$$\textit{Riego bruto (}l/m^2\textit{) x Superficie ocupada por olivo (}m^2\textit{)} = 1{,}78\ l/m^2 \times 100\ m^2/olivo = \\ = \mathbf{178\ litros/olivo.\ día}$$

Si pretendemos regar en **dos sectores** y emplear únicamente las horas semanales con un coste barato de la energía eléctrica (horas valle), lo más recomendable puede ser acogernos a la facturación con la **triple tarifa (sábados y domingos)** que nos permite regar 80 horas valle por semana (40 horas en cada sector), la dotación que se debe poder aportar con la instalación en una hora debe ser de:

$$\frac{178\ l/dia \times 7\ días/semana}{40\ horas/semana} = 31{,}15\ litros/hora <> 32\ litros/olivo.hora$$

Para poder regar con esta instalación deberíamos disponer de un caudal de:

$$\frac{32\ l/olivo.hora \times 100\ olivos/ha}{3.600\ s/hora \times 2\ sectores} = 0{,}44\ litros/s.ha$$

Teniendo en cuenta que vamos a regar 23 hectáreas, el caudal continuo a bombear será:

$$23\ ha \times 0{,}44\ l/s.\ ha = \mathbf{10{,}12\ l/s <> 36,\ 4\ m^3/h}$$

Otra solución, tratando de abaratar la instalación y de reducir los caudales necesarios, podría ser emplear una dotación de **24 l / olivo.hora** lo que nos obligaría a utilizar para regar alguna de las de las llamadas horas llano. En este caso el caudal necesario sería de:

$$\frac{24\ l/olivo.hora \times 100\ olivos/ha}{3.600\ s/hora \times 2\ sectores} = 0{,}33\ litros/s.ha$$

Teniendo en cuenta que vamos a regar 23 hectáreas, el caudal a bombear será:

$$23\ ha \times 0{,}33\ l/s.\ ha = \mathbf{7{,}59\ l/s <> 27{,}32\ m^3/h}$$

y el número de horas que en este caso habría que regar sería de:

$$\frac{178\ l/dia \times 7\ días/semana}{24\ litros/hora} = 52\ horas/semana.sector$$

por lo que habría que utilizar:

(52 – 40) h x 2 sectores = 12 h x 2 sectores = 24 horas llano cada semana.

Una vez conocidos el abaratamiento, en este caso, del coste de la instalación, así como los costes de energía eléctrica en el bombeo del agua de riego durante los próximos años, podremos decidir sobre la opción que debemos aceptar a la hora de diseñar la instalación. En el apartado 7 de este capítulo aprenderemos a calcular la influencia que el diseño de la instalación (elección del diámetro de las tuberías) tiene en el coste anual de la energía consumida en el riego. En el Capítulo 12 el lector encontrará las modalidades de contratación de suministro eléctrico, aspecto que siempre debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar las instalaciones de riego.

4.- NÚMERO DE EMISORES A INSTALAR POR OLIVO

En el apartado anterior hemos calculado la dotación horaria que debemos poder suministrar con nuestra instalación. La decisión del **tipo de riego que vamos a instalar** se hará teniendo en cuenta que debemos **mojar una adecuada superficie de suelo**. En cultivos leñosos dicha superficie mojada debe expresarse como porcentaje de suelo sombreado por la copa del árbol. Tengamos en cuenta que para un determinado volumen de agua aportado la producción del olivar puede resentirse (especialmente en los años secos) cuando la superficie de suelo mojada no es la adecuada.

La anterior afirmación queda justificada teniendo en cuenta los datos de un experimento de campo realizado en olivar tradicional adulto en la provincia de Jaén (Pastor *y col.*, 1996), donde se aportó igual cantidad anual de agua empleando **2**, **3**, **4**, **6** ó **8 emisores por olivo**, situados éstos bajo la copa de los árboles. La producción en **años secos** aumentó al hacerlo el número de puntos de agua (**figura 10.1**).

Los datos del mencionado trabajo pusieron de manifiesto que para idéntica dosis de agua de riego (2.000 m^3/ha), la producción aumentó casi dos kilogramos de aceituna por cada punto de goteo más que se instala por olivo. Sin embargo en los **años lluviosos** el número de goteros instalados por olivo no pareció ser tan relevante, ya que un importante volumen de suelo permaneció mojado por el agua de lluvia durante muchos meses, razón por la que en estos años probablemente no se han observaron diferencias de producción cuando se ha aplicado el agua de riego empleando un número de goteros diferente. Estos resultados se deben posiblemente al hecho de que el suelo actúa de almacén de agua, y cuando esta no se consume totalmente en primavera queda a disposición de la planta durante el verano, por lo que gran número de raíces están activas para su absorción, al mantenerse un suficiente volumen de suelo humedecido.

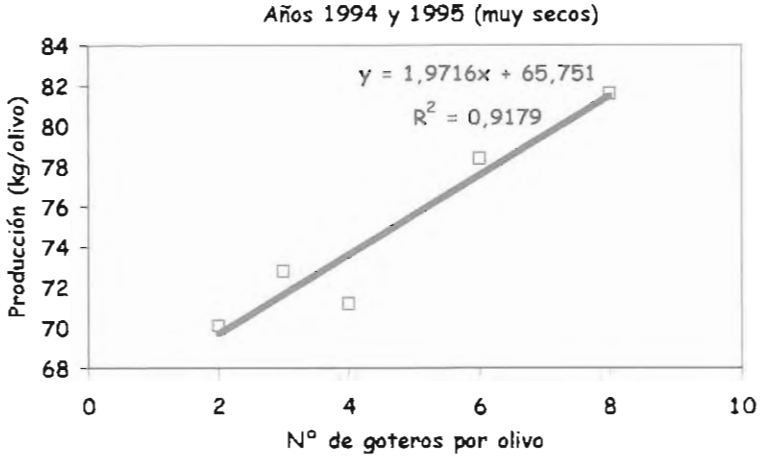


Figura 10.1: Respuesta del olivo a la variación del número de emisores en que se aplica el riego (superficie de suelo mojada). Ensayo realizado en Santisteban del Puerto (Jaén) en un olivar tradicional adulto. En todos los casos se aplicó una dotación anual de 2.000 m3 / ha y un caudal horario de 16 l / árbol.

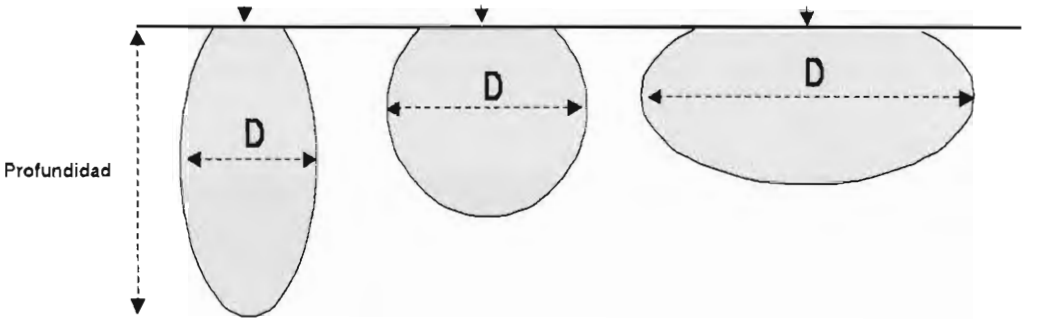
Cuando nos decidamos por instalar **riego por goteo,** el **tipo de gotero** (caudal suministrado en una hora) y el **número de goteros** a instalar por árbol depende de la naturaleza del suelo, fundamentalmente de su textura, ya que un determinado emisor puede mojar una superficie bastante diferente en un suelo arenoso y en un suelo arcilloso (**figura 10.2**).

Para un **correcto diseño de la instalación** es absolutamente necesario que en los diferentes tipos de suelo de la finca hagamos unos ensayos con los posibles goteros o emisores a utilizar, lo que permitirá determinar con mayor exactitud las dimensiones reales de los bulbos:

- diámetro medio de la **superficie de suelo mojada por el gotero** inmediatamente después de dar la dosis de riego,
- **diámetro medio del bulbo** a 30 cm de profundidad,

y a partir de este último dato podremos determinar el número de goteros a instalar en cada caso.

Para ilustrar la influencia de la textura del suelo sobre la superficie de suelo mojado podríamos dar unas cifras teóricas medias (**tabla 10.3**), que tratan de cuantificar la variación de dicha superficie en función de la textura del suelo y del caudal del emisor empleado, cifras orientativas que tienen solamente un valor didáctico y que no deberían ser tenidas muy en cuenta a la hora de plantearnos el diseño real de una instalación, en cuyo caso deben emplearse medidas tomadas directamente en la parcela a regar.



Tipo de suelo	Arenoso		Franco		Arcilloso	
Tipo de gotero (l / h)	4	8	4	8	4	8
D (cm)	75	100	110	140	145	180

Figura 10.2: Dimensiones (D = diámetro) y forma de los bulbos húmedos en función del tipo de suelo (textura) y del caudal horario de los goteros.

Tabla 10.3: Diámetro de los bulbos y superficie media mojada por cada gotero en función de la textura del suelo y el caudal unitario de los goteros.

Textura del suelo	Diámetro del bulbo a 30 cm de profundidad (cm)		Superficie mojada a 30 cm de profundidad (m2)*	
	Gotero 4 l/h	Gotero 8 l/h	Gotero 4 l/h	Gotero 8 l/h
Arenoso	75	100	0.44	0.78
Arenoso-franco	85	120	0.57	1.13
Franco-arenoso	95	130	0.70	1.33
Franco	110	140	0.95	1.86
Franco-limoso	120	150	1.13	1.77
Franco-arcilloso	130	160	1,33	2.01
Arcillo-limoso	135	170	1,43	2.25
Arcilloso	145	180	1,65	2.54

(*) Superficie mojada = π x D / 4

Deberíamos procurar que el sistema llegue a mojar (a 30 cm de profundidad) al menos el 25 % de la superficie sombreada por la copa del olivo, por lo que el número mínimo de goteros a instalar debería ser el siguiente:

$$Número\ de\ goteros\ /olivo\ = \frac{0{,}25 \times Sc\ (m^2 / olivo\ )}{Sg\ (m^2 / gotero)}$$

siendo **Sc** la superficie cubierta por la copa de los olivos y **Sg** la superficie mojada por el gotero durante el tiempo de riego (midiendo el diámetro del bulbo a 30 cm de profundidad).



Fotografía 10.1: Bulbos húmedos formados en un suelo franco-arcillo por goteros de 2,3 l/hora tras 8 horas consecutivas de riego. Los emisores (goteros integrados en la tubería) están situados a 1,0 m de distancia.

Estamos ya en condiciones de empezar a diseñar el dispositivo de riego. Si **por ejemplo** pretendiéramos regar un olivar con una densidad de plantación de 100 olivos / ha, y tenemos en cuenta que este olivar cuando llegue a su óptima capacidad de producción podría alcanzar un volumen de copa de 9.000 m^3 / ha (diámetro medio de la copa D = 6,1 m), en esta situación la **superficie cubierta por la copa del olivo** (Sc) vendrá dada por la expresión:

$$Sc = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 6{,}1^2}{4} = 29{,}21 \quad m^2 / olivo$$

por lo que la **superficie que debe mojarse** será:

$$Superficie\ mojada = 25 \times 29{,}21\ m^2/olivo\ /\ 100 = 7{,}3\ m^2/olivo$$

Si quisiéramos regar en un suelo de **textura arcilloso-limosa**, y pretendemos instalar emisores de **4 l/hora**, conociendo que cada uno de ellos mojaría **1,43 m²** de suelo a 30 cm de profundidad (ver **tabla 10.3**), el número de goteros que deberíamos instalar por olivo sería:

$$Número\ de\ goteros\ /\ olivo = \frac{0{,}25 \times 29{,}21\ (m^2\ /\ olivo)}{1{,}43\ (m^2\ /\ gotero)} = 5{,}1 <> 6\ goteros\ /\ olivo$$

Si se pretendiera regar con emisores de **8 l/hora**, en este caso (ver **tabla 10.3**), conociendo que cada uno de ellos mojaría **2,25 m²** de suelo a 30 cm de profundidad, el número de goteros que deberíamos instalar por olivo sería:

$$Número\ de\ goteros\ /\ olivo = \frac{0{,}25 \times 29{,}21\ (m^2\ /\ olivo)}{2{,}25\ (m^2\ /\ gotero)} = 3{,}2 <> 4\ goteros\ /\ olivo$$

Si en lugar de regar en un suelo arcilloso-limoso tuviésemos que regar un **suelo arenoso** (ver **tabla 10.3**) y **poco profundo**, conociendo que cada uno de ellos mojaría **0,44 m²** de suelo a 30 cm de profundidad, el número de goteros de 4 l/hora que deberíamos instalar por olivo sería:

$$Número\ de\ goteros\ /\ olivo = \frac{0{,}25 \times 29{,}21\ (m^2\ /\ olivo)}{0{,}44\ (m^2\ /\ gotero)} = 16{,}6 <> 17\ goteros\ /\ olivo$$

En este caso, si las condiciones climáticas de la zona lo permiten (reducida incidencia de viento fundamentalmente), sería preferible que en lugar de los goteros instalemos un **microaspersor** (en la actualidad ya existen micros autocompensantes de bajo caudal de emisión), solución probablemente mucho más económica y racional que instalar 17 goteros por olivo, lo que además se traduciría en una sensible reducción del coste de la instalación. Si hubiese que recurrir a emplear goteros, en este caso lo recomendable sería emplear emisores de bajo caudal y recurrir a dos líneas de emisores por fila de árboles.

Emplear un número relativamente alto de goteros por olivo, y en definitiva un adecuado **porcentaje de suelo mojado** implica una serie de **ventajas** como:

- mejor uniformidad en la aplicación del agua, ya que para un mismo tipo de emisor, dicha uniformidad aumenta al hacerlo el número de emisores instalados por planta.
- mayor **seguridad en caso de obturación** de emisores ya que cada árbol dispone de un gran número de emisores, por lo que la planta puede estar varios días sin sufrir estrés hídrico,

- mayor capacidad de **almacenamiento de agua** en el suelo,
- interesante en **plantaciones jóvenes** donde el crecimiento y el anclaje del árbol al suelo puede estar condicionado por el volumen y superficie de suelo mojado.
- menores pérdidas de agua por **percolación profunda**.

Pero también algunos **inconvenientes** como:

- **mayor coste por olivo** al tener que instalar una mayor cantidad de emisores, aunque este coste es asumible teniendo en cuenta las ventajas que proporciona. Teniendo en cuenta que el precio de un emisor autocompensante es independiente del caudal que suministra, y suponiendo un precio del gotero de 0,2 , la posibilidad de instalar 2 unidades por olivo de 8 l/h como alternativa a instalar 8 de 2 l/h solo encarecería dicho coste en 1,2 por olivo, diferencia que es poco importante en un rango de coste total de instalación por olivo comprendido entre los 18 y 36 en plantaciones tradicionales.
- **mayor evaporación de agua desde los bulbos ,** si el manejo de la instalación no es el más correcto; a continuación abordaremos esta problemática.

5.- PÉRDIDAS DE AGUA POR EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO HUMEDECIDO POR LOS GOTEROS

La **pérdida de agua por evaporación** desde los bulbos no es nunca despreciable, y tiene una gran importancia en los casos frecuentes en que:

- se aplican **riegos deficitarios** con dotaciones de agua relativamente pequeñas, y
- cuando se aplican riegos de **muy alta frecuencia**, con muy cortos intervalos de tiempo entre riegos.

Para comprender la expresión que nos va a permitir el **cálculo de las pérdidas de agua por evaporación desde los bulbos** conviene saber que la evaporación del agua desde un suelo recién humedecido y desprovisto de vegetación en un fenómeno que se desarrolla en **tres fases** (Villalobos *y col.*, 2002):

- en la **primera fase** la superficie del suelo se encuentra húmeda y la conductividad hidráulica es muy elevada, de modo que la evaporación depende sobre todo de la energía disponible en la superficie (radiación solar). En esta fase la evaporación es aproximadamente igual a la ETo. Esta fase se mantiene hasta que se evapora una cierta cantidad de agua, función del tipo de suelo, variando entre 5-6 mm en suelos con buen drenaje y entre 12-14 mm en suelos arcillosos.
- en una **segunda fase** la conductividad hidráulica del suelo se ha reducido ya hasta valo-

res que limitan el flujo de agua hacia la superficie del terreno, por lo que la evaporación poco a poco se va reduciendo según la raíz cuadrada del tiempo transcurrido desde que comenzó esta fase.

- la **tercera fase** corresponde al estado de suelo relativamente seco, fase en la que el transporte de agua en el interior del suelo se produce en forma de vapor, por lo que la evaporación es extremadamente baja.

A efectos prácticos y en riego por goteo se puede calcular la evaporación desde los goteros teniendo en cuenta únicamente las dos primeras fases del proceso.

En **resumen**, la evaporación depende fundamentalmente de la disponibilidad de energía en la superficie del suelo (radiación solar), así como del contenido de agua en la superficie, por lo que cuando esta superficie se va secando, la evaporación se va reduciendo hasta alcanzar valores muy bajos.

Teniendo en cuenta el proceso presentado anteriormente, Bonachela *y col.* (2001) han desarrollado un modelo para la estimación de la evaporación de agua desde la superficie del suelo humedecida por los goteros, modelo que permite afirmar que para un mismo tipo de suelo las pérdidas de agua por evaporación dependen más del **período de tiempo entre riegos** (días) que del número de emisores empleados para aplicar una determinada cantidad de agua.

Tal como se expuso en el apartado 1.1.2.3 del capítulo 5, la evaporación desde la superficie humedecida por los goteros de un olivo viene dada por la expresión:

$$E = ETo \times Kg \quad [1]$$

en la que:

$$Kg = \frac{1{,}4 \times e^{-1{,}6 \times Qd} + \left(4{,}0 \times \frac{\sqrt{i-1}}{ETo}\right)}{i} \times fw \quad [2]$$

en donde **Qd** es la fracción de radiación interceptada por la copa de los olivos de la plantación a regar; **i** es el intervalo entre riegos, en días; **ETo** es la evapotranspiración de referencia, en mm/d; y **fw** es la fracción de suelo humedecido por los goteros, expresada en tanto por uno, que depende del número de goteros instalados por árbol, de la densidad de plantación y del diámetro del bulbo en la superficie del terreno. Los valores de **Qd** y **fw** se calculan empleando la metodología de cálculo mostrada en el apartado 1.1.3 subapartado b) del capítulo 5.

Como ya se dijo anteriormente para cuantificar la **evaporación desde los bulbos húmedos** (Villalobos *y col.*, 2002) podemos subdividir el proceso en dos fases. En la **primera fase** del proceso, el coeficiente 1,4 de la ecuación [2] cuantifica, por un lado la relación entre la

ET de una cubierta de gramíneas (**ETo**) y la evaporación desde una superficie libre de agua, así como la advección (efecto ropa tendida) fenómeno por el que se intensifica la evaporación de agua desde las manchas húmedas aisladas en un ambiente muy seco en el que existe una muy pequeña superficie mojada (las producidas por los goteros cuando se riega). Finalmente, para cuantificar la **evaporación en la segunda fase** del proceso se emplea una constante, que aunque depende del tipo de suelo, su valor es cercano a 4,0.

5.1.- Plantación adulta

Aplicando la expresión [1] podemos simular para una plantación adulta el efecto que produciría **el intervalo entre riegos**, así como el **número de emisores instalados por olivo** sobre la pérdida de agua por evaporación desde la superficie de los bulbos.

Veámoslo con un **ejemplo**. Pretendemos regar un olivar con una densidad de plantación de 100 árboles/ha , cuyo volumen de copa es 9.000 m^3/ha (diámetro de los árboles = 6,11 m < > superficie cubierta por la copa 29,3 m^2). Para aplicar el agua de riego tenemos dos alternativas, emplear goteros de 4 l/h o goteros de 8 l/h. El diámetro de los bulbos y la superficie que moja cada gotero será:

Caudal del gotero	4 l/h	8 l/h	4 l/h	8 l/h
	en superficie		a 30 cm profundidad	
Diámetro del bulbo (m)	1,1	1,4	1,3	1,60
Superficie mojada (m^2/gotero)	0,95	1,54	1,6	2,01

El siguiente paso es calcular el número de goteros a instalar si queremos conseguir una superficie mojada del 25% de la superficie cubierta por la copa de los árboles. Seguimos trabajando con la plantación de 100 árboles/ha y 9.000 m^3/ha de volumen (D = 6,11 m < > 29,3 m2/olivo). El número de goteros a instalar en cada caso sería (ver apartado 4):

Nº goteros = [25% superficie cubierta] / [superficie que moja un gotero a 30 cm de profundidad]

Nº goteros de 4 l/h = [29,3 x 25 / 100] / 1,33 = 5,5 < > 6 goteros/árbol

Nº goteros de 8 l/h = [29,3 x 25 / 100] / 2,01 = 3,6 < > 4 goteros/árbol

En la **tabla 10.4** se muestran las pérdidas anuales y mensuales (Eg) de agua por evaporación desde los bulbos, suelo humedecido por los goteros, para cada una de las dos alternativas propuestas. Vemos como a medida que aumentamos el intervalo de tiempo transcurrido entre riegos reducimos en ambos casos las pérdidas de agua por evaporación desde los bulbos.

También observamos, como cabía esperar, que para un determinado número de días entre cada dos riegos las dos alternativas son muy similares entre sí, ya que mojan un volumen de suelo muy similar.

Tabla 10.4: Evaporación anual (mm) desde los bulbos humedecidos por los goteros en una plantación de olivar con 100 olivos/ha y volumen de copa de 9.000 m^3/ha que se riega utilizando 6 goteros de 4 l/h ó 4 goteros de 8 l/h Se simulan la cuantía de dichas pérdidas para riegos diarios y cada 6 días (cálculos realizados empleando los datos climáticos de la tabla 1).

MES	ETo mm/mes	6 goteros de 4 l/h				4 goteros de 8 l/h			
		Riego diario		Riego cada 6 días		Riego diario		Riego cada 6 días	
		Kg	Eg	Kg	Eg	Kg	Eg	Kg	Eg
E	32,9	0,000	0	0	0	0	0	0	0
F	45,1	0,000	0	0	0	0	0	0	0
M	87,1	0,000	0	0	0	0	0	0	0
A	110,1	0,047	5,16	0,031	3,41	0,051	5,57	0,034	3,69
My	154,1	0,047	7,23	0,025	3,84	0,051	7,80	0,027	4,14
Jn	168,9	0,047	7,92	0,023	3,87	0,051	8,55	0,025	4,19
Jl	211,1	0,047	9,90	0,020	4,29	0,051	10,68	0,022	4,62
Ag	182,0	0,047	8,53	0,022	4,06	0,051	9,21	0,024	4,39
S	122,1	0,047	5,73	0,029	3,50	0,051	6,18	0,031	3,79
O	80,9	0,047	3,79	0,040	3,27	0,051	4,09	0,044	3,53
N	42,9	0,000	0	0	0	0	0	0	0
D	30,1	0,000	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**1.113**		**48,3**		**26,2**		**52,1**		**28,3**

Eg = evaporación mensual desde los bulbos (Eg = Kg x ETo)
Kg = coeficiente de evaporación desde la superficie de los bulbos

El criterio de regar diariamente o regar una vez cada 6 días influye sobre la cantidad de total de agua a aportar anualmente con el riego, así como sobre los porcentajes de agua evaporada con respecto a la dosis total anual de agua aplicada:

Turno de riego	Riego mm/año	Evaporación goteros mm/año	Evaporación %
diario	242	50,1	21
cada 6 días	218	27,2	12

En el cómputo anual de necesidades de agua de riego, la decisión de regar diariamente ocasiona un consumo de agua un 11 % mayor que cuando se riega cada 6 días. Con los datos anteriores a la vista, y pensando en la situación deficitaria de agua de las zonas olivareras, podemos recomendar que la aplicación de la dosis de riego se realice con un intervalo de tiempo entre aplicaciones lo más grande posible, siempre que este intervalo sea compatible con la dosis de agua a aplicar, con el tipo de instalación de que disponemos, y con el tipo de suelo que debe ser capaz de soportar los riegos sin que se produzcan pérdidas por precolación profunda o por escorrentía superficial.

5.2.- Plantación joven

En las plantaciones jóvenes es en las que debemos tener un especial cuidado a la hora de aplicar los riegos, ya que con riegos muy frecuentes las pérdidas de agua por evaporación desde los goteros pueden ser cuantitativa y porcentualmente muy grandes. En los primeros años en estas plantaciones la superficie de suelo sombreada por la copa de los olivos es muy pequeña, por lo que la fracción de radiación solar interceptada por dicha copa (Qd de la expresión [2]) también es muy pequeña, por lo que se dispone de gran cantidad de energía solar para evaporar agua desde los goteros, al estar las manchas húmedas expuestas al sol gran parte del tiempo (ver **fotografía 10.2**).



Fotografía 10.2: En plantaciones jóvenes, con una escasa cobertura del terreno debida a su edad, las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo mojado por los goteros pueden ser cuantiosas, especialmente cuando el manejo de la instalación de riego no es correcta. Si alargaramos razonablemente el período de tiempo transcurrido entre riegos podemos reducir las pérdidas de agua por evaporación.

Veámoslo también con un **ejemplo**. Supongamos que en las condiciones climáticas de la tabla 10.1 vamos a regar un olivar joven con una densidad de plantación de 312 árboles / ha, cuyo volumen de copa es 2,65 m^3/olivo (D = 1,5 m y H = 2,25 m). El suelo tiene una profundidad de 100 cm y una fracción LFA = 50%. En mediciones de campo se ha determinado que con goteros de **4 l/hora** el bulbo húmedo tiene un diámetro de 1,2 m en la superficie del suelo (Sg = 1,13 m^2/bulbo). Hay instalados 2 goteros de 4 l/h por olivo.

Aplicando la metodología presentada en el capítulo 5 (apartado 5), hemos calculado las necesidades totales de agua de riego, en función del intervalo entre riegos. En este caso hemos realizado la simulación para **riegos diarios** y para riegos **cada 3** ó cada **6 días**. Por tratarse de árboles jóvenes con raíces que no exploran la totalidad del suelo, a efectos de programación del riego, despreciamos en este caso el agua almacenada en el suelo como reserva, realizando los cálculos para el periodo abril-octubre. La siguiente tabla muestra las necesidades de riego (expresadas en mm/día), necesidades que para cada uno de los tres intervalos entre riegos considerado se desglosan en transpiración del olivo (**T**) y evaporación desde los goteros (**Eg**). Las necesidades totales de riego se calculan como **T + Eg**:

MES	ETo	Kt	T	Riego diario			Riego cada 3 días			Riego cada 6 días		
	mm/día		mm/día	Kg	Eg mm/día	T+Eg mm/día	Kg	Eg mm/día	T+Eg mm/día	Kg	Eg mm/día	T+Eg mm/día
A	3,67	0,034	0,12	0,090	0,33	0,46	0,066	0,24	0,37	0,044	0,16	0,28
My	4,97	0,04	0,20	0,090	0,45	0,65	0,057	0,28	0,48	0,036	0,18	0,38
Jn	5,63	0,047	0,26	0,090	0,51	0,77	0,054	0,30	0,57	0,034	0,19	0,45
Jl	6,81	0,047	0,32	0,090	0,61	0,93	0,050	0,34	0,66	0,031	0,21	0,53
Ag	5,87	0,046	0,27	0,090	0,53	0,80	0,053	0,31	0,58	0,033	0,19	0,46
S	4,07	0,042	0,17	0,090	0,37	0,54	0,063	0,26	0,43	0,041	0,17	0,34
O	2,61	0,046	0,12	0,090	0,24	0,36	0,081	0,21	0,33	0,056	0,14	0,26
Total año	**1.267**		**45**		**93**	**137**		**59**	**104**		**38**	**83**

Kt = coeficiente de transpiración; T = transpiración de los olivos = ETo x Kt
Kg = coeficiente de evaporación desde los goteros; Eg = agua evaporada desde los goteros = ETo x Kg

Las pérdidas de agua por evaporación que se producirían mensualmente en este caso son los que se muestran en la **tabla 10.5**.

Tabla 10.5: Dotaciones anuales de agua de riego y pérdidas anuales de agua por evaporación desde el suelo mojado por los goteros en una plantación joven con densidad de plantación 312 olivos/ha y árboles con un diámetro de copa de 1,5 m. Se han instalado 2 goteros de 4 l/h por olivo, que mojan 1,13 m^2/bulbo; se emplean turnos de riego diarios, cada tres o cada seis días. La cantidad de agua a aportar con el riego es la suma de la transpiración más las pérdidas por evaporación desde los bulbos.

MES	Riego diario		Riego cada 3 días		Riego cada 6 días	
	Riego l/olivo.mes	Evaporación l/olivo.mes	Riego l/olivo.mes	Evaporación l/olivo.mes	Riego l/olivo.mes	Evaporación l/olivo.mes
A	365	265	294	194	228	128
My	580	402	416	244	327	155
Jn	742	504	544	290	436	182
Jl	927	609	632	324	507	199
Ag	793	525	556	297	445	185
S	465	317	369	221	292	144
O	273	181	245	156	195	107
Total año	**4.144**	**2.803**	**3.054**	**1.726**	**2.429**	**1.101**
Evaporado (%)		**68**		**57**		**38**

El criterio de regar diariamente o regar una vez cada 3 ó cada 6 días influye sobre la cantidad de total de agua a aportar anualmente con el riego, así como sobre los porcentajes de agua evaporada con respecto a la dosis total anual de agua aplicada:

Turno de riego	Riego l/olivo	Evaporación goteros l/olivo	Evaporación %
diario	4.144	2.803	68
cada 3 días	3.054	1.726	57
cada 6 días	2.429	1.101	38

En las **plantaciones jóvenes** la decisión de **regar diariamente** ocasiona un consumo de agua un 70 % mayor que cuando se riega cada 6 días, y un 36 % mayor que cuando se riega cada 3 días. Para idénticas condiciones climáticas, las pérdidas por evaporación en esta plantación joven (**tabla 10.5**) son porcentualmente mucho mayores que en la plantación adulta (**tabla 10.4**), por lo que desde el punto de vista de la evaporación de agua desde los goteros interesa siempre, también en este caso, alargar el período de tiempo transcurrido entre riegos.

Debemos tener también en cuenta que en los primeros años **no interesa colocar el número total de emisores** para el que se proyecta la instalación, número al que se llegará cuando la plantación alcance una adecuada cobertura del suelo. Esta afirmación es especialmente importante cuando el precio del agua es elevado. Teniendo en cuenta que nuestra plantación joven (cuyos datos mostramos en la **tabla 10.5**) en el año en que se realizan los cálculos necesitaría:

$$Número\ de\ goteros\ /\ olivo = \frac{0{,}25 \times Sc\ (m^2\ /\ olivo)}{Sg\ (m^2\ /\ gotero)} = \frac{0.25 \times 1{,}77\ m^2\ /\ olivo}{1{,}13\ m^2\ /\ gotero} = 0{,}39 < > 1\ gotero\ /\ olivo$$

el empleo de un solo gotero por árbol, en lugar de 2, y para un intervalo entre riegos de 3 días, permitiría en este caso una importante reducción del consumo anual de agua, el 33%, equivalente a 782 l /olivo y año, tal como podemos deducir de los datos mostrados en la siguiente tabla:

MES	1 gotero por olivo		2 goteros por olivo	
	Riego l/olivo.mes	Evaporación l/olivo.mes	Riego l/olivo.mes	Evaporación l/olivo.mes
A	197	97	294	194
My	305	126	431	253
Jn	399	150	544	299
Jl	485	168	653	335
Ag	421	153	575	307
S	258	110	369	221
O	273	81	255	163
Total año	**2.338**	**886**	**3.120**	**1.772**
Evaporado (%)		**38**		**57**

Teniendo en cuenta los datos y simulaciones presentadas anteriormente, por razones económicas y en suelos con suficiente profundidad explorada por las raíces y capacidad de retención, la instalación debería diseñarse de modo que podamos regar en un reducido número de días a la semana, lo que reducirá las pérdidas de agua por evaporación y reduciría asimismo los costes de energía, aunque también es verdad que podría aumentar el coste de la inversión al tener que regar en menor número de sectores. Combinando los costes de funcionamiento y el de la inversión podremos tomar la solución económicamente más ventajosa.



Fotografía 10.3: Una práctica interesante para reducir las pérdidas de agua por evaporación desde los goteros podría ser situar los emisores a la sombra, bajo la copa de los olivos, pero alejados suficientemente de los troncos, lo que evitará daños en cuello de la raíz. Olivar de Úbeda (Jaén) regado utilizando un anillo de tubería alrededor de los troncos, tubería en la que se han insertado 4 goteros. Una conexión con la tubería lateral, enterrada en este caso, alimenta los anillos de goteo. La utilización de tubería goteadora será probablemente más ventajosa

Una práctica interesante para reducir las pérdidas de agua por evaporación podría ser **situar los emisores a la sombra**, bajo la copa de los olivos, pero alejados suficientemente de los troncos, lo que evitará daños en cuello de la raíz. Desde el punto de vista de la reducción de la evaporación, situar los goteros bajo la copa de los olivos puede tener varias ventajas:

- se reduce la cantidad de radiación solar disponible para evaporar agua,
- el suelo normalmente está cubierto por la hojarasca, lo que puede ayudar a reducir la velocidad de evaporación de agua desde el suelo, reduciendo el tiempo de evaporación en la primera fase del proceso, ya que la hojarasca se seca antes que los primeros centímetros de un suelo desnudo, permitiendo así un mejor aprovechamiento del agua de riego por el olivo,
- el diámetro de los bulbos bajo la copa de los olivos es menor (**tabla 10.6**), ya que la infil-

tración en esta zona es mucho mayor que en el centro de la calle (Pastor, 1989), debido a una mejor estructura del suelo como consecuencia del mayor contenido en materia orgánica (Soria *y col.*, 2003), y a no existir el efecto sellado de la superficie del terreno como consecuencia del impacto directo de las gotas de agua de lluvia, ya que la copa de los árboles y la hojarasca reducen la energía cinética de las gotas y evitan además el impacto directo de éstas sobre la superficie del terreno.

Tabla 10.6: Geometría de los bulbos en una plantación de olivar con marco 8 x 8 m en un suelo de textura franco-arcillosa. Se riega empleando goteros autocompensantes con un caudal de 2,3 l/h integrados en una tubería de PE de 17 mm a una distancia entre emisores de 1,00 m.

Zona	Diámetro de la mancha húmeda (cm)	Superficie exterior mojada (m^2/bulbo)
Bajo la copa	38	0,11
Centro de la calle	76	0,45

En parcelas en las que la pendiente del terreno y la alineación de las filas de plantación lo permitiesen, sería interesante ubicar las líneas de tubería de goteo en dirección este-oeste, dirección en el que la radiación solar incidente sobre los bulbos húmedos sería menor, pero esto no es posible ponerlo en práctica en la mayoría de las plantaciones.

6.- RIEGO SUBTERRÁNEO

El **riego subterráneo** (ver fotografía 26 del capítulo 9) es un sistema de riego que bien manejado permite disminuir o incluso anular las pérdidas de agua por evaporación, que ya hemos visto que nos son despreciables en los sistemas de riego localizado superficiales. Por esta razón nos ha parecido muy oportuno hablar de este sistema de riego en este momento.

En un sistema de riego subterráneo la superficie del terreno no se humedece, siempre que la instalación esté bien diseñada y si el manejo de la misma es el correcto. En este caso la aplicación de riegos diarios puede ser lo más conveniente, al permitir mantener un contenido de agua y nutrientes uniforme a lo largo de toda la campaña de riego, lo que tiene una gran importancia agronómica. Esta opinión ha sido contrastada experimentalmente a lo largo de varios años (Pastor *y col.*, 2003), habiéndose demostrado que el riego subterráneo proporciona una mayor eficiencia que el riego superficial (**figura 10.3**), ya que para igual volumen de agua de riego aplicada y para igual carga por árbol permite obtener frutos con mayor conte-

nido graso, y en definitiva una mayor cosecha de aceite. Este efecto se hace aún más patente cuando se emplean estrategias de **riego deficitario**, estrategias en las que la reducción de la evaporación desde el suelo mojado por los emisores nos parece fundamental, lo que permite aumentar la dotación de agua que realmente recibe el olivo.

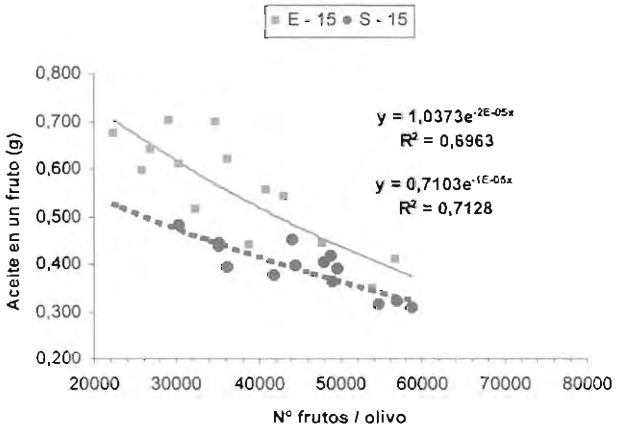


Figura 10.3: Relación entre el número de frutos por olivo y el aceite contenido en una aceituna (peso del fruto x rendimiento graso), para los diferentes tratamientos. Sistemas de riego por goteo deficitario empleados: E-15 = riego subterráneo con dosis anual de agua de riego 1.500 m³/ha; S–15 = riego superficial con dosis anual de agua de riego 1.500 m³/ha.

El **riego subterráneo** se está empleando cada día más debido a la multitud de ventajas que proporciona (Pastor *y col.*, 2003):

- reducción de la evaporación de agua desde los bulbos, lo que permite obtener una mayor eficiencia productiva por volumen de agua aplicado, especialmente cuando se emplean riegos deficitarios.
- aumento del volumen de suelo mojado,
- disminución de costes de mantenimiento,
- menor incidencia de las malas hierbas, etc.

Sin embargo, falta aún por comprobar el comportamiento a medio y largo plazo de estos sistemas, sobre todo en cuanto a obturación de los emisores y/o aplastamiento de tuberías por el sistema radicular del cultivo o las malas hierbas, aunque existen en el mercado materiales (rootguard®) de los que el fabricante garantiza la no penetración de raíces, o bien que mediante un adecuado manejo del sistema se evite este problema, fundamentalmente mediante aplicaciones de herbicidas (trifluralina principalmente).

7.- DISEÑO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO.

El diseño hidráulico tiene por objeto:

- determinar **todos los componentes de la instalación,** necesarios para poder hacer llegar el agua a todos y cada uno de los olivos de la plantación,
- **diseñar** y **dimensionar** el trazado la red de riego (tuberías primarias, secundarias y terciarias), de modo que el coste de la instalación sea compatible con un mínimo coste de funcionamiento a lo largo de la vida de la instalación.



Fotografía10. 4: Una instalación de riego subterráneo bien manejada tiene indudables ventajas, entre ellas reducir al mínimo o eliminar las pérdidas de agua por evaporación a la atmósfera. Para ello es necesario evitar que lleguemos a humedecer la superficie del suelo para lo cual es necesario aplicar riegos frecuentes y de relativamente corta duración. En la fotografía una parcela de olivar con riego subterráneo manejada de forma agronómicamente incorrecta, en la que se aplican riegos poco frecuentes y de muy larga duración, lo que permite que el agua aflore a la superficie, lo que ocasiona pérdidas por evaporación, perdiéndose parte de las ventajas del riego subterráneo.

de tal manera que en el periodo de tiempo que se haya establecido se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo cuando este alcance su óptimo desarrollo, teniendo en cuenta el programa de riego previamente establecido y el diseño agronómico previamente realizado.

La aportación de agua por los emisores deberá ser lo más homogénea posible, es decir, todos los emisores deberán aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua, por lo que la **uniformidad de la aplicación** constituye el punto de partida del diseño hidráulico de cualquier instalación de riego localizado. Para lograr una buena uniformidad será necesario:

- Que todos **los emisores de la instalación sean de buena calidad**, garantizados por el fabricante y que cumplan las normas de calidad establecidas y durante un cierto número de años.

- Si se trata de fincas con topografía irregular (la mayoría de las explotaciones olivareras), deben emplearse **goteros autocompensantes.**

- Que **la presión del agua en todos los emisores** dentro de la red de riego esté dentro del rango de trabajo para el que fueron diseñados por el fabricante, para lo cual habrá que dimensionar correctamente las subunidades de riego y la red.

El riego localizado bien diseñado es altamente eficiente, ya que:

- el agua se transporta siempre por tubería, desde la estación de bombeo hasta el olivo, sin ninguna oportunidad de perdidas de agua en este proceso.
- se aplica el agua directamente a la zona radicular de los árboles, mojando un área muy pequeña de la superficie del suelo, por lo que la **evaporación** es mucho menor que en otros sistemas de riego (mayor eficiencia).
- el crecimiento de las **malas hierbas** durante el verano está reducido a la zona del gotero por lo que la competencia de estas con el olivo también se reduce.
- la **percolación profunda** y la **escorrentía** también pueden evitarse si se aplica correctamente el agua, siempre que se empleen emisores cuya velocidad de aplicación sea compatible con la velocidad con que se infiltra el agua, que es característica de cada tipo de suelo.
- desde el punto de vista de la **erosión**, los riegos por goteo son igualmente los más recomendables.

La **eficiencia de aplicación** (**EA**) de un sistema de riego localizado se define como la relación entre el volumen de agua de riego infiltrada y almacenada en la zona radicular y el volumen de agua de riego aplicado:

$$EA\ (\%) = \frac{volumen\ agua\ en\ la\ zona\ radicular \times 100}{volumen\ total\ de\ agua\ aplicada}$$

en riegos por goteo debemos aspirar a que la **eficiencia de aplicación** supere el 90 %.

El agua en su recorrido por la instalación **va perdiendo presión** (**pérdida de carga**) como consecuencia de su paso por:

- el cabezal de filtrado y/o equipos de fertirrigación,
- las diferentes tuberías de la red de riego, debido al rozamiento del agua con las paredes,
- en las conexiones, cambios bruscos de dirección, en su paso a través de válvulas, codos, tés y demás elementos de la instalación etc.

También habrá que tener en cuenta que se producirán **pérdidas de presión** cuando el recorrido del agua en la tubería es ascendente, diferencia de cota que se suma a las pérdidas de carga, mientras que cuando la pendiente es descendente se ganará presión debido a la diferencia de cota, lo que compensa pérdidas de carga.

7.1.- Recomendaciones para el diseño de la red de riego

En los terrenos con cierta **pendiente**, que es lo más habitual en olivar, se aconseja seguir la norma de utilizar las tuberías principales y secundarias para salvar los desniveles, mientras que los laterales portagoteros, que constituyen la subunidad de riego, seguirán aproximadamente las curvas de nivel y nunca en este caso en contra de la pendiente, aunque esta sea pequeña. Se dispondrán de **reguladores de presión** en aquellos lugares donde se requieran, de modo que, como ya se dijo anteriormente, la presión disponible en cada emisor se sitúe siempre dentro del rango de trabajo recomendado por el fabricante, rango en el que los goteros suministran el mismo caudal.

Debido a las **pérdidas de carga** en la tubería y a la **pendiente del terreno**, en cada una de las subunidades de riego se van a producir diferencias de presión en los distintos emisores de las tuberías laterales. Por tanto, la presión de entrada en la subunidad de riego debe ser tal que el emisor que está en la situación más desfavorable reciba la suficiente presión como para suministrar el caudal mínimo impuesto para conseguir la uniformidad deseada. Para que la presión de entrada en cada subunidad no varíe durante el riego es recomendable instalar un **regulador de presión** en el entronque (**arquillo**) de la tubería que alimenta la subunidad (ver **figura 9.17** del capítulo 9).

Normalmente el olivar está situado en zonas de orografía difícil por lo que las pendientes son acusadas y hay que recurrir a la utilización de **goteros autocompensantes**, al objeto de mantener constante el caudal suministrado a los árboles. Así, utilizando emisores autocompensantes, se podrían aumentar en muchos casos las longitudes de los laterales de riego y de este modo abaratar además la instalación.

Los factores que condicionan la **longitud de las tuberías laterales de cada subunidad de riego** son:

- el diámetro de la tubería
- el tipo de emisor empleado:
  - **turbulento** (no autocompensante), que obliga a diseñar laterales cortos; y
  - **autocompensantes** que permite laterales más largos,
- la orografía del terreno,
- el caudal del emisor,
- la distancia entre emisores dentro del lateral, impuesto por el marco de plantación.

Tratando de ilustrar como influyen los anteriores factores sobre la longitud de las **tuberías laterales de cada subunidad de riego** vamos a resolver algunos ejemplos que pueden ser de interés para el lector.

Supongamos que trabajamos con tuberías de PE de diámetro nominal 16 mm (diámetro interior 13,6 mm) y que en todos los casos hemos diseñado la instalación de modo que a la salida del arquillo que alimenta cada subunidad de riego aseguremos una presión en cabeza de cada lateral de $p^1 = 2{,}0$ kg/cm^2 . La diferencia de presión máxima será de 1,0 kg/cm^2. Suponemos que vamos a regar un olivar con marco de plantación 10 x 10 m, y que empleamos 4 goteros autocompensantes por olivo con un caudal unitario de 4 l/h, es decir 16 l/olivo.hora. En todos los casos el caudal se mayora en un 15%, cifra en la que se incrementa el caudal de los goteros con el tiempo y en especial cuando suben las temperaturas. La **tabla 10.7** muestra las **longitudes máximas de las tuberías portagoteros** admisibles y las pérdidas de carga en los casos en que el trazado de la tubería sea totalmente horizontal (pendiente 0 %) y en los casos en los que la tubería siga pendientes medias ascendente y descendente del 2%. No presentamos el método de cálculo que el lector puede encontrar en cualquier manual de riego localizado (por ejemplo en Pizarro, 1990; Boswel y James, 1990).

Tabla 10.7: Longitudes máximas de las tuberías terciarias (portagoteros) para un olivar tradicional con marco de plantación 10 x 10 m en el que se instalan 4 goteros de 4 l/h por olivo, teniendo en cuenta que la máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm^2. Se hacen los cálculos para una tubería de PE de 16 mm.

Pendiente del terreno	Número de olivos	Longitud de la tubería (m)	Pérdida de carga (mca)	Desnivel geométrico (m)
Terreno totalmente llano	26	260	9,95	0
2% pendiente ascendente	21	210	5,8	- 4,2
2% pendiente descendente	31	310	16,2	+ 6,2

Vemos que cuando la tubería sigue un trazado con **pendiente descendente** es posible **aumentar la longitud de los laterales** portagoteros, mientras que si la **pendiente** fuera **ascendente** habría que **acortarlos** para mantener la presión en cada punto de la tubería dentro del rango de trabajo recomendado por el fabricante.

Si para idénticas condiciones de trabajo (tipo de olivar a regar, tipo de tubería y tipo de instalación) aumentamos el caudal unitario de los emisores empleando en este caso 4 goteros de 8 l/h, es decir aportamos 32 l/olivo.hora , las longitudes de tubería y número máximo de olivos de cada lateral en terreno totalmente llano serían las mostradas en la **tabla 10.8**.

Tabla 10.8: Longitudes máximas de las tuberías terciarias (portagoteros) para un olivar tradicional con marco de plantación 10 x 10 m en el que se instalan 4 goteros de 8 l/h por olivo, teniendo en cuenta que la máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm^2. Se hacen los cálculos para una tubería de PE de 16 mm.

Caudal del gotero	Nº goteros olivo	Nº olivos	Longitud de la tubería (m)	Pérdida de carga (mca)
8 l/h	4	16	160	9,07
4 l/h	4	26	260	9,95

Vemos (**tabla 10.8**) que cuando aumentamos el caudal unitario de los goteros la pérdida de carga en la tubería portagoteros es mayor y por tanto es necesario reducir la longitud de los laterales o recurrir a utilizar tuberías de mayor diámetro. Por ejemplo emplear tubería de PE de diámetro 20 mm (diámetro interior 17,6 mm) permite aumentar las longitudes máximas del lateral y el número de olivos regados por el mismo. En la **tabla 10.9**, y para un terreno totalmente llano, se compara el empleo de tuberías de PE de 16 y 20 mm, cálculo que ilustra las afirmaciones realizadas anteriormente.

Tabla 10.9: Longitudes máximas de las tuberías terciarias (portagoteros) para un olivar tradicional con marco de plantación 10 x 10 m en el que se instalan 4 goteros de 8 l/h por olivo, teniendo en cuenta que la máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm^2. Se los resultados para tuberías de PE de 16 y 20 mm.

Diámetro tubería mm	Caudal del gotero	Nº goteros olivo	Nº olivos	Longitud de la tubería (m)	Pérdida de carga (mca)
16	8 l/h	4	16	160	9,07
20	8 l/h	4	25	250	9,30

Cuando se emplean emisores de igual caudal pero reducimos la distancia entre los goteros, también aumenta el caudal que transporta la tubería, por lo que igualmente aumentaría la pérdida de carga, lo que nos obliga a reducir la longitud de la tubería portagoteros para no salir del campo de trabajo del gotero y así mantener la uniformidad de distribución. En la **tabla 10.10** y para las condiciones de trabajo que se especifican, mostramos como ejemplo las máximas longitudes de los ramales de las subunidades de riego en función de la distancia entre olivos dentro de la fila, manteniendo fijo el número de emisores por olivo. Las condiciones de trabajo para las que se realizan los cálculos de la **tabla 10.10** son las siguientes:

Presión en arquillos pi = 2,0 kg/cm²
Presión en el último gotero de la tubería pf = 1,0 kg/cm²
Pérdida de carga máxima = 1,0 kg/cm²
Tubería en trazado totalmente horizontal
Tubería PE 16 x 13,6 mm
Nº goteros por olivo = 4
Caudal de los goteros = 4 l/h
Coeficiente de mayoración del caudal = 15 %

Tabla 10.10: Longitudes máximas de tuberías portagoteros para diferentes distancias entre árboles, cuando se trabaja en un terreno totalmente llano. Se trabaja con tubería de PE de 16 mm y se instalan 4 goteros de 4 l/h por olivo. La máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm²

Distancia entre olivos m	Nº olivos tubería	Pérdida de carga (m)	Caudal (l/h)	Caudal (l/s)	Longitud (m)
6	31	9,95	570	0,158	186
7	29	9,57	533	0,148	203
8	28	9,84	515	0,143	224
9	27	9,98	497	0,138	243
10	26	9,95	478	0,133	260
11	25	9,8	460	0,128	275
12	24	9,54	442	0,123	288
13	23	9,19	423	0,118	299
14	23	9,36	423	0,118	322
15	22	9,36	405	0,113	330

Vemos como para un determinado número de goteros por olivo, 4 en este caso, cuando reducimos las distancias entre árboles se reduce la longitud máxima de los laterales portagoteros, ya que aumenta el caudal que debe transportar la tubería.

Si en lugar de instalar 4 goteros de 4 l/h por olivo instalásemos 2 goteros de 4 l/h por olivo, las máximas longitudes de las tuberías laterales en terreno llano serían las mostradas en la **tabla 10.11.** Las condiciones de trabajo para las que se realizan los cálculos de dicha tabla son las siguientes:

Presión en arquillos pi = 2,0 kg/cm²
Presión en el último gotero de la tubería pf = 1,0 kg/cm²

Pérdida de carga máxima = 1,0 kg/cm^2
Tubería en trazado totalmente horizontal
Tubería PE 16 x 13,6 mm
Nº goteros por olivo = 2
Caudal de los goteros = 4 l/h
Coeficiente de mayoración del caudal = 15 %

Tabla 10.11: Longitudes máximas de tuberías portagoteros para diferentes distancias entre árboles, cuando se trabaja en un terreno totalmente llano. Se trabaja con tubería de PE de 16 mm y se instalan 2 goteros de 4 l/h por olivo. La máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm^2.

Distancia entre olivos m	Nº olivos tubería	Pérdida de carga (m)	Caudal (l/h)	Caudal (l/s)	Longitud (m)
3,5	59	9,8	543	0,151	207
4	56	9,63	515	0,143	224
5	52	9,7	478	0,133	260
6	49	9,82	451	0,125	294
7	46	9,59	423	0,118	322
8	44	9,67	405	0,112	352
9	42	9,55	386	0,107	378
10	41	9,91	377	0,105	410

Para igual distancia entre árboles, cuando reducimos el caudal horario de agua que aplicamos a cada olivo, al reducir a 2 el número de goteros de 4 l/h que instalamos por árbol, podemos aumentar de un modo considerable la longitud de las tuberías portagoteros, aunque aumentaríamos el tiempo que emplearíamos en aplicar una determinada dosis de agua de riego.

En la actualidad muchos olivareros están empleando **tuberías emisoras** de PE en las que los goteros autocompensantes están insertos en la propia tubería, normalmente dentro de la propia tubería. En el caso de olivar lo normal es emplear distancias entre emisores de 0,75 - 1,00 - 1,25 m, con caudales unitarios que oscilan entre 1, 6 y 3, 9 l/h, y con diámetros nominales de la tubería de PE de 16 – 17 –20 mm, según los diferentes fabricantes.

En la **tabla 10.12** mostramos datos de **longitudes máximas de tuberías emisoras** equipadas con goteros autocompensantes de diferente gasto colocados a 1,00 m de distancia, para ramales de PE de diámetros exteriores de 16 y 17 mm. Las condiciones de trabajo para las que se realizan los cálculos de dicha tabla son las siguientes:

Presión en arquillos = 2,0 kg/cm2
Presión en el último gotero de la tubería = 1,0 kg/cm2
Pérdida de carga máxima = 1,0 kg/cm2
Tubería en trazado totalmente horizontal
Tubería PE con gotero integrado
Distancia entre goteros = 1,0 m
Coeficiente de mayoración del caudal = 15 %

Tabla 10.12: Longitudes máximas de tuberías portagoteros para tuberías de PE de 16 y 17 mm de diámetro con gotero integrado de diferentes caudales con distancias entre emisores de 1,0 m. Se trabaja en un terreno totalmente llano y la máxima pérdida de presión admisible en la tubería es de 1,0 kg/cm².

Tipo de tubería mm	Caudal de los goteros l/h	Longitud máxima m	Pérdida de carga m	Caudal l/h	Caudal l/s
17 x 14,6	1,6	283	10	521	0,145
(1)	2,3	225	10,01	595	0,165
	3,5	172	10	692	0,192
16 x 13,6	1,6	250	9,98	460	0,128
	2,2	204	9,96	516	0,143
	3,6	149	9,94	617	0,171

(1) Diámetro exterior 17 mm, diámetro interior 14,6 mm

Vemos que para idéntico caudal del emisor emplear tuberías de 17 mm permite mayores longitudes que cuando se emplea tuberías de 16 mm. De igual modo, y para un determinado diámetro de tubería, cuando se emplean goteros de mayor gasto es necesario acortar de una forma drástica la longitud de los laterales de las subunidades de riego.

8.- COSTES DE BOMBEO EN RELACIÓN CON EL COSTE DE LA TUBERÍA

Como hemos comentado anteriormente, el estudio de las **pérdidas de carga en la red** de distribución de agua es un factor esencial a tener muy en cuenta en el diseño de una instalación de riego localizado, ya que pérdidas de carga excesivas, debido a un mal diseño, supondrían un coste energético extraordinario que tiene que ser soportado por el regante durante toda la vida de la instalación.

Cuando se diseña una tubería se puede optar por la instalación de un diámetro menor del necesario para abaratar los costes de inversión, al ser su precio sensiblemente inferior. Tomar esta decisión generaría unas pérdidas de carga muy superiores (el agua circula a una velocidad muy grande dentro de la tubería), lo que se traduciría en un incremento de los costes de bombeo durante toda la vida de la instalación.

Cualquier toma de decisión de este tipo hace totalmente necesaria la realización de un **estudio financiero** previo en el que se evalúe económicamente si el incremento en la inversión cuando se instala una tubería de mayor diámetro se amortizaría, considerando la reducción de los costes de bombeo. Bajo estas condiciones, el procedimiento de diseño para la tubería de distribución estará basado en consideraciones tanto financieras como hidráulicas.

La decisión de instalar un determinado diámetro de tubería en nuestra instalación debe ser evaluada financieramente utilizando el método de análisis del **Valor Actual Neto (VAN)**, que es particularmente apropiado para evaluar las decisiones entre coste de la instalación (diámetro de la tubería) – coste de bombeo, porque tiene en cuenta el valor actualizado del dinero y la posibilidad de la inflación del coste de la energía.

El **método del VAN** compara una inversión (diferencia del coste de la tubería de conducción) que se hace en el día de hoy con el valor actualizado de los retornos (ahorros de energía) debido a la realización de la inversión, y que se recibirán en un futuro a lo largo de los años de vida útil de proyecto. Estos retornos futuros, llamados **flujos de caja**, tienen un valor algo menor que su valor al día de hoy, y por esta razón deben ser actualizados al día en que se realiza la inversión para llegar a obtener su valor actual. Este procedimiento se conoce como **flujo de caja actualizado** y es un método utilizado para encontrar el valor actual de una suma o sumas de dinero que se recibirán en alguna fecha futura.

La práctica que permite averiguar el valor actual de una futura suma o sumas, se hace empleando la tabla **factores de valor actual**. Para determinar el factor del valor actual que más adelante aprenderemos a calcular, hay que tener en cuenta las siguientes variables:

a) **Vida del sistema**: es la vida útil del sistema de riego expresada en años.
b) **Interés**, también llamado **coste de capital,** es el interés que se tiene que pagar por el capital prestado. Si el dinero que se usa es propio, el interés es igual al coste de oportunidad que se obtendría mediante otro tipo de inversión.
c) **Inflación del coste de la energía**: está es la proporción a lo que preveamos que subirá el coste de la energía en el transcurso de los años.

Si se conocen la vida del sistema, el interés al que nos prestan el dinero y la inflación del coste de la energía, el **Factor del Valor Actual (FVA)** se calcula empleando la expresión:

$$FVA = \sum_{k=1}^{n} \frac{(1+I)^{k+1}}{(1+i)^{k}} \quad [3]$$

en donde: **n** = vida útil (años)
I = inflación del costo de la energía (tanto por 1)
i = interés al que nos prestan el dinero (tanto por 1)

El valor actual del ahorro de energía durante la vida de la instalación es igual al ahorro anual en euros multiplicado por el factor del valor actual. Cuando el coste de la inversión se sustrae del valor actual de ahorro de energía, el resultado es el valor actual neto de la inversión (VAN). Teniendo en cuenta que:

VAN = valor actual de los ahorros - coste de la inversión =
= FVA x ahorro anual - coste de la inversión

Si tratamos de conocer cual es el diámetro de tubería más conveniente a utilizar en nuestra instalación de riego, si el VAN resultante de la comparación de dos diámetros de tubería es mayor o igual a cero, está justificado el empleo de una tubería de mayor diámetro, y si es menor que cero el empleo de un diámetro mayor no estaría justificado. Tratando de ilustrar la influencia económica que tiene la **correcta elección del diámetro de la tubería a instalar**, a continuación proponemos un ejemplo de cálculo.

Ejemplo:

Tratamos de regar en dos sectores un olivar de 11.250 olivos plantados a marco tradicional 10 x 10 m, con una dotación de 16 m^3/árbol y año. Se propone una instalación con 4 goteros por olivo de 4 l/h, lo que obligará a regar un total de 1.000 horas al año cada sector. El caudal continuo que es necesario bombear será:

$$Q = \frac{\frac{11.250\ olivos}{2\ sectores} \times 16\ l/olivo\ .\ hora}{3.600\ segundos/hora} = 25\ litros/segundo <> 90\ m^3/hora$$

Sabemos que el agua se deriva desde un río, y que hay que transportarla hasta la zona a regar, hasta un punto donde se ubica la estación de filtrado y fertirrigación, tal como se observa en el esquema de la **figura 10.4**.

La diferencia de cotas entre el eje de la bomba junto al río y la estación de filtrado es de 70 m, y entre la bomba y la lámina de agua en el río es de 3 m. La longitud de la tubería de transporte hasta la estación de filtrado es de 3.000 m. El proyectista nos informa que la presión de servicio que debemos tener disponible en la estación de filtrado debe ser de 30 m (3,0 kg/cm^2), necesaria para compensar las pérdidas de carga en la red de distribución del agua al olivar, más la pérdidas de carga en filtros y puntos singulares de la instalación. Además debe-

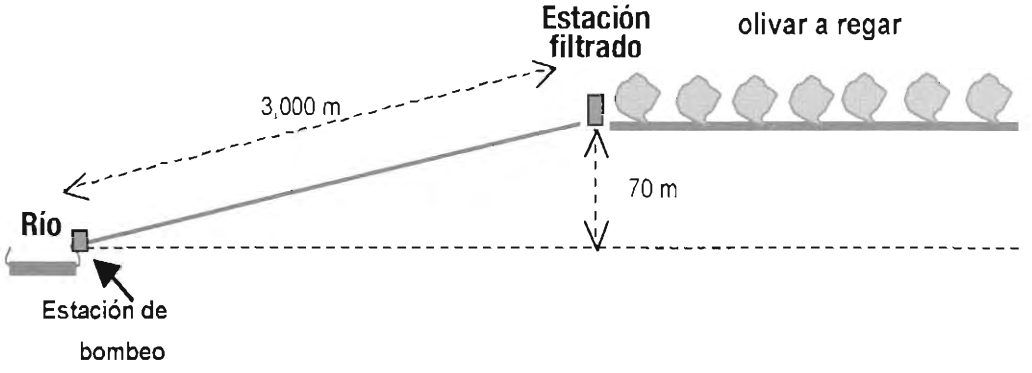


Figura 10.4: Esquema de la explotación de olivar que vamos a regar. El agua se bombea desde un río, debiendo de atravesarse con una tubería de conducción, cuyo diámetro y timbraje debemos de optimizar, un terreno sin olivar hasta llegar a la estación de filtrado, que instalamos a la entrada de la plantación.

mos mantener una presión mínima en goteros de 1,5 kg/cm^2. Se supone que el olivar a regar es totalmente llano, por lo que en este caso la diferencia de cotas entre la estación de filtrado y el punto más alto de la plantación es nula.

Estimamos que la vida media de la tubería de suministro de agua hasta la estación de filtrado es de 10 años, consideramos para la evaluación financiera que el interés al que nos prestan el dinero es del 6,5 %, y que la inflación del coste de la energía es del 5 %. **Se trata de elegir correctamente, con criterios financieros, el diámetro de la tubería que une las estaciones de bombeo y filtrado.**

Se plantea la disyuntiva de emplear tuberías de 140 - 160 ó 180 mm de diámetro en el tramo río – estación de filtrado. En la toma de decisión deberemos comparar los costes de adquisición de la propia tubería y los costes diferenciales anuales de bombeo en cada alternativa, teniendo en cuenta que en la tubería de 140 se generaría una mayor pérdida de carga que en la tubería de 160 mm, y en ésta mayor que en la de 180 mm. Además, el reparto de los timbrajes (PN = 6 - 10 - 16 atm) sería diferente en cada caso, lo que igualmente incidiría sobre en el coste de las tuberías y en las pérdidas de carga que se producen en cada caso.

En primer lugar debemos calcular el reparto de presiones a lo largo de la tubería de impulsión del agua desde el río hasta la estación de filtrado, teniendo en cuenta que la presión disponible en la estación de bombeo es la suma de los siguientes conceptos:

- altura geométrica = 70 m
- presión de servicio en la estación de filtrado = 30 m
- pérdidas de carga en la tubería de conducción

Las **pérdidas de carga** (J) que se originarían en la tubería de conducción en cada caso expresada en metros de columna de agua (mca), viene dada por la expresión:

$$J = \frac{L \times j}{100}$$

siendo **L** la longitud total de la tubería, y **j** la pérdida de carga que se origina por cada 100 metros lineales de tubería (m / 100 m), dato que está tabulado por el fabricante y que depende del material en que está fabricada la tubería (PVC en este caso), del diámetro interior de la tubería (que para un determinado diámetro nominal depende del timbraje utilizado), y del caudal que debe de transportarse. Para el caso que nos ocupa y para una PN = 6 atm (valor de tanteo), el valor de **J** para un caudal transportado de 90 m^3/h (25 l /s) sería el que mostramos en la **tabla 10.13**.

Tabla 10.13: Cálculo de las pérdidas de carga en los 3.000 m de longitud de la tubería que une las estaciones de bombeo y filtrado en los supuestos en que empleemos tuberías de PVC de diámetro nominal 140 – 160 –180 mm.

Diámetro DN (mm)	Caudal l/s	Pérdida de carga (1) (m/100 m)	Longitud de la tubería (m)	Pérdida de carga total (2) (m/3.000 m)
140	25	2,02	3.000	60,60
160	25	1,05	3.000	31,50
180	25	0,67	3.000	20,10

(1) Catálogo general de URALITA; (2) = pérdida de carga (m / 100 m) x longitud de la tubería / 100

Vemos como a medida que reducimos el diámetro de la tubería aumenta la pérdida de carga, de modo que si empleásemos un diámetro de 140 mm en lugar de una tubería de 180 mm tendíamos que disponer en estación de bombeo de una presión mucho mayor (**tabla 10.13**). Esta diferencia de presión sería de la siguiente magnitud:

diferencia [DN 140 mm - DN 180 mm] = 60,6 m – 20,1 m = 40,5 m (4,05 kg/cm²)

En este caso el empleo de la tubería de 140 mm se traduciría en un aumento muy importante del coste anual de bombeo, coste que más adelante cuantificaremos.

Sin embargo el problema es algo más complejo, ya que en cada punto del trazado la tubería se ve sometida a diferentes presiones como consecuencia de la altura geométrica, de las pérdidas de carga y de la presión a la salida de bomba, esto sin contar con la sobrepresión que se originaría por un corte eléctrico en la instalación, ***golpe de ariete***. Ello se traduce en que en

cada tramo hay que instalar el timbraje (PN) más adecuado, lo que es fundamental para que la tubería pueda soportar las presiones a las que en realidad se ve sometida la conducción en cada punto, de este modo la vida media de la tubería pueda ser máxima. Tengamos en cuenta que las tuberías de PVC pueden soportar, en principio, presiones superiores a su PN, pero que tras un cierto tiempo de trabajo sometidas a presiones superiores a las recomendadas por el fabricante acaban por romperse.

Una vez realizados los oportunos cálculos, que en este libro omitimos por considerarlo fuera de los objetivos del mismo, los metros de tubería de cada PN (timbraje) que habría que recomendar en cada caso serían los que mostramos en la **tabla 10.14**.

Tabla 10.14: Cálculo de las pérdidas de carga en los 3.000 m de la tubería que une las estaciones de bombeo y filtrado en los supuestos en que empleemos tuberías de PVC de diámetro nominal 140 – 160 –180 mm. En este caso hemos tenido en cuenta los timbrajes a utilizar en cada tramo del trazado, así como los diámetros interiores de las tuberías a efectos de cálculo de las pérdidas

Diámetro DN (mm)	PN atm	Longitud m	Pérdida de carga		
			m/100 m	m	total (2)
140	6	500	2,02	10,1 (1)	
	10	1.100	2,34	25,74	
	16	1.200	2,92	35,04	
	20	200	3,25	6,5	77,4
160	6	900	1,05	9,45	
	10	1.100	1,25	13,75	
	16	1.000	1,55	15,5	38,7
180	6	1.300	0,675	8,775	
	10	1.200	0,875	10,5	
	16	500	1,05	5,25	24,5

(1) = 500 m x 2,02 m/100 m = 10,1 m
(2) = 10,10 + 25,74 + 35,04 + 6,50 = 77,38 m

En la **tabla 10.14** se calcula igualmente la pérdida de carga que en cada caso se generaría entre la estación de bombeo y la de filtrado, algo mayor que la obtenida en el primer tanteo, ya que las tuberías de PVC para un mismo diámetro nominal DN, cuando aumenta el PN aumenta el espesor de la pared reduciéndose el diámetro interior, lo que aumenta las pérdidas de carga en la conducción. Vemos igualmente como al aumentar el DN disminuye el número de metros de tubería de PN 16 a utilizar. Siempre, y para igual DN, el precio del metro de tubería PN 16 es muy superior al de tubería PN 10 y este superior a la de PN 6. Cuando se emplea DN = 140 mm incluso es necesario emplear 200 m de tubería PN 20.

En la **tabla 10.15** se calcula la presión (altura manométrica Hm) que debe proporcionarnos la bomba en el punto de bombeo, tabla en la que se expresan los sumandos que hay que tener en cuenta para el cálculo de **Hm**, primer paso para determinar la potencia de la bomba, así como de los costes anuales de bombeo.

Tabla 10.15: Cálculo de la altura manométrica Hm, necesaria para la elección del grupo de bombeo a utilizar, así como para el cálculo de los costes anuales de bombeo.

Conceptos	Tubería 140 mm	Tubería 160 mm	Tubería 180 mm
Desnivel lámina de agua a punto eje de la bomba	3	3	3
Desnivel geométrico entre el punto de bombeo y la estación de filtrado	70	70	70
Pérdidas de carga en la conducción desde el río a la estación de filtrado	77,4	38,7	24,5
Pérdida de carga en la tubería de aspiración	0,2	0,2	0,2
Presión de servicio en estación de filtrado	30	30	30
TOTAL (mca) = Hm	**180,6**	**141,9**	**127,7**

En cada caso la potencia requerida viene dada por la expresión:

$$P = \frac{Hm \times Q \times 0,736}{270 \times \eta}$$

expresión en la que la potencia **P** viene expresada en kw, la altura manométrica **Hm** en metros de columna de agua (mca), el caudal **Q** a bombear en m^3/h, y el rendimiento η de la bomba, dato que suministra el fabricante, con valores medios comprendidos entre 0,6 y 0,75. En este caso hemos empleado un rendimiento igual a 0,65.

Las potencias requeridas para cada tipo de tubería serán las mostradas en la **tabla 10.16**.

Tabla 16: Potencias requeridas en función del tipo de tubería utilizada en la conducción desde el grupo de bombeo hasta la estación de filtrado.

Tubería DN (mm)	Potencia	
	kw	CV
140	68,2	93
160	53,6	73
180	48,2	66

Finalmente el **consumo anual de energía eléctrica** trabajando 1.000 horas en cada sector, es decir 2.000 horas/año para la totalidad de la instalación vendrá dado por:

Consumo eléctrico (kw.h) = potencia consumida (kw) / rend. eléctrico x nº horas de funcionamiento

consideramos un rendimiento eléctrico del 90 %, por lo que los cálculos de **energía consumida** y el **coste anual de la energía** consumida aplicando una tarifa lineal con un precio del kw.h de 0,06 € son los que se presentan en la **tabla 10.17.**

Tabla 10.17: Cálculo del consumo anual de energía eléctrica y costes anuales de la energía consumida, en función del diámetro de la tubería utilizado para el transporte del agua desde la estación de bombeo hasta la estación de filtrado.

Tubería DN mm	Potencia Kw (1)	Tiempo funcionamiento horas/año (2 sectores)	Consumo anual kw.h	Coste total €/año (ptas/año)	Coste del agua €/m³ (ptas/m³)
140	75,8	2.000	151.600	9.096 (1.513.392)	0,051 (8,41)
160	59,6	2.000	119.200	7.152 (1.189.949)	0,040 (6,61)
180	53,6	2.000	107.200	6.432 (1.070.156)	0,036 (5,95)
Diferencia 140-180	**22,2**		**44.400**	**2.664 (443.236)**	**0,015 (2,50)**

(1) potencias referidas en la tabla 10.17 divididas por el rendimiento eléctrico (90 % en este caso).

Vemos como la utilización en la impulsión de una tubería de DN 180 mm en lugar de una tubería de DN 140 mm representa un sustancial ahorro en los costes anuales de bombeo, que pueden cuantificarse en 2.664 € / año (443.236 ptas) para el conjunto de la explotación, que puede desglosarse del modo siguiente:

16 m³ / olivo. año x 0,015 € / m³ = 0,24 € / olivo (39,9 ptas /olivo)
0,24 € / olivo x 100 olivos / ha = 24 € / ha (3.993 ptas/ha)

Finalmente habría que comparar estas cifras con la diferencia de coste de las tuberías, lo que nos permitiría conocer el tiempo que tardaríamos en recuperar la diferencia en el coste de inversión, y finalmente el beneficio a lo largo de la vida de la instalación (10 años).

Para cada diámetro de tubería a elegir, en la **tabla 10.18** damos, tras consultar con el proveedor, los precios de las tuberías ya montadas, incluyendo apertura y tapado de zanjas y acondicionamiento del terreno a su estado natural. Conocidos estos datos así como los metros necesarios de cada diámetro y timbraje (**tabla 10.14**), podemos calcular los costes finales de la tubería de impulsión.

Tabla 18: Cálculo de los costes de la tubería de impulsión para cada uno de los diámetros que podríamos utilizar para transportar el agua hasta la estación de filtrado.

Diámetro (DN)	PN	Longitud	Coste tubería impulsión		
mm	atm	m	€/ m (*)	€	Total (€)
140	6	500	5,56	2.777,5	
	10	1.100	7,69	8.459	
	16	1.200	12,25	14.696,4	
	20	200	15,20	3.040,2	**28.973**
160	6	900	6,80	6.120,9	
	10	1.100	9,66	10.630,4	
	16	1.000	15,57	15.572	**32.323**
180	6	1.300	8,14	10.579,4	
	10	1.200	11,71	14.049,6	
	16	500	19,34	9.669	**34.298**

(*) Incluido precio tubería, apertura de zanja, rasanteo, retacado, tapado y extensión de sobrantes.

La diferencia entre los costes de instalación de las tuberías de transporte para cada uno de los DN utilizados será:

DN (mm)	€
160 - 140	3.350,2
180 - 140	5.324,9
180 - 160	1.974,7

La **tabla 10.19** muestra el resumen de las diferencias entre los ahorros en el coste total de la tubería de impulsión ya instalada y los ahorros en el coste anual de la energía (€ / año) para las diferentes comparaciones de DN que en este caso podemos realizar.

Tabla 10.19: Datos de los ahorros en los costes de la tubería de impulsión y del ahorro en el coste de la energia eléctrica.

DN (mm)mm	Coste tubería €	Diferencias en coste de energía €/año (1)
160 - 140	3.350,2	1.944
180 - 140	5.324,9	2.664
180 - 160	1.974,7	720

(1) Ahorro anual en el coste de la energía eléctrica consumida en la explotación

A continuación vamos a aplicar el criterio financiero del cálculo del VAN para determinar **cual es el diámetro más conveniente**. Recordemos la expresión:

VAN** = valor actual de los ahorros - coste de la inversión = **FVA x ahorro anual - coste de la inversión

Para el cálculo del FVA (factor de actualización) empleamos la expresión [3]. Para nuestro ejemplo recordemos los siguientes datos de partida: **n** = vida útil (años) = 10 años; **I** = inflación del costo de la energía (tanto por 1) = 0,05; y finalmente **i** = interés al que nos prestan el dinero (tanto por 1) = 0,065.

Por lo que el factor de actualización, ver [3], será:

$$FVA = \sum_{k=1}^{n} \frac{(1+0{,}05)^{k+1}}{(1+0{,}065)^{k}} = 8{,}82$$

Para calcular los VAN de cada posible comparación entre diámetros de la tubería de impulsión utilizamos la **tabla 10.20**.

Tabla 10.20: Análisis del VAN de la comparaciones dos a dos, necesario para la selección del diámetro óptimo de tubería de impulsión a instalar.

Diámetros nominales de tubería (mm) que se comparan	160- 140	180 - 160
Ahorro anual marginal en funcionamiento(€)	1.944	720
Valor actual de los ahorros (€) (ver cálculo en tabla 20) (1)	17.139,0	6.347,8
Aumento de inversión para el mayor diámetro de tubería (€) (2)	3.350,2	1.974,7
VAN para la tubería del diámetro mayor (€) = (1) – (2)	13.788,8	4.373,1
¿ Está justificado el empleo del diámetro mayor ?	**SI**	**SI**

Luego al ser positivos los VAN de cada pareja de diámetros que se comparan (**tabla 10.20**) nuestro consejo al agricultor sería decir que es más conveniente emplear una tubería de DN 160 mm antes que una tubería de DN 140 mm, e igualmente también se podría decir que es preferible emplear una tubería de DN 180 mm antes que una de DN 160, luego **el diámetro más recomendable** en este caso **es DN 180 mm.**

Finalmente vamos a calcular el **plazo de recuperación de la inversión**, teniendo en cuenta los ahorros anuales de energía actualizados. Habremos recuperado el aumento de inversión por emplear un mayor diámetro de tubería de impulsión cuando la suma de los ahorros actua-

lizados supera la diferencia en los costes de instalación de las tuberías. Para la determinación del plazo de recuperación de la inversión empleamos la **tabla 10.21.**

Tabla 10.21: Determinación del plazo de recuperación de la inversión para valores de i = 0,05 e I = 0,065.

años	FVA	Flujos de caja anuales	DN 160-140 acumulados	Flujos de caja anuales	DN 180-160 acumulados
1	0,939	1.825,4	1.825,4	676,1	676,1
2	0,926	1.799,6	**3.625,0**	666,5	1.342,6
3	0,913	1.774,3	5.399,3	657,1	**1.999,7**
4	0,900	1.749,3	7.148,6	647,9	2.647,6
5	0,887	1.724,7	8.873,3	638,8	3.286,4
6	0,875	1.700,4	10.573,6	629,8	3.916,2
7	0,862	1.676,4	12.250,1	620,9	4.537,1
8	0,850	1.652,8	13.902,9	612,2	5.149,2
9	0,838	1.629,5	15.532,4	603,5	5.752,7
10	0,826	1.606,6	17.139,0	595,0	6.347,8
	FVA = 8,816				
Diferencias de inversión			**3.350**		**1.975**

Vemos como en el caso en que discutimos la conveniencia de utilizar una tubería de impulsión de **DN 160** en lugar de una tubería de **DN 140 mm**, ya a final de segundo año (plazo de recuperación de la inversión = 2 años) la suma de los ahorros de energía acumulados (flujos acumulados de caja) supera al aumento de inversión, mientras que en el caso en el que discutimos la conveniencia de emplear **DN 180** en lugar de **DN 160 mm**, ya a final del tercer año (plazo de recuperación de la inversión = 3 años) ya se habría compensado el aumento en el coste de instalación de la tubería.

9.- UBICACIÓN DE LAS BALSAS DE RIEGO

Uno de los problemas que se está observando en muchas instalaciones de riego localizado es la **ubicación de las balsas de riego**, en la mayoría de los casos éstas se localizan en la zona más alta del territorio a regar. Esto, que en ocasiones es correcto, en muchas situaciones podría traducirse en un consumo excesivo de energía (altura geométrica + pérdidas de carga), que muchas veces es innecesario, ya que hay que bombear todo el volumen de agua hasta una cota

muy alta, para volver de nuevo a llevar el agua hacia cotas muy inferiores, muchas veces cercanas a la zona de bombeo. La decisión de bombear toda el agua a la cota más alta debe ser tomada siempre tras la realización de un un proyecto en el que previamente se haya analizado el coste de las diferentes alternativas de instalación, además de estudio económico muy minucioso en el que se evalúen conjuntamente:

- Coste de la balsa o depósito
- Costes anuales de bombeo de las diferentes alternativas
- Coste de las tuberías para las diferentes alternativas
- Ahorros actualizados de energía y de la inversión a realizar

Una solución alternativa a la elevación de la totalidad del agua hasta la cota más alta podría ser dividir los sectores de riego por cotas de nivel, construyendo las balsas de almacenamiento cerca de las tomas de agua. Esto supondría que solo hay que bombear hasta alturas geométricas elevadas el caudal consumido por los sectores altos, mientras que los sectores inferiores, con menor elevación, podrían regarse utilizando una menor potencia y por tanto con menor consumo de energía.

La instalación de un **grupo de rebombeo** (tanto en directo como utilizando un pequeño depósito intermedio) muchas veces puede ser más aconsejable, diseñando la instalación de tal forma la totalidad del agua no haya que elevarla al punto más alto.

Ubicar la balsa cercana a la captación podría suponer un ahorro en la inversión en tuberías de impulsión con respecto a la alternativa ubicación en la zona más alta en pleno olivar, ya que esta opción podría exigir la instalación de varios kilómetros de tubería de gran diámetro para poder llenar las balsas en un mínimo tiempo, cuando posteriormente en el riego se manejan caudales notablemente menores, y por tanto son necesarias tuberías de un diámetro y coste notablemente inferior. Tengamos en cuenta que en el bombeo desde los ríos:

- muchas veces el agua circula turbia, no apta para el riego por goteo, lo que reduce el número de días disponible para realizar la captación,

- el Organismo Regulador de la Cuenca muchos años establece turnos de captación de agua con tiempos de bombeo notablemente inferiores al tiempo de riego, lo que obliga a captar las necesidades para largos tiempos de consumo en un periodo de tiempo de bombeo notablemente más corto, existiendo épocas del año en las que el bombeo se prohíbe.

- Subir el agua a un punto alto es justificable siempre que la diferencia de cotas entre la ubicación de la balsa y el punto de bombeo no supere la presión de servicio más las pérdidas de carga en la red de distribución.

Referencias bibliográficas

Ávila, R., Cabello, A., Lirola, J., Martín, A., Ortiz, F., 1996. Agua, riego y fertirrigación. Ed. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 2001. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. Irrig. Sci., 20: 65-71.

Boswell, J.M., James, E., 1990. Manual de diseño y manejo de sistemas de microirrigación. Ed. Hardie Irrigation (Iberia).

Fernández, R., Yruela, M.C., Milla, M., García, J.P., Ávila, R., Gavilán, P., Oyonarte, N., 1999. Manual de Riego para Agricultores. Módulo 4. Riego Localizado. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Fuentes Yagüe, J.L., 1992. Técnicas de riego. Ed. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Orgaz, F., Pastor, M., Vega, V., Castro, J., 1996. Necesidades de agua del olivar. En: Manejo del Olivar con riego por goteo. Ed: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Informaciones Técnicas 41/ 96. pag. 38.

Pastor, M., 1989. Efecto del no-laboreo en olivar sobre la infiltración de agua en el suelo. Investigación Agraria, Prod. y Prot. Vegetales, 4(23) : 225-247.

Pastor, M., Orgaz, F., Vega, V., Hidalgo, J., Castro, J., Nieto, J., Aguilar, J., Fernández, E., Morales, J., Soria. L., 1998. Programación del riego y de la fertilización en olivares de la provincia de Jaén. Serie Informaciones Técnicas 49/98. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Pastor, M., Hidalgo, J., Hidalgo, J.C., Vidal, P., Vega, V., 2003. Riego subterráneo en olivar: primeros resultados de un ensayo de larga duración. Fruticultura Profesional, 138: 5-15.

Pizarro, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi – Prensa. Madrid.

Soria, L., Fernández, E., Pastor, M., Aguilar, J., 2003. Nutrient levels in olive-orchard soils under three different cultivation techniques (La Loma, Spain). Actas Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions (Vol II) Ed.: A. Faz, R. Ortiz, A.R. Mermut.

Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F., Fereres, E., 2002. Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola. Ed. Mundi – Prensa. Madrid. 93-96.



CAPÍTULO 11

INSTALACIONES Y COSTES DE BOMBEO PARA EL RIEGO DE OLIVAR

Miguel Pastor Muñoz-Cobo
Victorino Vega Macías
Julio García- Liñán Lopez



1.- LA IMPULSIÓN

2.- CAUDAL A ELEVAR

3.- ALTURA MANOMÉTRICA
- 3.1.- Altura geométrica
- 3.2.- Pérdidas de carga en la red
- 3.3.- Presión de trabajo de los emisores

4.- ALTURAS DE TRABAJO
- 4.1.- Cálculo de la altura manométrica que debe suministrar el bombeo
- 4.2.- Altura neta positiva de aspiración

5.- BOMBAS PARA RIEGO
- 5.1.- Bombas horizontales
- 5.2.- Bombas verticales.
- 5.3.- Accionamiento de las Bombas
- 5.4.- Rendimiento de los equipos de bombeo
- 5.5.- Normas para el diseño de la aspiración e impulsión de las bombas

6.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DE UNA BOMBA

7.- CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO Y COSTES DE BOMBEO
- 7.1.- Energía consumida por los motores eléctricos
- 7.2.- Coste de bombeo
- 7.3.- Potencia de un motor eléctrico trifásico

8.- ELECCIÓN DE UNA MOTOBOMBA ELÉCTRICA
- 8.1.- Curvas características
- 8.2.- Selección de una bomba
- 8.3.- Ejemplo
- 8.4.- Varias bombas trabajando en serie

9.- PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA A LA HORA DE INSTALAR UNA BOMBA



10.- CUADROS DE ARRANQUE Y PROTECCIÓN PARA MOTORES TRIFÁSICOS

11.- POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

12.- POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

13.- MOTOBOMBAS ACCIONADAS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL
13.1.- Cálculo de la potencia del motor
13.2.- Coste del combustible consumido
13.3.- Ejemplo

14.- DEFECTOS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Referencias bibliográficas

1.- LA IMPULSIÓN

Cuando el agua no puede fluir por su propia energía, o no fluye con la presión suficiente, hay que elevarla o dotarla de presión suficiente para que pueda funcionar correctamente el sistema de riego. La forma más usual es impulsar el agua por medio de **bombas** hidráulicas, que son movidas por motores eléctricos o de combustión interna (gasolina o diesel).

Para la determinación del grupo de bombeo que debemos instalar en una instalación de riego es preciso conocer:

- el **caudal** que debe suministrar el grupo motobomba
- la **presión** a la que se debe suministrar dicho caudal (**altura manométrica**)

2.- CAUDAL A ELEVAR

El **caudal** (**Q**) que debe suministrar la bomba se calcula como el producto del número de goteros (**n**) que riegan simultáneamente en la instalación multiplicado por el caudal nominal del gotero ($\mathbf{q_n}$) y multiplicando además por un coeficiente de mayoración de seguridad que puede ser del 15 – 20 % (x 1,15 – 1,20), y que previene el más que probable aumento de caudal de los emisores por aumento de la temperatura del agua, así como por desgastes o deterioro de emisores, etc.

$$Q = 1{,}15 \times n \times q_n$$

$\mathbf{q_n}$ viene expresado en l / h, por lo que **Q** viene también expresado en litros por hora (**l / h**). Los fabricantes de bombas para seleccionar el modelo a instalar de acuerdo con los requerimientos de la instalación, altura manométrica y caudal, emplean usualmente las unidades de litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por hora (m^3/h).

Para convertir **l / h** en **l / s** debe dividirse por 3.600
Para convertir **l / h** en **l / min** debe dividirse por 60
Para convertir **l / h** en **m^3 / h** debe dividirse por 1.000

Por **ejemplo**, si vamos a regar un olivar de 3.000 árboles en el que se han instalado 2 goteros de 8 l/h por olivo, el caudal que nos debe suministrar la bomba será:

Q = 1,15 x 3.000 olivos x 2 goteros/ol x 8 l/h = 55.200 litros / hora

equivalentes a 55,2 m^3/ h y a 15,3 litros / segundo.

3.- ALTURA MANOMÉTRICA

Para el cálculo de la presión que debe suministrarnos la bomba se emplea la denominada **altura manométrica,** que se calcula sumando los siguientes conceptos:

Altura manométrica (HT) = **altura geométrica total** (depende de la topografía del terreno) + **pérdidas de carga en la red** (depende del diseño de la red de tuberías instalada) + **presión de trabajo** (necesaria para que funcionen los emisores).

3.1.- Altura geométrica

En la mayoría de los casos, las bombas que elevan el agua actúan en dos fases:

- **Aspiración**: elevación del agua desde su nivel hasta la bomba.
- **Impulsión**: conducción del agua desde la bomba hasta su destino (los goteros), y en concreto hasta el gotero situado en el punto más alto de la parcela a regar.

La tubería que conduce el agua desde el nivel donde se encuentra hasta la bomba se llama **tubería de aspiración**, mientras que la que conduce el agua desde la bomba hasta la red de distribución del agua en la plantación se llama **tubería de impulsión**. Finalmente las **tuberías de distribución** son las que reparten el agua a todos los olivos de la parcela mediante una red de tuberías de diferentes rangos (ver capítulo 9). La instalación de una bomba para el riego viene representada en la **figura 11.1.**

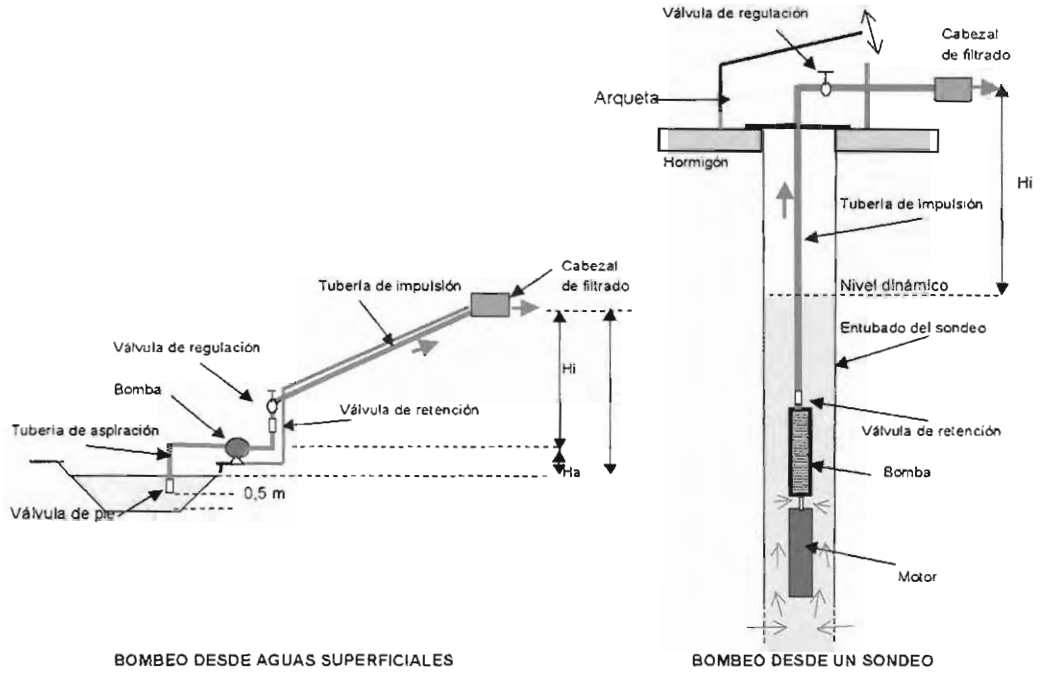


Figura 11.1: Esquemas de la instalación de una bomba en los casos de bombeo desde aguas superficiales y bombeo desde un sondeo. Se muestran los conceptos de altura geométrica de aspiración (Ha) y altura geométrica de impulsión (Hi) hasta la estación de filtrado.

Desde el punto de vista del cálculo, el primer paso es calcular la **altura geométrica total** a la que hay que transportar el agua. Debemos de considerar las siguientes alturas:

- **Altura geométrica de aspiración**: distancia vertical existente entre el nivel del agua aspirada y el eje de la bomba. En la práctica, cuando se bombean aguas superficiales la altura de aspiración no debe superar nunca los 6 ó 7 m. Cuando se emplean bombas sumergidas la altura de aspiración es igual a cero ya que la bomba debe estar permanentemente sumergida en agua.

- **Altura geométrica de impulsión**: distancia vertical entre el eje de la bomba y el punto más alto de la red de riego. En bombas sumergidas, que bombean un determinado caudal de agua desde un sondeo, la cota del eje de la bomba se sustituye por la cota de la lámina de agua, nivel dinámico para el caudal que estamos bombeando; esta cota suele variar en función del caudal que extraemos del sondeo.

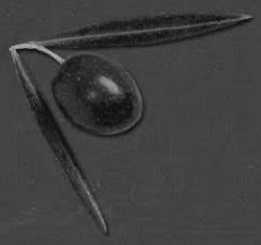
La **altura geométrica total** es la diferencia de cotas entre la lámina de lámina y el punto más alto de la red de riego, y se calcula como la suma aritmética de la **altura geométrica de aspiración** más la **altura geométrica de impulsión**.

3.2.- Pérdidas de carga en la red

El segundo paso es calcular las **pérdidas de carga** en los elementos de la instalación. El agua, en su circulación en la red de riego hasta llegar a los emisores, sufre pérdidas de presión, denominadas **pérdidas de carga** (PC), debidas al rozamiento del agua en las paredes de las tuberías, siendo mayores dichas pérdidas cuanto mayor es la velocidad de circulación dentro de la red. Por esta razón cuando un determinado caudal circula por una tubería de diámetro insuficiente, obligamos al agua a circular a una gran velocidad, lo que origina unas grandes pérdidas de carga que encarecen el coste del metro cúbico de agua bombeado. Desde el punto de vista del cálculo de la potencia del grupo de bombeo, dicha pérdida de carga se computa como una altura suplementaria (medida en metros de columna de agua = m.c.a.) a la que habría que subir el agua, y en definitiva a un aumento en la presión de servicio de la bomba para que el agua llegue a los goteros con la presión necesaria para su correcto funcionamiento.



Fotografía 11.1: Captación de agua en el río Guadalquivir utilizando dos bombas sumergibles colgadas de cables de acero que permiten sacar las bombas con facilidad cuando no se está bombeando agua. Las tuberías flexibles del primer tramo de la impulsión facilitan la operatividad del sistema. Se emplea este tipo de captación para evitar los efectos devastadores de las avenidas del río cuando se producen las tormentas, cosa frecuente en esta zona.



I.S.B.N.: 84-8474-169-9 *(Junta de Andalucía)*
I.S.B.N.: 84-8476-229-7 *(Mundi-Prensa)*

JUNTA DE ANDALUCIA
Consejería de Agricultura y Pesca

Mundi-Prensa

3.3.- Presión de trabajo de los emisores

En olivar se emplean normalmente goteros autocompensantes (ver capítulo 9). Para que los goteros suministren su **caudal nominal** es necesario que la presión del agua que llega al gotero esté dentro de su rango de trabajo, dato que suministra el fabricante, normalmente entre 0,5 – 3,5 kg/cm^2. Pero a efectos de cálculo y buen funcionamiento deberemos procurar que al diseñar la instalación dicha presión esté dentro del rango 1,0 a 2,0 kg/cm^2, es decir a una altura equivalente comprendida entre 10 – 20 m.c.a.

4.- ALTURAS DE TRABAJO

4.1.- Cálculo de la altura manométrica que debe suministrar el bombeo

Si quisiéramos elevar agua **hasta un depósito** elevado, los datos necesarios para calcular la **altura manométrica** son los siguientes:

- Caudal de agua que se desea elevar: **Q** (necesario para el cálculo de la potencia)
- Altura geométrica de aspiración: **Ha**
- Altura geométrica de impulsión: **Hi** (en este caso la del nivel máximo del agua en el depósito)
- Longitud y diámetro de la tubería aspiración: **La** y **Øa**
- Longitud y diámetro de la tubería impulsión: **Li** y **Øi**
- Cálculo de la pérdida de carga en la tubería de aspiración: **PCa** (debemos recalcar aquí que esta pérdida de carga depende mucho del diseño que se haya hecho de la aspiración)
- Cálculo de la pérdida de carga en la tubería de impulsión: **PCi** (depende igualmente del diseño de la red, diámetro seleccionado y longitud total del trazado).

En el caso de tener que calcular dicha altura para un correcto **funcionamiento de una instalación de riego**, sin depósito intermedio, nos harían falta conocer:

- Caudal de agua que se desea elevar: **Q** (por diversas razones es conveniente mayorarlo en un 15%)
- Altura geométrica de aspiración: **Ha**
- Altura geométrica de impulsión: **Hi**
- Longitud y diámetro de la tubería aspiración: **La** y **Øa**
- Longitud y diámetro de la tubería impulsión hasta estación de filtrado: **Li** y **Øi**
- Longitudes y diámetros de las tuberías de distribución: **Ld** y **Ød**
- Cálculo de la pérdida de carga en la tubería de aspiración: **PCa**

- Cálculo de las pérdidas de carga en la red tuberías (impulsión, primarias, secundarias, terciarias, laterales) que componen la red de riego, siguiendo el itinerario que en este caso va desde la salida de la bomba hasta el olivo que se encuentra ubicado en el punto más desfavorable de la instalación: **PCd**
- Pérdidas de carga producidas en el cabezal de riego (filtros fundamentalmente): **PCcab**
- Presión de trabajo del emisor: **PT**

Es necesario evaluar además las pérdidas de carga que se producen en los puntos singulares (**PCps**) de la instalación (codos, tes, válvulas, tomas de ramal, etc.), analizando con detalle el recorrido del agua desde la bomba hasta el gotero situado en el punto más desfavorable. Esta pérdida de carga será función del número de puntos singulares y de la velocidad a la que pase el agua por esos puntos; a efectos prácticos este valor estará comprendido entre 2 y 6 m.c.a. La **tabla 11.1** muestra las pérdidas de carga en puntos singulares, expresadas en longitud de tubería equivalente según diámetro de la tubería.

Tabla 11.1: Pérdidas de carga en puntos singulares, expresadas en longitud de tubería equivalente según diámetro de la tubería (Fuentes Yagüe, 1992).

Accesorio	n (1)
Válvula de esfera abierta	350
Válvula de retención abierta	135
Válvula de compuerta:	
abierta	13
3/4 de abertura	35
1/2 de abertura	160
1/4 de abertura	900
Válvula de mariposa abierta	40
Te, por cada salida lateral	67
Codo de 90º	27

(1)
Le = n x D
Le = longitud equivalente de tubería recta
n = número de veces el diámetro de la tubería
D = diámetro de la tubería

La altura manométrica (**Hm**)de cálculo sería:

$$Hm = Ha + Hi + PCa + PCi + PCd + PCps + PT + PCcab$$

Ejemplo:

Se desea bombear un caudal de agua de 16.200 l/h desde un pozo donde el nivel del agua está 5 m por debajo del nivel del suelo, hasta un cabezal de riego, situado a una diferencia de cota de 30 m y a una distancia de 750 m. La bomba está situada 2 m más baja que el nivel del suelo. La presión de trabajo requerida para el funcionamiento de los goteros es 1,5 kg/cm^2. La pérdida de carga admisible en el cabezal de filtrado lo fijamos en 0,7 m.c.a . En la impulsión se emplea una tubería de PVC de 90 mm de diámetro y timbraje 6 atm que genera unas pérdidas de carga de 1,3 m.c.a. por cada 100 metros de tubería. Las pérdidas de carga en la red de distribución en la parcela de olivar se cifran en 12 m. Calcular la altura manométrica para el diseño de la bomba.

Solución:

Ha = 5 – 2 = 3 m
Hi = 30 + 2 = 32 m
Q de cálculo = 16.200 l/h x 1,15 = 18.630 l/h / 3.600 s/h = 5,17 l/seg
PT = 1,5 x 10 = 15 m.c.a. (10 m.c.a. = 1 kg/cm^2)
PC_{cab} = 0,7 kg/cm^2 = 7 m.c.a.

Cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías de aspiración + impulsión. Suponiendo que utilizamos el mismo diámetro de tubería para la impulsión y la aspiración, tendremos que:

Longitud de aspiración	La = 5 - 2 = 3 m
Longitud de impulsión	Li = 750 + 2 = 752 m
Longitud total	Lt = 3 + 752 = 755 m

Pérdida de carga en la aspiración + impulsión = $PC_a + PC_i$

$PC_a + PC_i = 755\ m \times 1{,}3\ m / 100\ m = 9{,}8\ m.c.a.$

Pérdida de carga en la tubería de distribución es PCd = 12,0 m.c.a. (dato que en este caso nos da el problema que estamos resolviendo).

Pérdida de carga en puntos singulares (PC_{ps}), para esta instalación la evaluamos en 5,42 m.c.a.

Por tanto, la **altura manométrica** que deberá suministrar la bomba será:

$$\boldsymbol{Hm} = H_a + H_i + PC_a + PC_i + PCd + PC_{ps} + PC_{cab} + PT = 3 + 32 + (9{,}8 + 12{,}0 + 5{,}42) + 7 + 15 =$$
$$= \boldsymbol{84{,}22\ m.c.a.}$$

Además la bomba deberá suministrar un caudal de 18,63 m^3/h.

4.2.- Altura neta positiva de aspiración

A efectos de dimensionado y diseño de las aspiraciones de las bombas se utiliza el concepto $NPSH_d$ que es la presión absoluta disponible a la entrada del rotor de la bomba. Es una característica del sistema, y se calcula empleando la fórmula siguiente:

$$NPSHd = (Ho - Hv) \pm Hs - Hf$$

en la que **Ho** = presión atmosférica, en mca; **Hv** = presión de saturación del vapor de agua, en mca; **Hs** = altura geométrica de aspiración, en metros (va precedida del signo – cuando la bomba está situada por encima del nivel del agua, y del signo + cuando esté por debajo del nivel del agua); **Hf** = pérdida de carga en la tubería de aspiración, en mca.

La siguiente tabla nos da los valores de **(Ho –Hv)** en función de la temperatura del agua y de la altitud sobre el nivel del mar.

Temperatura del agua (ºC)	Altitud sobre nivel del mar (m)		
	0	500	1.000
0	10,3	9,7	9,2
10	10,2	9,6	9,1
20	10,1	9,5	9,0
30	9,9	9,3	8,8
40	9,6	9,0	8,5

Ejemplo: Una bomba trabaja a una altura de 500 m sobre el nivel del mar elevando agua cuya temperatura es 20 ºC. La altura de aspiración es de 3 m y las pérdidas de carga en la aspiración ascienden a 1,2 mca. La bomba trabaja por encima del nivel del agua. Calcular $NPSH_d$.

$$NPSHd = (Ho - Hv) \pm Hs - Hf = 9,5 - 3 - 1,2 = 5,3\ m$$

Definiremos también el concepto de **altura neta positiva de aspiración requerida** (**$NPSH_r$**), que es la presión de entrada requerida por la bomba para que esta funcione correctamente, sin que existan problemas de cavitación. Es una característica de la bomba que varía según el diseño de la misma, tamaño de ésta y condiciones de servicio, por lo que es un dato que debe dar el fabricante.

Debe cumplirse siempre que **$NPSH_d > NPSH_r$**, por lo que la **altura máxima de aspiración** (**Hs**) se obtendrá de la expresión:

$$Hs < (Ho - Hv) - (NPSH_d + Hf)$$

Valores negativos de dicha **Hs** indicarían que la bomba debe trabajar sumergida. Reducir el valor de **Hf** puede lograrse aumentando el diámetro de la tubería de aspiración, con lo que se consigue reducir las pérdidas de carga en dicha tubería, lográndose aumentar el valor de **NPSHd**.

5.- BOMBAS PARA RIEGO

En una instalación de riego la misión de una bomba es transferir energía al agua para posibilitar su transporte. Se utiliza para suministrar la **presión** con la que hay que impulsar el agua dentro de la instalación, así como el **caudal** total que debemos hacer circular por la red, para conseguir aportar la misma cantidad de agua a todos los olivos de la explotación, de acuerdo con un programa de riego preestablecido. Estos datos salen del proyecto de riego, paso previo a la realización de la instalación.

Las bombas son máquinas hidráulicas de movimiento rotativo, en las que se produce un aumento de la velocidad del agua provocado por el movimiento giratorio de un elemento, llamado **impulsor** o rodete, formado por palas o álabes. El giro del impulsor transfiere al agua una energía cinética que posteriormente pasará a energía de presión en el interior del cuerpo de la bomba. Un motor acoplado directamente a la bomba, o mediante algún tipo de transmisión, se encarga de suministrar la energía necesaria para el giro del impulsor. Los motores eléctricos, en la mayoría de los casos, ofrecen grandes ventajas con respecto a los de combustión interna, lo que hace que sean los más utilizados, siempre que se disponga de energía eléctrica. Siempre queda el recurso de utilizar un grupo electrógeno. Al conjunto motor + bomba se denomina **grupo motobomba**, denominándose electrobomba si el motor es eléctrico.

La gran mayoría de las bombas utilizadas en riego corresponden al tipo denominado rotodinámico (turbobombas). No es objetivo de este libro hacer una clasificación general de los distintos tipos de bombas existentes en el mercado. Las bombas se clasifican según los siguientes criterios:

a) Por el tipo de flujo:
- Axial.
- Radial.
- Mixto.

Sus características más destacables son las siguientes (Fuentes Yagüe, 1992):

Tipo de bomba	Caudal	Altura de impulsión (m)
Axial	Alto	Baja
Mixto	Medio	Media
Radial	Bajo	Alta

b) Por el tipo de impulsores:
- Unicelulares.
- Multicelulares.

c) Por la disposición del eje de rotación:
- Verticales (sumergidas , no sumergidas).
- Horizontales.

De todos estos criterios de clasificación, el más operativo de cara a la elección del tipo de bomba a instalar es el último de los mencionados, ya que raramente se decide *a priori* si el grupo a instalar ha de tener tal o cual tipo de flujo o un número de impulsores establecido. Sin embargo no debe establecerse una clasificación estanca, ya que, por ejemplo, una bomba de diseño horizontal puede colocarse verticalmente, o una bomba sumergida puede instalarse en posición horizontal

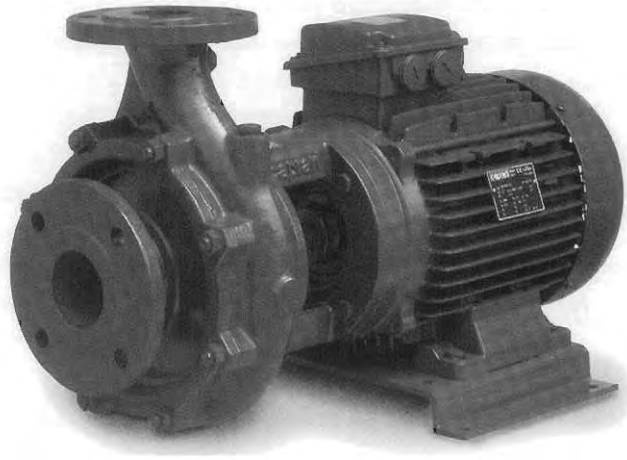


Figura 11.2: Electrobomba centrífuga monobloque de eje horizontal. (Cortesía de Bombas Caprari).

5.1. Bombas horizontales

Los modelos de bombas horizontales más usados en riego son del tipo **unicelular** (un solo impulsor) de aspiración axial (ésta se produce por el centro del impulsor) e impulsión lateral (**fotografía 11.2**). Su capacidad de elevación en altura manométrica difícilmente supera los 60-70 m.

Cuando se pretende alcanzar mayores alturas manométricas, se suele recurrir a utilizar bombas con varios impulsores montados en serie (**bombas multicelulares**). Con esta disposición, y para un determinado caudal, se consigue mejorar las prestaciones de la bomba, aumentando la altura manométrica proporcionada por cada impulsor (multiplicar por el número de impulsores existentes).

A veces, cuando existen grandes elevaciones desde punto de captación del agua hasta las zonas más altas, puede ser necesario instalar un grupo intermedio de rebombeo; bien utilizando un depósito intermedio o un rebombeo directo en red. En este caso hay que elegir minuciosamente la bomba a emplear en el rebombeo, entre las que podrían suministrar los diferentes fabricantes, advirtiendo a estos que la aspiración de la bomba del rebombeo va a recibir agua a una determinada presión, y comprobando que la bomba debe salvar la altura geométrica, más las pérdidas de carga, más la presión necesaria para el correcto funcionamiento de los emisores de agua. La entrada en servicio del rebombeo puede automatizarse por medio de un presostato tarado a una determinada presión.



Fotografía 11.3: Estación de bombeo en la comunidad de regantes de Relámpago en Torreperogil (Jaén), comunidad en la que se riegan 1.500 has de olivar. En este caso se emplean tres bombas centrífugas monobloque de eje horizontal trabajando en paralelo. El agua se bombea desde una balsa de gran capacidad a través de una toma flotante, permaneciendo las bombas permanentemente en carga, situación ideal debido a la favorable diferencia de cotas entre el nivel de la toma y el eje de las bombas. Una vez impulsada el agua esta pasa a la estación de filtrado compuesta en este caso por filtros de arena y malla. Obsérvese los codos de entrada a la bomba de la tubería de aspiración y el de salida desde la bomba a la tubería de impulsión, así como las válvulas de retención necesarias en este caso para el bombeo en paralelo.

Para el buen funcionamiento de las bombas el diseño de la aspiración es más importante que el de la impulsión. Un aspecto importante a considerar en el diseño de la instalación de las bombas de eje horizontal es el referente a las **condiciones de aspiración.** Lo ideal sería que la superficie libre del agua a bombear se encontrara siempre por encima de la cota del eje de la bomba (bomba en carga), de lo contrario se instalará una válvula de pie, o si fuese necesario un grupo de cebado. La tubería de aspiración se diseñará siempre lo más corta posible y con diámetro suficientemente holgado. Estas recomendaciones van encaminadas a evitar los problemas de **cavitación** que se producen cuando la aspiración no ha sido bien diseñada. Como no siempre es posible situar las bombas en la situación más idónea, la altura máxima de aspiración nunca debe sobrepasar la recomendada por el fabricante en cada caso. Si no fuese posible cumplir estas exigencias deberíamos optar por la instalación de una bomba sumergida.



Figura 11.2: Electrobomba multicelular de eje vertical no sumergida (Cortesía de Bombas Caprari).

5.2. Bombas verticales.

Este tipo de bombas se utiliza preferentemente en la explotación de aguas subterráneas, aunque en muchas ocasiones se les da otros usos. En este tipo de bombas podemos incluir tanto las bombas de cabezal con eje de transmisión vertical, como las bombas sumergibles tipo buzo, en las que tanto bomba como motor están permanentemente sumergidas en el agua (**fotografía 11.4**), más tarde se hablará de este tipo de bombas. En los **grupos de bombeo verticales con motor no sumergible** (**figura 11.3**) la transmisión vertical de potencia a la bomba (sumergida) se realiza mediante un eje articulado, y solamente la bomba trabaja sumergida, mientras que el motor (eléctrico o de combustión interna, o incluso un tractor que acciona la bomba a través de su toma de fuerza) se sitúa sobre una bancada en la superficie, y siempre en ambiente seco. Existen también modelos de **bomba vertical** en los que tanto la **bomba como el motor no son sumergibles** (**figura 11.2**), en este caso se trata de bombas **multicelulares**, que se emplean en situaciones en las que se necesita impulsar el agua a alturas considerables con relación al punto de toma, siempre que la altura de aspiración no sea demasiado grande. La altura y distancia entre la lámina de agua y la bomba limitan el empleo de este último tipo de bombas en muchas ocasiones.

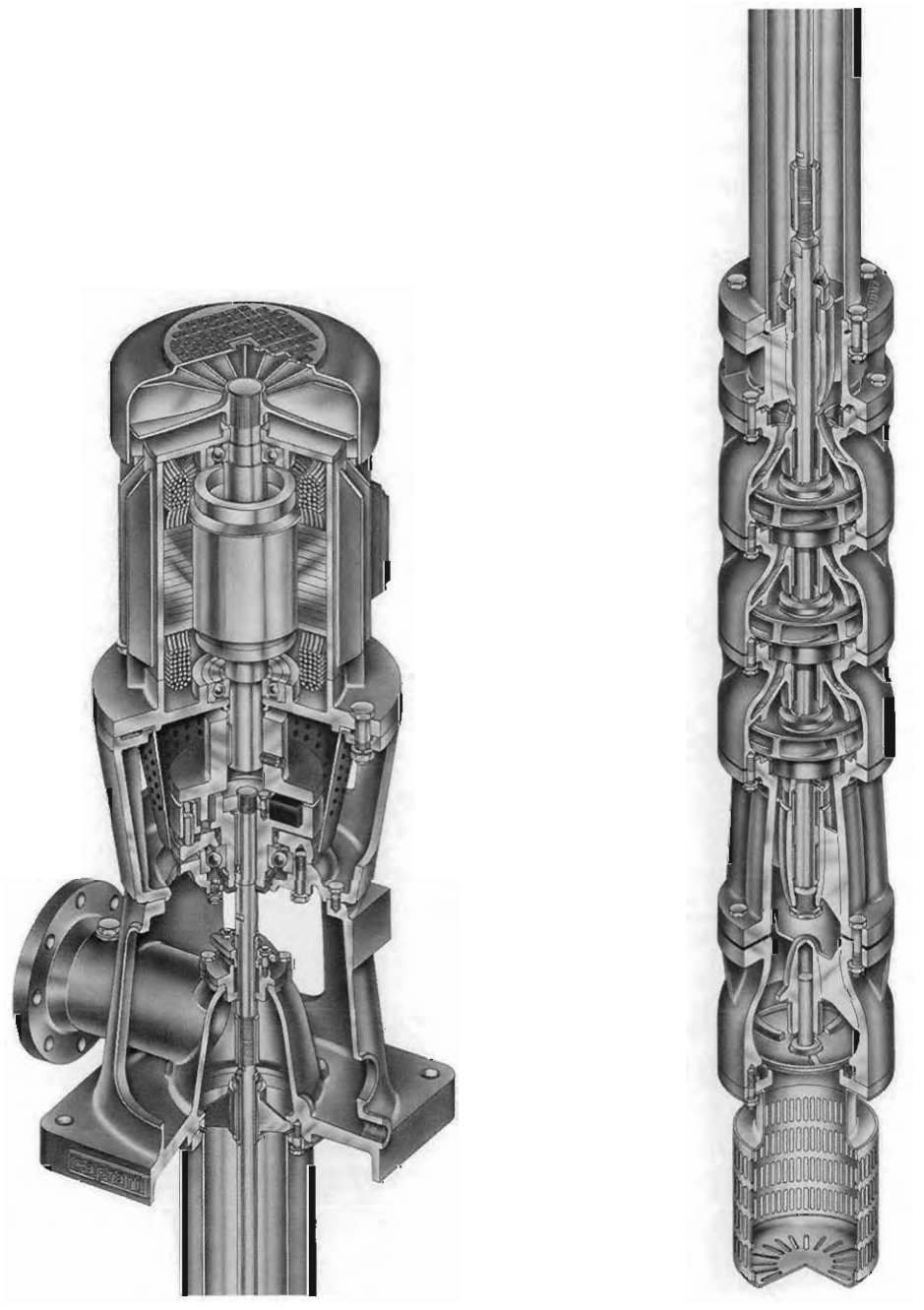


Figura 11.3: Electrobomba de eje vertical no sumergida utilizable para extraer agua de pozos profundos compuesta por un motor eléctrico (en superficie y no sumergido), a la izquierda, que acciona una bomba de tres etapas (a la derecha) a través de tramos de transmisión mecánica en el interior de la columna de impulsión, por la que el agua bombeada desde el pozo sale a presión al exterior a través del cabezal de descarga, también en la figura de la izquierda. (Cortesía de Bombas Caprari).

Cuando la profundidad de los pozos es grande, el anterior tipo de bombas no se puede utilizar ya que a las limitaciones de tipo mecánico se les añade el coste de la instalación, las grandes pérdidas de carga y el elevado coste de mantenimiento hace que se considere conveniente el empleo de **bombas sumergidas** (**figura 11.4** y **fotografía 11.5**). Estas bombas se caracterizan porque tanto el cuerpo de bomba como el motor están sumergidos en el agua dentro del pozo. Su función es extraer agua de sondeos estrechos y profundos. El motor se sitúa debajo de la bomba, con un acoplamiento normalizado para transmitir el movimiento a los impulsores, dejando un espacio en medio que se rellena de agua, que constituye la aspiración. Estas bombas son **multifásicas** y los impulsores suelen ser de tipo centrífugo (radiales) o de flujo mixto (semiaxiales). El grupo motobomba se instala suspendido de la tubería de impulsión, metálica normalmente, conectándose los tramos mediante bridas atornilladas provistas de la correspondiente junta, si bien cada vez son más utilizadas la tuberías flexibles autoportantes por su facilidad de instalación. En ocasiones, cuando la profundidad del pozo es pequeña y el caudal y presión son de escasa importancia se suele utilizar tubería fabricada en PE.

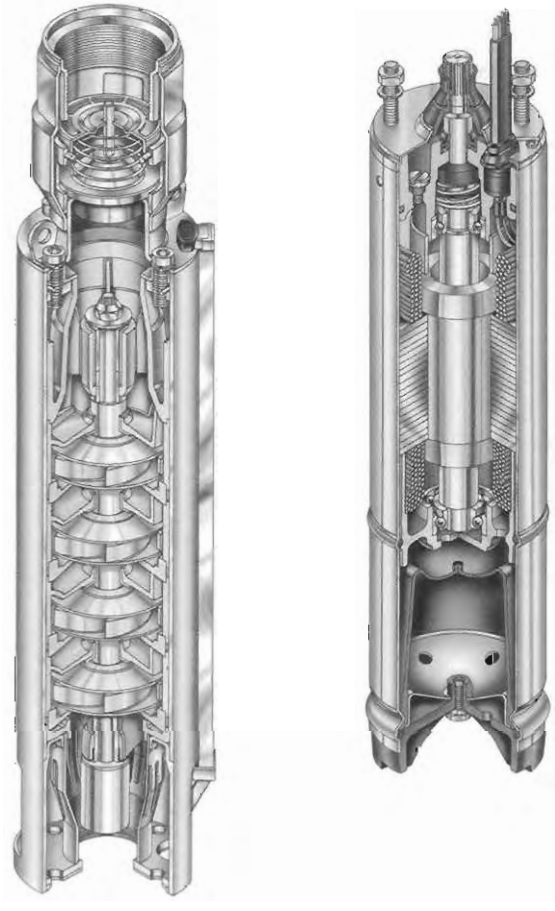
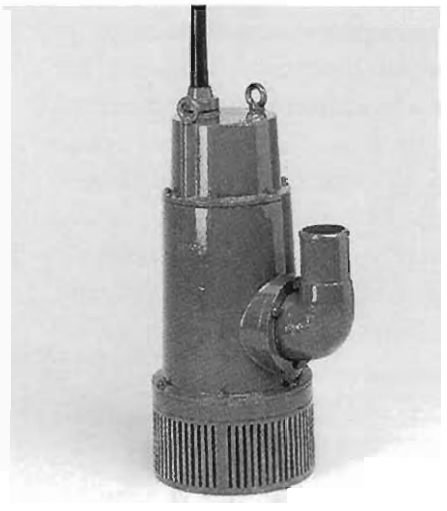
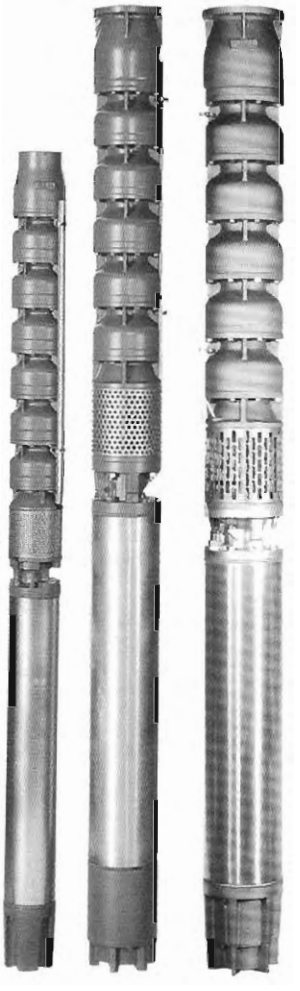


Figura 11.4: Secciones de electrobomba multifase de eje vertical sumergida equipada con rodetes radiales de presión en serie. A la derecha motor eléctrico con el que va equipada la bomba. (Cortesía de Bombas Caprari).



Fotografía 11.4: Electrobomba sumergible, que se utiliza preferentemente para el bombeo de aguas sucias cargadas de sedimentos. Este es el tipo de bomba mostrado en el bombeo en la captación de la fotografía 11.1 de este capítulo (Cortesía Caprari)



Fotografía 11.5: Bombas sumergidas multicelulares de eje vertical que se emplean para el bombeo de agua dentro de pozos de sondeo, normalmente de limitado diámetro. (Cortesía de Bombas Ideal).

Un aspecto importante a la hora de la instalación (**figura 11.5**) de las bombas sumergidas lo constituye la **refrigeración de los motores**, que se produce mediante la circulación de la corriente de agua a bombear (normalmente fría) que transita entre la superficie del motor y la tubería de entubado del sondeo camino de la boca de aspiración. Las velocidades mínimas de circulación deben oscilar entre 10 y 50 cm/sg, según tipos de bomba y potencias. Dos factores desempeñan un papel importante en la refrigeración de los motores:

- la temperatura del agua a bombear,
- la velocidad del agua sobre la superficie del motor.

Estos dos factores están relacionados entre sí, en el sentido de que cuanto mayor sea la temperatura del agua mayor debe ser la velocidad de tránsito para lograr una correcta refrigeración del motor. Tanto temperatura como la velocidad del agua deben estar dentro del rango recomendado por el fabricante. Son de uso común diversos dispositivos que mejoran y previenen los defectos en cuanto a la refrigeración de los motores sumergibles: sondas de temperatura, camisas de refrigeración, etc. Cuando se trabaja con aguas muy calientes es necesario además:

Rendimiento (%) = [Trabajo utilizado / Trabajo consumido] x 100

En la elevación del agua funciona un equipo compuesto por dos máquinas: el **motor** y la **bomba.** El rendimiento del equipo de bombeo será:

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2$$

η = rendimiento del equipo de bombeo
η_1 = rendimiento del motor
η_2 = rendimiento de la bomba (dato suministrado por el fabricante)

El rendimiento de los motores eléctricos varía según la potencia nominal. En ausencia de datos reales del fabricante podrían emplearse los siguientes:

Potencia del motor (CV)	Rendimiento (%)
1	73-83
5	82-87
10	85-89
20	87-90
50	90-93
100	91-94
150	92-94
200	93-95

Téngase también en cuenta que el rendimiento de los motores aumenta con la sobrecarga y disminuye al hacerlo la carga.

Cuando no se conocen los rendimientos del motor ni de la bomba, podrían utilizarse los siguientes valores para el grupo motobomba:

Para grupos motobomba menores de 5 CV $\eta = 0,5$
Para grupos motobomba mayores de 5 CV $\eta = 0,6$

5.5.- Normas para el diseño de la aspiración e impulsión de las bombas

Como ya se ha dicho anteriormente, para el correcto funcionamiento de las bombas horizontales, la tubería de aspiración y la bomba deben estar cebadas (las bombas centrífugas no son aspirantes) y por tanto deben disponer de dispositivos de cebado, válvula de pie, grupo de vacío o ambos, para que no se deseeben entre cada ciclo de funcionamiento. Lo anterior no es aplicable al caso en que se empleen bombas sumergidas.

En bombas de eje horizontal el diámetro de la tubería de aspiración debe ser superior al del orificio de aspiración de la bomba, y la unión entre ambos debe tener una forma que impida la formación de bolsas de aire. Esta unión se hace mediante un cono asimétrico horizon-

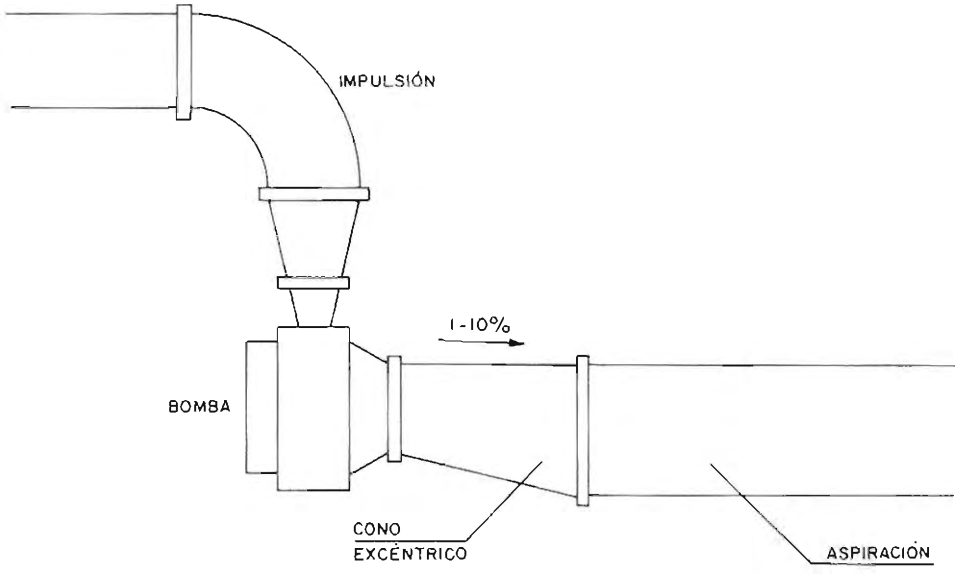


Figura 11.6: Detalle de unión de la tubería de aspiración con la bomba horizontal mediante un cono excéntrico, así como de la salida de la bomba y su unión con la tubería de impulsión mediante un cono simétrico. Las dimensiones de estos conos debe darlas el fabricante de la bomba. (Fuentes Yagüe, 1992).

tal, colocando la generatriz más inclinada en la parte inferior. Conviene que la generatriz superior del cono no quede horizontal, sino que tenga una cierta inclinación (del 1 al 10%) ascendente hacia la bomba (**figura 11.6**).

El colador de admisión de la tubería de aspiración debe quedar a una cierta distancia mínima del nivel del agua (de 2 a 3 veces el diámetro del orificio de aspiración con respecto al nivel del agua), con el fin de evitar la formación de remolinos en la superficie, por donde se podría introducir aire dentro de la bomba, lo que se traduciría en un funcionamiento deficiente y en una pérdida de caudal.

Si se va a bombear el agua desde una cámara de bombeo, debe dimensionarse ésta de modo que el colador de admisión quede a unas ciertas distancias con respecto a las paredes y fondo

de la cámara donde se capta el agua. En el diseño de esta cámara debemos tener en cuenta que el diámetro teórico de la misma debe permitir que la velocidad del agua que aspiremos sea inferior a 1 metro / segundo, ese diámetro teórico es independiente del que hayamos proyectado para la tubería de aspiración.

Fuentes Yagüe (1992) da unas distancias mínimas desde la válvula de pie de la aspiración a las paredes y fondo de la cámara en donde se capta el agua:

a las paredes ..... 2 x d
al fondo ..... 1,5 x d

siendo **d** el diámetro de la tubería de aspiración.

En el caso de bombas sumergidas en pozos entubados puede reducirse la distancia a las paredes siempre que se respeten las recomendaciones del fabricante.

Si se va a bombear directamente desde una corriente de agua (río por ejemplo), la **válvula de pie** (aspiración) no debe tocar el fondo. Deberíamos colocarla a una altura del fondo prudencial (0,5 metros mínimo) para no arrastrar partículas o cuerpos extraños que podrían dañar la bomba.

Si se coloca un filtro en aspiración (colador), solamente en el caso de utilizar aguas muy sucias, tenerlo presente en el cálculo de las pérdidas de carga de aspiración.

La tubería de aspiración debe diseñarse (diámetro y longitud) de modo que **NPHSd** (ver apartado 4.2) cumpla con los valores especificados por el fabricante de la bomba. Para evitar o minimizar las turbulencias a la entrada de la bomba debería instalarse un tramo de tubería recta antes de la entrada de la bomba, cuya longitud sea 5-6 veces el diámetro de dicha tubería.

Para tuberías de fundición los diámetros normalizados expresados en milímetros son los siguientes:

40	100	250	500
50	125	300	600
65	150	350	700
80	200	400	800

Para facilitar el diseño de las tuberías de aspiración e impulsión, la **tabla 11.2** nos muestra las pérdidas de carga en tuberías de acero soldado.

Tabla 11.2: Pérdidas de carga en tubería de acero soldado (Hazen- Wiliams) expresadas en metros por 100 m.

Caudal	Diámetro interior de la tubería (mm)							
l /seg	50	75	100	125	150	200	250	300
0,6	0,3	0,1						
1,3	1,1	0,2						
1,9	2,4	0,3	0,1					
2,5	4,1	0,6	0,2					
3,2	6,3	0,9	0,3	0,1				
4,4	13,1	1,9	0,5	0,2				
6,3	22,5	3,2	0,9	0,3	0,1			
7,9	34,0	4,8	1,3	0,4	0,2			
9,5	47,5	6,7	1,8	0,6	0,2			
11,0		8,9	2,4	0,8	0,3	0,1		
12,6		11,5	3,1	1,0	0,4	0,1		
15,8		17,3	4,7	1,5	0,6	0,2		
19,0		24,3	6,5	2,2	0,9	0,2		
22,0		32,3	8,7	2,9	1,2	0,3	0,1	
25,2		41,	411,1	3,7	1,5	0,4	0,1	
28,4			13,9	4,6	1,9	0,5	0,2	
31,6			16,8	5,6	2,3	0,6	0,2	0,1
37,9			23,6	7,8	3,2	0,8	0,3	0,1
44,2			31,4	10,4	4,3	1,1	0,4	0,2
50,5			40,2	13,3	5,5	1,4	0,5	0,2
56,9				16,5	6,8	1,8	0,6	0,3
63,2				20,1	8,3	2,2	0,7	0,3
76,0				28,1	11,6	3,0	1,0	0,4
88,5				37,5	15,4	4,0	1,3	0,6
101,0					19,7	5,2	1,7	0,7
113,8					24,6	6,5	2,1	0,9
126,0					29,8	7,8	2,6	1,1

En la siguiente tabla, y en función de los caudales a bombear, se dan los diámetros recomendados de las tuberías de aspiración e impulsión para los diámetros normalizados de tubería metálica (acero estirado o chapa enrollada helicoidal o longitudinalmente):

Caudal l / s	Diámetro de la tubería (mm) (*)	
	Aspiración	Impulsión
2,5	65	50
5	80	65
10	100	100
15	125	100
20	150	125
40	200	200
60	250	200
100	300	250

(*) Se proponen tuberías metálicas de diámetro normalizado

Para el cálculo de las pérdidas de carga en una tubería de aspiración deben seguirse los pasos que se muestran en el ejemplo siguiente:

Ejemplo

Se quiere elevar un caudal de 22 l/s por una tubería de aspiración de acero de 7 m de longitud y 150 mm de diámetro (ver tabla anterior). Dicha tubería tiene instalados los siguientes accesorios: una válvula de pie con colador, un codo de 90º y un cono excéntrico. Calcular las pérdidas de carga en la aspiración.

En la **tabla 11.2** se dan las pérdidas de carga en tuberías de acero soldado. Para un caudal de 22 l/s la tubería de 150 mm de diámetro tiene unas pérdidas de carga de 1,2 m por cada 100 metros de tubería. Para ese diámetro la longitud de tubería equivalente de los accesorios es la siguiente:

1 válvula de pie ..... 50 m
1 colador ..... 55 m
1 codo 90º ..... 6 m
1 cono excéntrico ..... 5 m
116 m

Longitud ficticia de la tubería: 7 m + 116 m = 123 m.

Pérdida de carga en la aspiración = 123,0 m x 1,2 m / 100 m = **1,47 m**

La salida de la bomba (**figura 11.6**), y siguiendo las instrucciones del fabricante en cuanto a diámetros se refiere, se debe colocar un **cono simétrico** que se ensancha gradualmente hacia la tubería de impulsión.

Si la bomba debe elevar el agua a una cierta altura geométrica superior a 15 metros, y especialmente si esta es muy superior a la citada cifra (**figura 11.1**) , en primer lugar, y siguiendo el flujo del agua en la tubería de impulsión, se debe colocar una **válvula de retención** con el fin de evitar la inversión de corriente cuando se produce el paro de la bomba, a continuación se coloca una **válvula de compuerta** (regulación). Los diámetros de estos accesorios deben estar de acuerdo con los de la tubería de impulsión.

Cuando se llena la **tubería de impulsión** al arrancar la bomba (**figura 11.1**), si esta se arranca con la válvula de regulación totalmente abierta, la bomba elevaría un caudal superior al correspondiente a su curva característica (trabajo fuera de curva), debido a la falta de resistencia, lo que puede dar lugar a algunos inconvenientes, tales como la cavitación, descebado, etc. Para evitarlo existen dos formas de proceder:

- Arrancar con la válvula de regulación muy cerrada, y manualmente ir abriéndola poco a poco hasta alcanzar la presión de trabajo a la que se ha diseñado la instalación.
- Instalar una válvula de control, por ejemplo una válvula sostenedora de presión, que no permita que la presión en la cámara de la bomba descienda por debajo de lo que admite su curva.

Para impulsar un determinado caudal se podría utilizar tubería de cualquier diámetro, pero a medida que disminuye el diámetro se necesita imprimir mayor velocidad al agua, para que el caudal no disminuya, lo que supone una mayor pérdida de carga, y en consecuencia mayor potencia en la bomba y por tanto un mayor consumo de energía. Además, una velocidad excesiva del agua podría ocasionar serios inconvenientes (roturas cuando se producen sobrepresiones y depresiones en la conducción, ocasionadas por el **golpe de ariete,** en las puestas en marcha y paradas de la instalación). En caso contrario, a mayor diámetro de tubería corresponde menor consumo de energía, pero el coste de adquisición de la tubería sería mayor. El diámetro a instalar más conveniente será el resultado de elegir la solución más económica, teniendo en cuenta los costes de la tubería y el de la energía consumida en el bombeo (ver capítulo 10).

En tuberías de impulsión de hasta 300 mm de diámetro, la velocidad del agua debe estar comprendida entre 1 y 2 m/seg, acercándose a 2 m/seg en impulsiones cortas y a 1 m/seg en impulsiones largas. A título orientativo la **tabla 11.3** muestra los valores de las pérdidas de carga para tuberías de PVC (timbraje 10 atm por ejemplo) para diferentes caudales de agua y para velocidades del agua en la tubería comprendidas entre 1 y 2 m/seg.

Tabla 11.3: Pérdidas de carga, tabulación de la fórmula de Prandtl, expresadas en m / 1000 m, en tubería compacta de PVC (10 atm), para diferentes caudales de agua limpia. Se considera un rango de velocidades del agua comprendido entre 1,0 y 2,0 litros/segundo.

	Diámetros												
Nominal (mm)	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	250	315	400
Interior (mm)	45,2	57,0	67,8	81,4	101,6	115,4	129,2	147,6	158,6	184,6	230,8	290,8	369,4
Caudal (l/s)													
0,5	3												
1	12	4											
1,5	23	8											
2	39	13	6										
2,5	57	19	8										
3		27	12										
3,5		35	15	6									
4		45	19	8									
4,5		55	24	10									
5			29	12									
6			40	16	6								
7			53	22	8								
8				28	10								
9				34	12								
10				43	14	8							
11				49	17	9							
12				57	20	12							
13					23	13	7						
14					26	14	8						
15					29	16	9	5					
17,5						21	12	7					
20						27	16	8	6				
22,5							19	10	7				
25							23	13	9				
27,5								15	11	5			
30								17	12	6			
32,5								20	14	7			
35									16	8			
37,5									18	9			
40									20	10	3		
45										12	4		
50										15	5		
55											6		
60											7		
65											8	3	
70											9	3	
75											11	3,5	
80											12	4	
85												4,3	
90												5	
100												6	
110												7	2
120												8	2,5
130												9,5	3
140													3,3
150													4

6.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DE UNA BOMBA

Para calcular la potencia necesaria en la elevación del agua, se emplea la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q \times Hm}{270 \times \eta}$$

en la que:

P = Potencia absorbida por el eje de la bomba, expresada en **cv**
Q = Caudal expresado en **m³/h**
Hm = Altura manométrica expresada en **m.c.a.**
η = Rendimiento de la bomba expresado en **tanto por 1**

si quisiéramos expresar esta potencia en **kw**, debemos multiplicar por **0,736** el resultado obtenido en la expresión anterior.

Con este dato buscaríamos, entre los existentes en el mercado, el motor cuya potencia, por arriba, se acerque más al valor calculado.

Para determinar la potencia absorbida por el sistema, habría que dividir la cifra anterior por el rendimiento eléctrico expresado en tanto por uno, y este sería el valor que habría que utilizar para calcular el coste de bombeo. Veámoslo con un

Ejemplo:

Utilizando los mismos datos del ejemplo anterior (apartado 4.1 de este capítulo), vamos a calcular la potencia necesaria sabiendo que la bomba tiene un rendimiento de 0,69 y que está movida por un motor de rendimiento 0,83.

Q = 16.200 l/h = 4,5 l/s
Q mayorado = 16.200 l/h x 1,15 / 1.000 l/m³ = 18,63 m³ / h
Hm = Altura manométrica = 89,57 m.c.a.

$$P = \frac{Q_{mayorado} \times Hm}{270 \times \eta} = \frac{18{,}63 \times 89{,}57}{270 \times 0{,}69} = 8{,}96\ cv <> 6{,}59\ kw$$

Habrá que elegir, entre los existentes en el mercado, el motor cuya potencia mejor se adapte a la calculada en la expresión anterior, siempre con un razonable exceso. En este caso se podría instalar un motor de 10 cv (= 7,36 kw).

El consumo del grupo motobomba sería:

$$\frac{6{,}59\ kw}{0{,}83} = 7{,}94\ kw$$

Debemos tener en cuenta que la potencia de los motores eléctricos se da para servicio permanente, frecuencia de 50 Hz, temperatura ambiente de 30-40 °C y una altitud de 1.000 m sobre el nivel del mar.

7.- CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO Y COSTES DE BOMBEO

7.1.- Energía consumida por los motores eléctricos

La energía consumida por los motores eléctricos genera unas necesidades de energía aparente total. Se llama **factor de potencia** (**cos** φ) al cociente entre la energía activa o real (consumida por el motor) y la energía teórica o nominal (suministrada por la empresa suministradora):

$$\cos \varphi = \frac{w_a}{w_n} = \frac{w_a}{\sqrt{w_r^{\,2} + w_r^{\,2}}}$$

en la que w_a = energía activa, medida en kw; w_n = energía nominal, medida en kva; y w_r = energía reactiva, medida en kva.

La **energía reactiva** no es utilizada y constituye una pérdida. Cuando el factor de potencia se aproxima a la unidad hay poca diferencia entre el consumo (energía activa) y las necesidades (energía nominal). Por esta razón las tarifas eléctricas imponen recargas progresivas a medida que disminuye el factor de potencia, y bonificaciones cuando supera un valor determinado.

Cuando un motor eléctrico trabaja casi al 100 % de su potencia nominal, el rendimiento es muy alto y hay muy poco consumo de energía reactiva. En cambio, cuando el motor está sobredimensionado el factor de potencia es bajo y hay un excesivo consumo de energía reac-

tiva, que puede **corregirse** acoplando una **batería de condensadores** en **paralelo con el motor,** lo que permite elevar el factor de potencia hasta el valor deseado.

7.2.- Potencia de un motor eléctrico trifásico

Si deseamos conocer la potencia de salida de un motor eléctrico trifásico que está bombeando agua podemos aplicar la fórmula:

$$Pm = \frac{\sqrt{3}}{735} \times V \times I \times \cos\varphi \times \eta$$

siendo: ***Pm*** = potencia del motor, en CV; ***V*** = voltaje de la línea, en voltios; ***I*** = intensidad de la corriente, en amperios (dato que nos suministra el amperímetro instalado en el cuadro eléctrico); η = rendimiento del motor, en tanto por uno; y ***cos*** φ = factor de potencia, en tanto por uno.

Por **ejemplo**, si cuando visitamos la casera de bombeo advertimos que el amperímetro nos indica que se están consumiendo 48 amperios, y si conocemos que V = 380 v, cos φ = 0,85 y η = 0,87, la potencia que se estaría consumiendo sería:

$$Pm = \frac{\sqrt{3}}{735} \times V \times I \times \cos\varphi \times \eta = \frac{\sqrt{3}}{735} \times 380 \times 48 \times 0.85 \times 0{,}87 = 31.8\ cv$$

7.3.- Coste de la energía consumida en el bombeo

En el apartado 6 de este capítulo hemos aprendido a calcular la potencia consumida por la instalación; para conocer el consumo anual y finalmente el coste anual, hay que conocer el número de horas anuales de funcionamiento de la instalación, y en función de ello el consumo será:

Consumo (kw.h) = potencia del motor (kw) x número de horas de funcionamiento (h)

El coste energético anual del riego será:

Coste (€) = Consumo (kw.h) x Precio de la energía (€/ kw.h)

A este coste habría que añadirle la correspondiente cuota del **término de potencia** y los correspondientes impuestos (ver capítulo 12), más la posible facturación por **energía reacti-**

va, cuyo importe podría limitarse sustancialmente, como ya se ha comentado, mediante la instalación de una **batería de condensadores.**

Ejemplo:

Siguiendo con el ejemplo anterior (ver apartado 6 de este capítulo), y conociendo que se riegan 1.000 horas al año, que el precio del kw.h es de 0,06 € / kw.h y que se ha contratado con la compañía eléctrica una potencia de 10 kw con tarifa de riego **R.0**., el coste anual de la energía consumida será:

Potencia del grupo motobomba: P = **7,94 kw**

Consumo anual = P (kw) x tiempo de funcionamiento de la instalación (h) = 7,94 kw x 1.000 h = 7.940 kw.h

Coste anual de la energía consumida = 7.940 kw.h x 0,06 € / kw.h = 476,4 € (79.263 ptas)

Coste anual cuota del término de potencia = 0,33 /kw x 10 kw (contratados) x 12 meses = 39,6 € (6.589 ptas)

El **coste de cada metro cúbico** de agua bombeada será:

Volumen anual de agua bombeada (ver ejemplo del apartado 6):

$$18{,}63\ m^3/h \times 1.000\ horas = 18.630\ m^3$$

Coste por m^3 de agua bombeado:

$$\frac{(476 + 39{,}6)\ €}{18.630\ m^3} = 0{,}028\ € / m^3 = 4{,}61\ ptas / m^3$$

Finalmente podemos calcular el **coste de bombeo por olivo**, siendo necesario conocer, en primer lugar, el volumen de agua que anualmente se aporta mediante el riego:

Volumen de agua aportado = (16 l/h x 1.000 h x 1,15) / 1.000 l/m³ = 18,4 m³/olivo

***Coste por olivo** = 18,4 m³/olivo x 0,028 € / m³ = 0,5152 € / olivo (85,72 ptas/olivo)*

8.- ELECCIÓN DE UNA MOTOBOMBA ELÉCTRICA

Una vez que conocemos **Q** y **Hm**, y si se riega en varios sectores las Q y Hm de cada uno de ellos, deberíamos suministrar estos datos a los fabricantes de bombas que operan en el mercado, para que los estudien y en base a ello seleccionen el modelo de bomba que mejor se adapta a nuestras necesidades en función del estudio de las **curvas caudal – presión (Q–H)** de las bombas disponibles y el rango Q-H en el que el rendimiento de la bomba y la potencia consumida es el adecuado, de modo que nuestros puntos de trabajo estén en dicho rango, ya que no es deseable que la bomba trabaje ***fuera de curva***, término coloquial empleado por los instaladores para expresar que la bomba está trabajando fuera del rango recomendado por el fabricante, lo que ocasionaría a corto o medio plazo averías irreparables, así como consumos eléctricos inadecuados. A la hora de elegir el grupo de bombeo a instalar, este estudio debe ser mucho más determinante que el precio que para un determinado modelo de bomba nos oferta el fabricante.

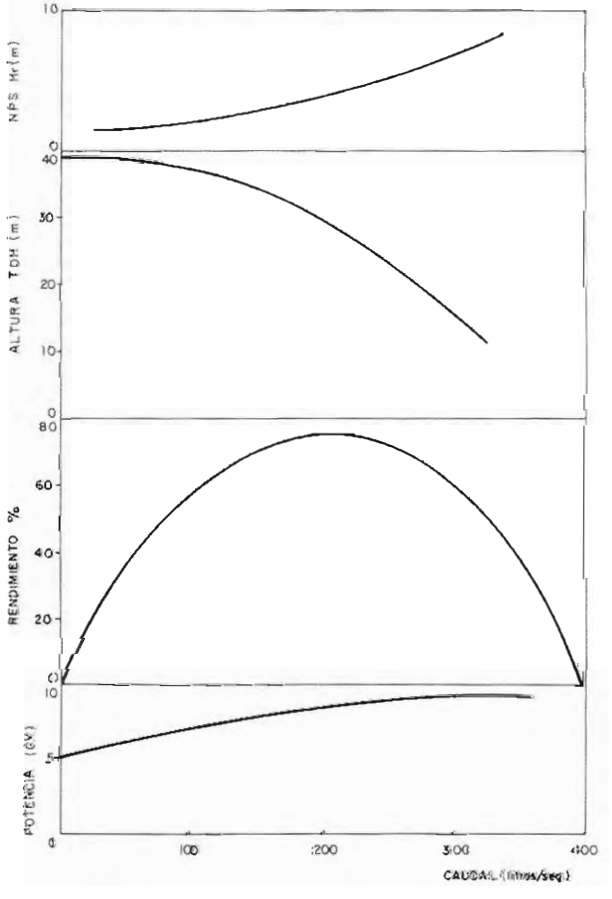


Figura 11.7: Curvas caracteríaticas de una bomba eléctrica (Fuentes Yagüe, 1992)

8.1.- Curvas características

El comportamiento hidráulico de un determinado modelo de bomba viene especificado en sus **curvas características** que representan una relación entre los distintos valores de **caudal** proporcionados por la misma con otros parámetros como (**figura 11.7**):

- altura neta positiva de aspiración requerida (**$NPSH_r$**) - caudal.
- la **altura manométrica** - caudal
- el **rendimiento hidráulico** - caudal
- la **potencia absorbida** - caudal

Estas curvas, obtenidas experimentalmente en un banco de pruebas, son facilitadas por el fabricante, para una velocidad de giro determinada. Se trata de curvas extraídas a partir de series estadísticas y que, por tanto, están sujetas a unas determinadas tolerancias.

El **punto de diseño** de una bomba lo constituye aquel en el que el rendimiento es máximo. A la hora de seleccionar una bomba nos centraremos en aquellos modelos cuyo punto de diseño esté próximo a las condiciones de trabajo que requerimos. Un grupo motobomba que trabaja en un punto muy alejado del punto de diseño no realiza una transformación eficiente de la energía mecánica en energía hidráulica, lo cual implica un coste excesivo de energía en el bombeo, además de estar sujeto a un mayor número de averías.

El **punto de funcionamiento** de una bomba va a estar determinado por la intersección de la curva de la conducción o red (caudal demandado – altura manométrica calculadas para la instalación) con la curva **caudal – altura manométrica** de la bomba.

8.2.- Selección de una bomba

A la hora de seleccionar una bomba para una instalación de riego se nos muestran diferentes posibilidades, tanto de tipo técnico como de tipo económico.

Una vez definidas las prestaciones hidráulicas requeridas (caudal y altura manométrica), el primer paso será decidir la morfología deseable del grupo motobomba (horizontal o vertical). En la mayoría de los casos esta morfología viene ya limitada por los requerimientos de la propia instalación, pero en otros casos existe un amplio abanico de posibilidades.

El grupo motobomba elegido debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Cumplimiento adecuado de las condiciones de servicio previamente establecidas: caudal y altura manométrica.
- Buen rendimiento energético de la máquina.

- Seguridad en el servicio.
- Reducidos costes de mantenimiento.
- Accesibilidad de repuestos.
- Versatilidad a la hora de posibles modificaciones en el proyecto a lo largo de la vida de la instalación.
- Adecuada relación calidad-precio.

Resulta interesante decidirse por el número de unidades que va a constituir el bombeo. En general, dos bombas resultan más caras que una, pero a subes dan mayor seguridad. Para que dos bombas puedan trabajar en paralelo es preferible que estas sean iguales y es obligatorio que en sus curvas Q/H, el máximo valor de H corresponda a Q=0. Otra opción es disponer un equipo de bombeo completo de repuesto, lo que es muy interesante cuando se extrae el agua de pozos profundos empleando grupos motobomba que no se encuentran de serie en el mercado, pues la avería de la bomba en plena campaña de riego puede causar pérdidas irreparables de cosecha al tener que dejar de regar durante un cierto número de días.

Otra cuestión que resulta interesante es la elección del número de revoluciones (V) a que queremos que trabaje el grupo de bombeo; con relación al caudal Q y la presión H suministradas. En las bombas centrífugas se cumple:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1}{V_2} \qquad \text{y} \qquad \frac{H_1}{H_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

En general, las bombas que trabajan a mayor número de revoluciones son más pequeñas, por lo tanto son más económicas, pero son más sensibles a la abrasión, por lo que no son recomendables cuando se emplean aguas con cierta carga de arena. La capacidad de aspiración disminuye al aumentar el número de revoluciones.

En el ejemplo que resolvemos a continuación, de una manera práctica, se explican los pasos a seguir cuando se acomete la elección de una bomba para trabajar en una determinada instalación y con unos determinados caudal – altura manométrica.

8.3.- Ejemplo

Tratamos de regar una finca en dos sectores con agua procedente de un pozo de 125 m de profundidad y entubado en acero de diámetro interior 250 mm. Las demandas de la instalación de riego a boca de pozo son las siguientes:

Sector 1: caudal = 65 m³/h; altura manométrica = 132 m.c.a.
Sector 2: caudal = 82 m³/h; altura manométrica = 96 m.c.a.

El nivel dinámico del pozo para los anteriores caudales es respectivamente 52 y 56 m.

Por tratarse de un sondeo relativamente profundo nos inclinamos por instalar una **bomba sumergida**, que por prudencia decidimos instalar a 115 m de profundidad. La columna de impulsión del agua desde la bomba hasta la superficie la diseñamos en acero estirado de 5" de diámetro, porque la velocidad del agua y las pérdidas de carga son razonables.

Una tubería de acero estirado de 5" tiene un diámetro interior de 130 mm y un diámetro exterior de 139,7 mm. Para los caudales que vamos a manejar en cada sector la velocidad del agua (v) y las pérdidas de carga unitarias (j) y totales para la columna de impulsión (J) son las siguientes:

Sector	Q m^3/h	v m/seg	j m/ 100 m	J (1) m
1	65	1,36	1,471	(115 x 1,471)/100 = 1,69
2	82	1,72	2,302	(115 x 2,302)/100 = 2,65

(1) J = j x longitud de la columna de impulsión.

Sector 1:

Hm = $H_{demandada}$ + Nivel dinámico + p.c. en columna = 132 + 52 + 1,69 =
= 185,69 m.c.a.
Q = 65 m^3/h
Potencia absorbida (cv) = Q x Hm / 270 x η =
= 65 m^3/h x 185,69 m / 270 x η = (44,7 / η) kw
Para una primera aproximación consideramos η = 0,70,
luego la potencia absorbida = 63,86 cv

Sector 2:

Hm = $H_{demandada}$ + Nivel dinámico + p.c. en columna = 96 + 56 + 2,65 = 154,65 m.c.a.
Q = 82 m^3/h
Potencia absorbida (cv) = Q x Hm / 270 x η =
= 82 m^3/h x 154,65 m / 270 x η = (46,97 / η) kw
Para una primera aproximación consideramos η = 0,70,
luego la potencia absorbida = 67,10 cv

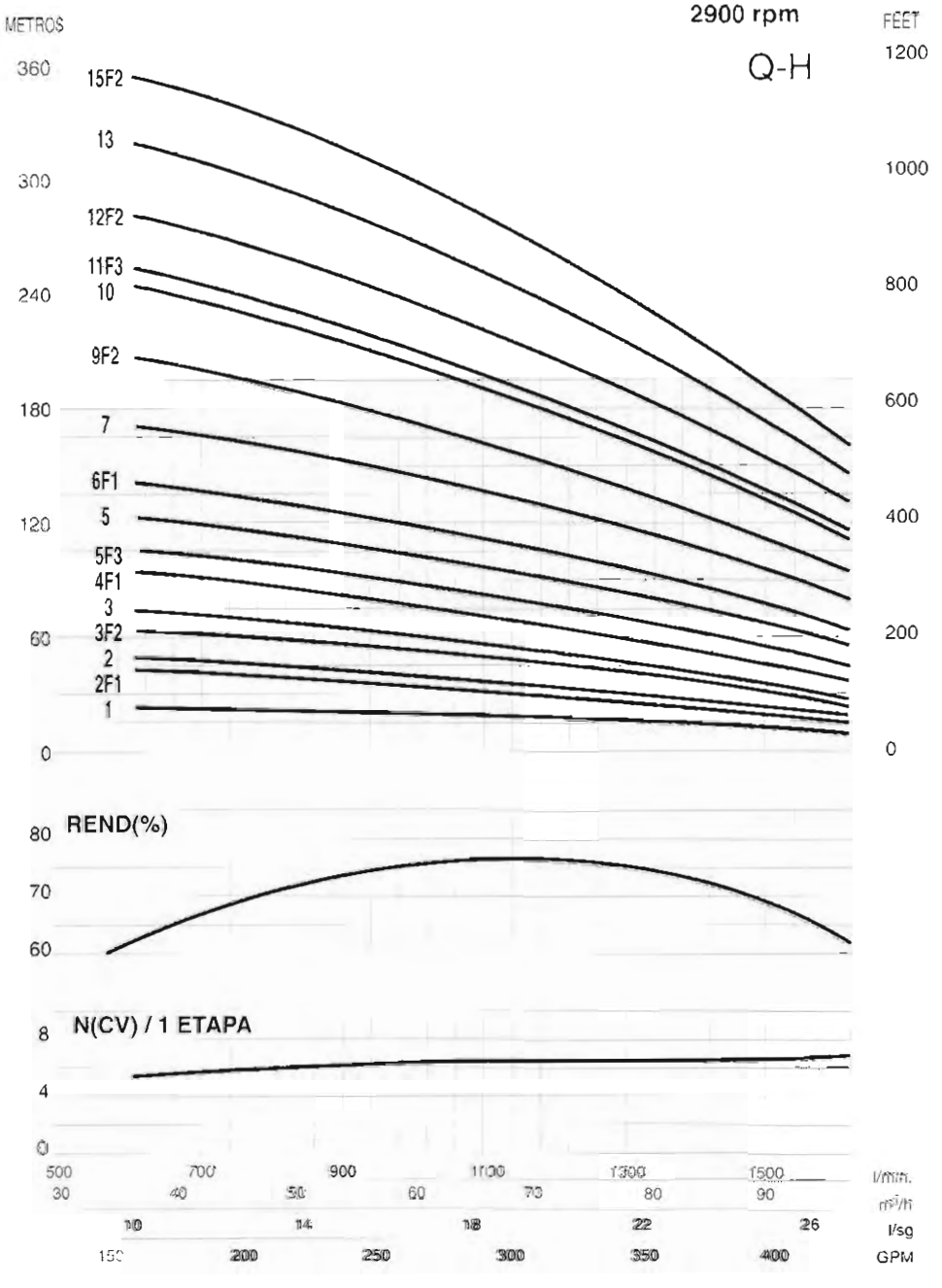


Figura 11.8: Curvas Q-H (gráfico de la zona superior) de la familia de bombas que componen la serie de bombas SD 0,76 fabricadas por Bombas IDEAL. El gráfico central nos da la curva de rendimiento de la bomba (REND %) para cada caudal suministrado, y finalmente el gráfico de la zona inferior nos muestra datos de la potencia absorbida por etapa (N (CV)) para cada caudal suministrado.(Cortesía Bombas IDEAL).

9.- PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA A LA HORA DE INSTALAR UNA BOMBA

Comprobar que los datos de prestaciones de la bomba a instalar son congruentes con las condiciones de trabajo requeridas, que previamente hemos suministrado al fabricante para que nos ayude con su experiencia a la elección del modelo:

- Altura manométrica
- Caudal necesario

Además será necesario considerar:

- Tensión eléctrica de enganche que corresponda.
- Tipo de cuadro eléctrico a instalar, de modo que esté dotado del máximo número de mecanismos de protección del motor, ajustándose al trabajo que se va a desarrollar la bomba.

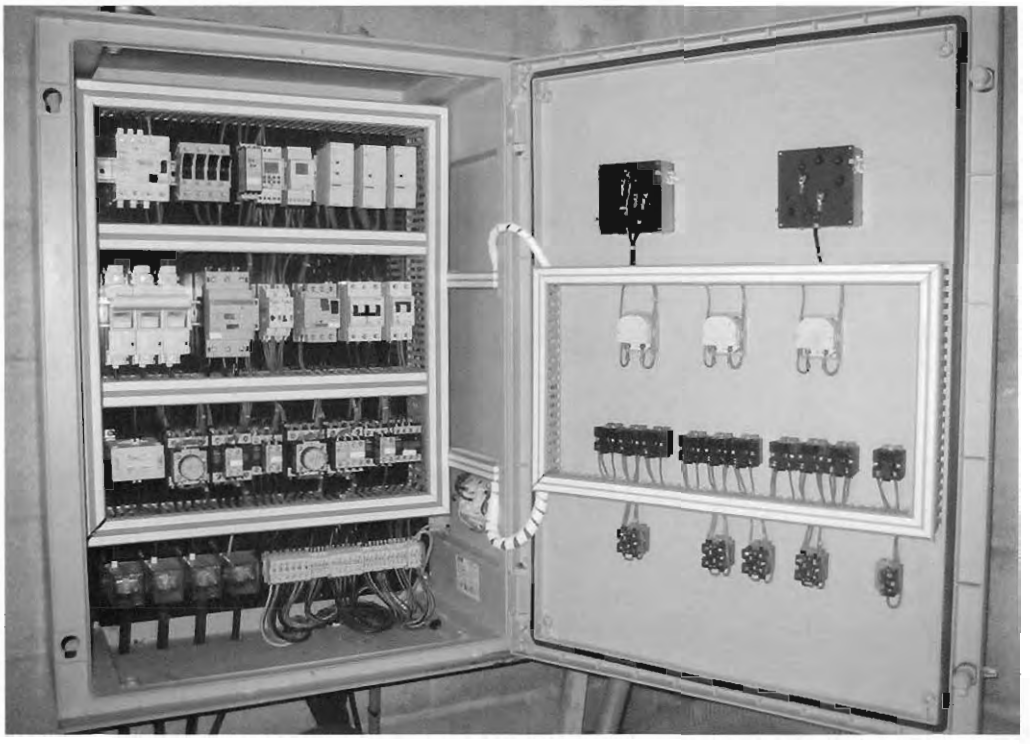
En el momento de instalación del equipo es necesario:

- comprobar que el motor gira en el sentido correcto indicado,
- instalar la bomba lo más cerca posible del nivel de agua,
- que las juntas de unión sean herméticas para evitar entradas de aire,
- que la bomba no tenga que soportar el peso de las tuberías.

10.- CUADROS DE ARRANQUE Y PROTECCIÓN PARA MOTORES TRIFÁSICOS

Para el arranque de un motor trifásico, tanto en arranque directo, en estrella – triángulo o reactancia, debemos instalar un cuadro de arranque y protección constituido al menos por los siguientes elementos:

- Armario estanco que evite las humedades
- Interruptor general
- Arrancador tripolar
- Relé térmico
- Pulsadores de marcha y paro
- Voltímetro y amperímetro
- Conmutador automático – o – manual



Fotografía 11.6: Cuadro eléctrico de arranque y protección en una estación de bombeo que comanda dos motores y un grupo de inyección de fertilizantes, se incluyen arrancador tripolar, relé térmico, pulsadores de marcha y paro, voltímetro y amperímetro, mecanismos de protección del sistema (protección de arranque en seco, protección ante eventuales subidas de presión en el sistema al ensuciarse los filtros y que reacciona a la orden de un presostato), así como un pequeño programador.

Como elementos adicionales podríamos añadir los siguientes elementos:

- Relé de nivel, como protección de arranque en seco
- Temporizador retardador del arranque
- Relé diferencial
- Relé de protección tensión baja, inversión o fallo de fase.

11.- POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

Es importante conocer la potencia expresada en **kva** del transformador que debemos instalar. Para calcularla debemos dividir la potencia del grupo motobomba, expresada en **kw**, por el coseno del ángulo de desfase de la intensidad y el voltaje ($V \times I = P / \cos \varphi$). La potencia del transformador será:

$$Pt = \frac{Pm}{\cos\varphi}$$

en la que ***Pt*** es la potencia del transformador, en kva; ***Pm*** es la potencia del motor, en kw; y ***cos*** φ es el factor de potencia, expresado en tanto por uno (suele tener un valor en torno a 0,85).

Como margen de seguridad se recomienda elevar en un 15 % la potencia instalada, luego la potencia del transformador será:

$$Pt = \frac{1,15 \times Pm}{\cos\varphi}$$

La relación entre la potencia del motor, expresada en **cv**, y la potencia instalada del transformador, expresada en **kva**, es aproximadamente la unidad.



Fotografía 11.7: Grupo electrógeno de pequeña potencia que suministra energía eléctrica a una estación de bombeo de una explotación que riega 20 hectáreas de olivar.

12.- POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

Cuando no hay disponibilidad de corriente eléctrica por mediación de la red de distribución normal, en muchas ocasiones no hay más remedio que recurrir a la corriente producida por un grupo electrógeno. Este debe dar las potencias mínimas indicadas en la **tabla 11.4**. Siempre debemos inclinarnos por equipos tropicalizados (aptos para trabajar a altas temperaturas durante gran número de horas) y **que trabajen a 1.500 r.p.m**. Los grupos electrógenos que trabajan a 3.000 r.p.m. tienen una vida mucho menor, aunque su precio de adquisición también es menor.

Tabla 11.4: Potencia mínima de los grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica a grupos motobomba.

Potencia del grupo motobomba		Potencia mínima del grupo electrógeno
cv	kw	KVA
0,50	0,37	2
0,75	0,55	2,5
1	0,75	3
1,50	1,1	4,5
2	1,5	5
3	2,2	7,5
5	3,7	11
7,50	5,5	15
10	7,5	18
15	11	27
20	15	36
25	18,5	45
30	22	55
35	25	65
40	30	75
50	37	90
60	45	110
70	52	130
80	59	150
90	67	165
100	74	185
125	92	230
150	111	260

Fuente: Catálogo Bombas IDEAL

13.- MOTOBOMBAS ACCIONADAS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL.

13.1.- Cálculo de la potencia del motor

Los motores diesel tienen algunas ventajas sobre los motores eléctricos:

- no necesitan la costosa instalación de una línea eléctrica.
- en función de la velocidad de giro del motor, con una determinada bomba se puede trabajar a diferentes relaciones caudal - altura manométrica.

Los motores diesel se sobredimensionan del orden del 30 % para los pequeños, y del 15 % para los grandes, después de hablar con el departamento técnico del fabricante. Debe consultarse la velocidad óptima de funcionamiento (en general próxima al par máximo). Como norma, los motores duran más cuando se trabaja aun número reducido de revoluciones, pero existe un límite por debajo del cual pueden existir problemas de engrase.

La **potencia del motor** varía con la **presión atmosférica** y con la **temperatura**, de tal modo que se reduce en el 1 % cada 100 m de elevación por encima del nivel del mar, y en el 1 % por cada 6 ºC por encima de los 15 ºC. En las **transmisiones motor-bomba** (correas trapezoidales o engranajes en ángulo recto) se pierde aproximadamente un 5 % de la potencia del motor. Igualmente determinados **accesorios al servicio del motor**, como refrigeración, alternador, etc., así como las previsiones por **desgastes futuros** aconsejan incrementar la potencia del motor entre el 10 – 15 % . Con estos datos y conociendo la potencia requerida por la bomba (ver apartado 6 de este capítulo) podremos decidir el motor que mejor se adapta a nuestras necesidades. Recordemos para el riego siempre se debe elegir el motor en función de la potencia entregada NA (potencia de servicio continuo) para las revoluciones a que vaya a trabajar el motor, nunca la potencia máxima del motor.

13.2.- Coste del combustible consumido

El coste del combustible consumido por el motor viene dado por la expresión:

$$C = Pm \; x \; t \; x \; Ce \; x \; p$$

en la que C = coste de combustible en el periodo de funcionamiento de la instalación, en €; Pm = potencia del motor, en CV; t = tiempo de funcionamiento del motor, en horas; Ce = consumo específico de combustible, en litros por CV y hora (l / CV.h), que varía según modelos en el rango 0,17-0,22 l/CV.h; p = precio del combustible (€ / l).

13.3.- Ejemplo

Una grupo motobomba accionado por un motor diesel eleva un caudal de 80 l/s a una altura manométrica total de 40 m, con un rendimiento total del 78 %. Calcular la potencia requerida en el motor sabiendo que la altitud es de 700 m y la temperatura ambiente en verano es de 40 °C. Asimismo calcular el coste horario de combustible sabiendo que el litro de gasóleo agrícola consumido cuesta 0,43 €.

Potencia de la bomba:

$$P = \frac{Q \times Hm}{270 \times \eta}$$

Q = 80 l/s = 288 m3/ h
Hm = 40 m
η = 0,78

$$P = \frac{Q \times Hm}{270 \times \eta} = \frac{288 \times 40}{270 \times 0,78} = 54,7 \text{ cv}$$

Pérdidas de potencia:

Debidas a la altitud: 1 % x 700 / 100 = 7 %
Debidas a la temperatura: 1% x (40-15) / 6 = 4,1 %
Debido a la transmisión : 5 %
Debido a los accesorios del motor: 5 %
Debido al factor de servicio = 15 %

Pérdida total de potencia = 7 + 4,1 + 5 + 5 + 15 = 36,1 %

Potencia requerida en el motor diesel:

Pm = P x (1 + 0, 361) = 54,7 x 1,361 = 74,45 CV < > 75 CV

El coste horario de combustible:

C = Pm x t x Ce x p = 75 CV x 1 h x 0,20 l /CV.h x 0,43 € /l = 15 l/h x 0,43 € /l =
= 6,45 / h < > 1.073 ptas / h

El coste de combustible por cada metro cúbico de agua bombeada:

Coste = C / Q = 6,45 € /h / 288 m^3/h = 0,0224 € /m^3 < > 3,73 ptas / m^3

14.- DEFECTOS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Alguno de los fallos más frecuentes en los equipos de bombeo y sus causas más probables (Fuentes Yagüe, 1992) son los siguientes:

1. La bomba no da agua

- Bomba sin cebar.
- Velocidad muy lenta.
- Altura de descarga muy elevada.
- Excesiva altura de aspiración.
- Impulsor atascado.
- Rotación en sentido contrario.

2. La bomba no da el caudal suficiente

- Entrada de aire en la tubería de aspiración.
- Ha quedado aire en el cuerpo de la bomba o en la tubería de aspiración como consecuencia de haber realizado un cebado incorrecto.
- Se forma una bolsa en la tubería de aspiración, como consecuencia de no haber colocado el cono excéntrico o no disponer de aparato de vaciado.
- La velocidad es muy lenta.
- El impulsor está parcialmente atascado.
- La altura manométrica real es mayor que la calculada.
- La altura de aspiración ha aumentado como consecuencia de una bajada del nivel del agua.
- La válvula de aspiración es demasiado pequeña o no está sumergida a la profundidad adecuada.

3. Falta de presión

- Velocidad muy lenta.
- Aire mezclado con el agua.
- Diámetro insuficiente del impulsor.
- Defectos mecánicos tales como: cojinetes en mal estado, impulsor deteriorado, etc.

4. Excesivo consumo de energía motriz

- Velocidad excesiva.
- Altura manométrica inferior a la calculada.
- Defectos mecánicos tales como: eje descentrado o torcido, caja de estopas demasiado apretada, cojinetes desgastados, empaquetaduras defectuosas, etc.

Referencias bibliográficas

Fuentes Yagüe, J.L., 1992. Técnicas de Riego. Ed. MAPA. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid. 151 – 174.

Gómez Pompa, P., 1993. Instalaciones de bombeo para riego y otros usos. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid.

Vademécum de materiales de riego. Ed. Unipublic, S.L. Valencia. 280 – 282.

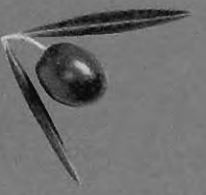
Catálogos de Bombas CAPRARI y Bombas IDEAL



CAPÍTULO 12

TARIFAS ELÉCTRICAS

Luis Gomez García
Javier Hidalgo Moya
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- INTRODUCCIÓN.

2. COMPONENTES DE LA FACTURA ELÉCTRICA.
- 2.1. Tarifa eléctrica.
- 2.2. Discriminación horaria.
  - Tipo 3. Triple tarifa.
  - Tipo 4. Triple Tarifa (Sábados y Domingos).
  - Tipo 5. Tarifa estacional.
- 2.3. Contratación de potencia.
  - Modo 4.
  - Modo 5. Estacional Tipo A.
  - Complemento de estacionalidad.
- 2.4. Energía reactiva.

3.- FACTURACION EN EL MERCADO LIBERALIZADO.

4.- SUPUESTOS PRÁCTICOS.
- 4.1.- Supuesto 1
- 4.2.- Supuesto 2
- 4.3.- Supuesto 3

1.- INTRODUCCIÓN.

La instalación de un sistema de riego localizado en olivar supone un costo elevado para el agricultor, superando en algunos casos los 4.000 /ha. En muchos casos ocurre que una vez realizada esta inversión no se aplican las dosis adecuadas de agua de riego por temor a que la facturación eléctrica limite la rentabilidad de la explotación. Pero debemos tener en cuenta que lo más caro es no regar aplicando la dosis de agua necesaria a cada situación.

En este capítulo se pretende exponer los diferentes componentes de una factura eléctrica y las posibilidades de actuación para intentar disminuir el coste de funcionamiento del riego.

Una vez realizada la instalación de riego, los costes fundamentales con los que se enfrenta el regante son:

- Mantenimiento de la instalación.
- Amortización de la instalación de riego.
- Coste energético de funcionamiento del riego.

En este capítulo trataremos de determinar los costes de la energía y la forma de reducir este coste, sin reducir el volumen de agua a aplicar, no entrando dentro de los objetivos de este capítulo la determinación de los costes de mantenimiento y amortización de la instalación de riego, de lo que nos ocuparemos en el capítulo 22.

Los motores que accionan las bombas del riego pueden ser:

- eléctricos
- de combustión interna (diesel).

Los **motores eléctricos** son seguros, duraderos, silenciosos, tienen fácil manejo y un bajo coste de adquisición y mantenimiento. Los **motores diesel** tienen una ventaja sobre los motores eléctricos, no necesitan disponer de una línea eléctrica, costosa y en muchas ocasiones de difícil tramitación ante los organismos oficiales competentes, especialmente cuando existen discrepancias entre administraciones.

En el funcionamiento de los **grupos motobomba diesel** (ver capítulo 11), solamente podemos abaratar costes mediante una correcta elección del motor que accionará la bomba de riego. Sin embargo, en el caso de las **motobombas eléctricas**, además de una acertada elección del equipo, sí que se puede influir en la facturación, contratando la tarifa más idónea a cada caso, por lo que recomendamos a los regantes ponerse en contacto con un técnico conocedor de la materia, asesoramiento que normalmente le ahorrará mucho dinero.

Según Ley 54/1997 de 27 de noviembre en el apartado 2 del artículo 17 se establece que se publican anualmente y a final de año en el Boletín Oficial del Estado (para el año 2.004 REAL DECRETO 1.802 / 2.003 de 26 de diciembre) los precios de las diferentes tarifas eléctricas, de manera que para conseguir abaratar el precio de la factura eléctrica hay que actuar eligiendo los diferentes tipos de tarifa y discriminación horaria de acuerdo con el consumo que se tenga en la explotación o Comunidad de Regantes. Existe también un mercado liberalizado donde se negocia directamente con la Compañía Eléctrica suministradora de energía el precio y las horas de funcionamiento, así como el término de potencia contratada. Algunas de las Comunidades de Regantes de grandes dimensiones que disponen de instalaciones de riego diseñadas para regar en tres o cuatro sectores, instalaciones en las que es prácticamente imposible aplicar la dosis adecuada de agua de riego en las horas valle y llano dentro de la campaña de riegos, han realizado contratos sin discriminación horaria con un precio razonable del kwh que permiten poder regar durante las 24 horas del día en el período de riegos, de manera que con una reducción igualmente razonable de la facturación de la energía eléctrica se ha hecho más operativo el manejo de la instalación. En este capítulo nos vamos a referir fundamentalmente al mercado general en el que contratan los considerados pequeños y medianos consumidores que se acogen al mercado regulado por el Estado.

2.- COMPONENTES DE LA FACTURA ELÉCTRICA.

En la factura de electricidad existen 4 componentes que son los que se deben estudiar a la hora de la contratación con la compañía:

1. **Tarifa eléctrica.**
2. **Discriminación horaria.**
3. **Contratación de potencia.**
4. **Energía reactiva.**

Además hay que añadir los conceptos de alquiler de equipos de medida y los impuestos (Impuesto de la electricidad e I.V.A.).

2.1.- La tarifa eléctrica.

La tarifa nos indica el precio que la compañía distribuidora de electricidad nos va a cobrar por los dos conceptos siguientes:

- **Término de Potencia** (€/kw). Es el precio que la compañía cobra por suministrar la potencia que se contrata, y que debería coincidir con la potencia que se demanda en la instalación. Es un coste fijo que hay que pagar mensualmente, se consuma o no energía.

- **Término de Energía** (€/kw.h). Es el precio que la compañía eléctrica cobra por la energía consumida, por lo que se trata de un coste variable que depende del consumo que se tenga en el periodo de tiempo de facturación.

Los diferentes tipos de tarifas eléctricas que existen se dividen en **baja** y **alta tensión**. En **tabla 12.1** se presentan las diferentes tarifas eléctricas existentes para cada escalón de tensión, distinguiendo el término de potencia y energía. Los precios, expresados en euros, corresponden a la tarifa vigente para el año 2004, según el Real Decreto 1802/2003, recogido en el BOE de 27 de diciembre de 2003. Aunque no todas las tarifas son aplicables a la situación de riego, las incluimos en este apartado porque pueden ser de utilidad para uso doméstico. Las tarifas con medición en **baja tensión** se definen como un número o una letra seguida de **.0** , mientras que las de medición en **alta tensión** van seguidas de **.1**.

En los precios que se recogen en la **tabla 12.1 no se incluyen los impuestos**, tanto el IVA (16 %) como el impuesto específico sobre la electricidad (4,864 %) que se cargan a los usuarios en la factura.

Como se puede observar en la **tabla 12.1** hay tarifas especiales para alumbrado público y para riego. La **tarifa especial de riego agrícola**, tanto en alta como en baja tensión, es muy interesante, pero exige para su contratación la presentación de la Concesión de Riego por parte de la Confederación Hidrográfica correspondiente.

De todas las tarifas existentes, las que se pueden estar relacionadas con **el riego de olivar** y se pueden contratar por los regantes con concesión administrativa de agua son las que se recogen en la **tabla 12.2**. Los precios en este caso están expresados en euros y en pesetas.

Tabla 12.1: Tarifas eléctricas, términos de potencia y energía a aplicar en 2.004 en el mercado para baja y alta tensión, para los diferentes escalones de tensión y usos (Real Decreto 1802/2003, BOE de 27 de diciembre de 2003).

	Tarifas y escalones de tensión	Término de potencia €/kw . mes	Término de energía €/kw.h
	BAJA TENSIÓN		
1.0	Potencia hasta 770 w	0.272371	0.061222
2.0	General, potencia no superior a 15 kw	1.436140	0.081587
2.0	N Tarifa nocturna (día)	1.436140	0.083816
	Tarifa nocturna (noche)	1.436140	0.038009
3.0	General	1.407620	0.082402
4.0	General de larga utilización	2.248456	0.075301
B.0	Alumbrado público	0.000000	0.072125
R.0	Riegos agrícolas	0.330106	0.076608
	ALTA TENSIÓN		
Corta utilización			
1.1	No superior a 36 kv	1.949492	0.065274
1.2	Mayor de 36 kv y no superior a 72,5 kv	1.843609	0.061288
1.3	Mayor de 72,5 kv y no superior a 145 kv	1.781325	0.059482
1.4	Mayor de 145 kv	1.731498	0.057487
Media utilización			
2.1	No superior a 36 kv	4.011095	0.059544
2.2	Mayor de 36 kv y no superior a 72,5 kv	3.793101	0.055745
2.3	Mayor de 72,5 kv y no superior a 145 kv	3.668532	0.054125
2.4	Mayor de 145 kv	3.575106	0.052381
Larga utilización			
3.1	No superior a 36 kv	10.650579	0.047959
3.2	Mayor de 36 kv y no superior a 72,5 kv	9.959226	0.045155
3.3	Mayor de 72,5 kv y no superior a 145 kv	9.654034	0.043413
3.4	Mayor de 145 kv	9.361298	0.042229
Riegos agrícolas			
R.1	No superior a 36 kv	0.498273	0.068326
R.2	Mayor de 36 kv y no superior a 72,5 kv	0.473358	0.06434
R.3	Mayor de 72,5 kv	0.448446	0.06216

Tabla 12.2. Tarifas eléctricas, en término de potencia y energía más frecuentes para el riego de olivar. Año 2004 (B.O.E., 27 dic 2003). Viene expresado en euros y en pesetas.

	BAJA TENSION			ALTA TENSION			
	3.0	4.0	R.0	1.1	2.1	3.1	R.1
Término de Potencia							
€/kw. mes	1,407620	2,248456	0,330106	1,949492	4,011095	10,650579	0,498273
(pts/ kw. mes)	(234)	(374)	(55)	(324)	(667)	(1772)	(83)
Término de Energía							
€/ kw.h	0,082402	0,075301	0,076608	0,065274	0,059544	0,047959	0,068326
(pts/Kw.h)	(13,71)	(12,53)	(12,75)	(10,86)	(9,91)	(7,98)	(11,37)

Como se puede ver, las **tarifas de riego agrícola,** tanto en **baja tensión** (**R.0**) como en **alta tensión** (**R.1**), poseen el término de potencia mucho más barato, con lo que suelen ser las más interesantes, aunque si los motores se utilizan un número de horas elevado, otras tarifas pueden llegar a ser más ventajosas, siempre que se combinen con una adecuada **discriminación horaria**.

Dentro de las tarifas que **no** son **específicas para riego**, para **baja tensión** la **4.0** será mejor que la **3.0** cuando la utilización sea superior a 118 horas/mes, mientras que para **alta tensión** la **1.1** es mejor para una utilización menor de 360 horas/mes; la **2.1** entre 360 y 573 horas/mes; y la **3.1** para una utilización mayor de 573 horas/mes.

2.2.- Discriminación horaria.

La **discriminación horaria**, en adelante **D.H.**, es un complemento de la facturación que penaliza el consumo de energía en unas horas y lo bonifica en otras. En general existen los siguientes tipos de horas.

1. **Horas Punta**, horas con recargo sobre la tarifa, que depende del tipo de D.H. que contratemos.

2. **Horas Llano**, horas sin recargo ni descuento, de acuerdo con la tarifa elegida.

3. **Horas Valle**, horas con descuento que depende del tipo de D.H que contratemos.

Las **D.H.** más usuales para el **riego del olivar** son la D.H. **tipo 3**, la **tipo 4** y la **tipo 5**.

- **D.H. Tipo 3. Triple tarifa.**

Este tipo de tarifa requiere la instalación de un **contador de triple tarifa sin distinción de fines de semana**. Las horas punta son 4 al día, las horas llano 12 horas al día y las valle son 8 horas al día. En la **tabla 12.3** se muestran los diferentes horarios, dependiendo de que sea **invierno** o **verano**, así como el porcentaje de recargo o descuento sobre la tarifa. Vemos que disponemos solamente de 56 horas valle a la semana (8 h/día x 7 días/semana).

Tabla 12.3: Discriminación horaria tipo 3, sin distinción de fines de semana.

Horas	Recargo o descuento	Temporada	Nº de horas	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7
Punta	+ 70%	Invierno	4	18 a 22						19 a 23
		Verano	4	9 a 13		10 a 14		19 a 23		20 a 24
Valle	- 43%	Invierno	8	0 a 8				0 a 8		
		Verano	8	0 a 8				1 a 9		
Llano	0%	Invierno	12	Resto de horas						
		Verano	12							

Zona 1: Galicia, Asturias, Cantabria, Pais Vasco, Castilla y León, La Rioja, Navarra
Zona 2 : Cataluña, Aragón; Zona 3: Extremadura, Castilla-La Mancha; Zona 4: Andalucía, R. Valenciana y Murcia.
Zona 5: Baleares; Zona 6: Canarias; Zona 7: Ceuta y Melilla.

Desde el punto de vista eléctrico, el invierno y el verano vienen marcados con el cambio horario que se produce en el Estado español, que en los últimos años es coincidente en todos los países de la Unión Europea.

- **D.H. Tipo 4. Triple Tarifa (sábados y domingos).**

En este tipo de discriminación horaria se requiere también un **contador de triple tarifa con distinción de fines de semana**. Se diferencia de la anterior en que el número de **horas punta** al día pasan a ser **6**, con un recargo del 100%. Las **horas llano** se reducen en dos horas y las **horas valle**, con una bonificación del 43%, se mantienen en 8 horas los días laborables y son 24 horas los sábados, domingos y festivos de ámbito nacional. En la **tabla 12.4**, se recogen los horarios en invierno y verano. Vemos que disponemos en este caso de 88 horas valle a la semana.

Tabla 12.4: Discriminación horaria tipo 4, con distinción de fines de semana (sábados y domingos) y festivos (1).

Horas	Recargo o descuento	Temporada	Nº de horas	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7
Punta	+ 100%	Invierno	6	16 a 22	17 a 23	16 a 22	17 a 23	16 a 22		17 a 23
		Verano	6	8 a 14	9 a 15		10 a 16	17 a 23		18 a 24
Valle	- 43%	Invierno	8	0 a 8				23 a 7		0 a 8
		Verano	8	0 a 8				1 a 9	0 a 8	1 a 9
		Sábado domingo festivos (1)	24	0 a 24						
Llano	0%	Invierno	10	Resto de horas						
		Verano	10							

Zona 1: Galicia, Asturias, Cantabria, Pais Vasco, Castilla y León, La Rioja, Navarra
Zona 2: Cataluña, Aragón; Zona 3: Extremadura, Castilla-La Mancha; Zona 4: Andalucía, R. Valenciana y Murcia.
Zona 5: Baleares; Zona 6: Canarias; Zona 7: Ceuta y Melilla.
(1) Festivos de ámbito nacional.

Este tipo de **discriminación horaria** es más ventajosa que la anterior para el riego de olivar, ya que permite un mayor número de horas valle. Suele ser la DH elegida por la mayoría de regantes.

El número de **horas valle** disponibles mensualmente, en un año medio para **DH tipo 4**, y para la temporada de riego (marzo – octubre), sería el mostrado en la **tabla 12.5**. Vemos que en la referida temporada se dispone de unas 3.176 horas valle, lo que supone el 54 % del tiempo total.

Tabla 12.5. Número de horas valle disponible y su porcentaje sobre el total para cada tipo de discriminación horaria (D.H.)

Mes	Horas totales	DH tipo 4		DH tipo 5	
		Horas valle	% utilización	Horas valle	% utilización
Marzo	744	408	55	424	57
Abril	720	416	58	544	76
Mayo	744	424	57	584	78
Junio	720	368	51	448	62
Julio	744	376	51	408	55
Agosto	744	408	55	744	100
Septiembre	720	368	51	424	59
Octubre	744	408	55	536	72
TOTAL	**5.880**	**3.176**	**54 %**	**4.112**	**70 %**

- **Tipo 5. Tarifa estacional.**

Existe una **D.H.** alternativa a las dos anteriores, es la **Tipo 5** estacional, que en muchos casos es desconocida por los regantes. Este tipo de D.H. **no es posible contratarla si se tiene contratada una tarifa especial de riego**, ya sea en baja tensión (**R.0.**) o en alta tensión (**R.1.**). Se requiere la instalación de un **contador de quintuple tarifa**. En la D.H. tipo 5, los días del año se dividen en varias clases:

- **Días Pico**, 70 días al año (8 horas valle + 6 horas llano)
- **Días Altos**, 80 días al año (8 horas valle + 12 horas llano)
- **Días Medios**, 80 días al año (16 horas valle + 8 horas llano)
- **Días Bajos**, 135 días al año (24 horas valle)

Para cada tipo de día existe un número de horas valle, llano y punta con diferentes recargos y bonificaciones. El número de **horas valle** disponibles mensualmente, en un año medio (cada año varía ligeramente) para DH tipo 5, y para la temporada de riego, sería el también mostrado en la **tabla 12.5**.

En la **tabla 12.6**, se muestra el horario para los distintos tipos de días para la comunidad autónoma de Andalucía (consultar la disposición oficial para otras regiones).

Tabla 12.6: Discriminación horaria tipo 5.

Tipo de días	Horas punta		Horas valle	
	Horario	Recargo	Horario	Descuento
Días Pico	9 a 14 17 a 22	+300%	0 a 8	-43%
Días Altos	18 a 22 (i) 9 a 13 (v)	+100%	0 a 8	-43%
Días Medios	-	-	0 a 10 18 a 24	-43%
Días Bajos	-	-	0 a 24*	-43%

* las 8 primeras horas valle de los días siguientes a días bajos tendrán un descuento del 50% en lugar del 43%. (i) = invierno; (v) = verano

El calendario donde se indica las fechas con el tipo de día es variable, modificándose ligeramente cada año. No obstante en líneas generales, los **días bajos** coinciden con todos los fines de semana y festivos, además del mes de agosto, mientras que la mayoría de días pico corresponden al invierno, lo cual hace que esta D.H. tipo 5 sea muy interesante para el riego de olivar, ya que concede descuentos en los meses de máximas necesidades del cultivo como agosto.

Si se contrata la **D.H. tipo 4**, el porcentaje de horas valle disponible sobre el total en el periodo que va de marzo a octubre es del 54% (3.176 horas), frente al 70% (4.112 horas) si se opta por la **D.H. tipo 5**. Esto supone que con la **D.H. tipo 5** se puede aumentar considerablemente el número de horas de riego donde la energía eléctrica es más barata (descuento del 43 % sobre precio de tarifa). Recordamos que no es posible contratar la D.H. tipo 5 si se dispone de una tarifa especial de riego. La **D.H. tipo 3** solo permitiría disponer anualmente de 1.960 horas valle, el 33 % del tiempo disponible, siendo muy poco ventajosa para el riego.

Según los datos presentados anteriormente, de estos 3 sistemas de tarifación **con D.H.**, los más adecuados para el riego de olivar son la D.H. **T-4 y T-5**, especialmente este último, el cual es especialmente interesante para la mayoría de instalaciones de riego localizado de olivar, en las que el caudal que puede aplicarse por olivo es de 16 l/h, con la particularidad de que en muchas ocasiones existen 3 sectores de riego, lo que agrava la situación.

Como se ha visto en el capítulo 5 de programación de riegos, el periodo con mayores necesidades de agua para el cultivo del olivo es el que va desde marzo a octubre. Si para cubrir las necesidades de agua del cultivo el número de horas valle no es suficiente, se puede utilizar también las horas llano, que no tienen ni recargo ni descuento, de esta manera se puede incrementar notablemente el número anual de horas disponibles para riego. En la **tabla 12.7** se presenta el número mensual de **horas valle+llano** para cada discriminación horaria y su porcentaje sobre el total.

Tabla 12.7. Número de horas valle + llano disponibles y su porcentaje sobre el total para cada tipo de discriminación horaria (D.H.)

Mes	Horas totales	DH tipo 4		DH tipo 5	
		Horas valle +llano	% utilización	Horas valle +llano	% utilización
Marzo	744	618	83	668	90
Abril	720	606	84	708	98
Mayo	744	624	84	744	100
Junio	720	588	82	672	93
Julio	744	606	81	652	88
Agosto	744	618	83	744	100
Septiembre	720	588	82	660	92
Octubre	744	618	83	724	97
TOTAL	**5.880**	**4.866**	**83%**	**5.572**	**95%**

Si en el período marzo-octubre se utilizan también las horas llano el porcentaje de horas disponibles (**valle + llano**) sobre el total para la **D.H. tipo 4** es de 83% (4.866 horas), que deben ser suficientes para cubrir las necesidades de riego de olivar. Si la D.H. contratada fuera la **tipo 5** el porcentaje sobre el total es de 95% (5.572 horas), prácticamente todas las horas

disponibles. Más adelante se realizarán ejemplos ajustados a situaciones reales en los que se ilustran las ventajas e inconvenientes de cada unas de las alternativas.

2.3.- Contratación de potencia.

El término de facturación de la potencia será el sumatorio resultante de multiplicar la potencia a facturar en cada período tarifario, que se definirá más adelante, por el término de potencia correspondiente, según la fórmula:

$$FP = \sum_{i=1}^{i=n} t_{pi} \cdot P_{fi}$$

en donde: P_{fi} = potencia a facturar en el periodo tarifario **i**, expresada en kw ; t_{pi} = precio mensual del término de potencia del período tarifario **i** (ver **tabla 12.1**).

La determinación de la **potencia a facturar** se realizará en función de las potencias contratadas en cada período tarifario y, en su caso, dependiendo de cada tarifa (ver **tabla 12.1**), y de las potencias realmente demandadas en el mismo durante el período de facturación considerado.

La **potencia que se contrata** debe estar ajustada al consumo de los motores instalados, puesto que si se contrata en exceso, se estará pagando este exceso, de forma innecesaria, durante todo el año. Recordemos que el **término de potencia** de la tarifa eléctrica se trata de un coste fijo mensual, que se paga independientemente de que se consuma o no energía.

El control de la **potencia demandada** por el usuario se realizará mediante los adecuados aparatos de control y medida según la modalidad de tarifa contratada.

Existe diferencia entre la **potencia contratada** y la **potencia facturada**. Las compañías eléctricas brindan la posibilidad de instalar en los contadores diferentes **maxímetros**, que registran la potencia máxima realmente utilizada por el usuario a lo largo del año.

Si se opta por no instalar **maxímetros**, la **potencia facturada** será igual a la **potencia contratada**, teniendo en cuenta que la Compañía Eléctrica instalará un **Interruptor de Control de Potencia** tarado al amperaje correspondiente a la potencia contratada (que evitará que pueda consumirse más potencia de la contratada).

La instalación de **maxímetros** puede suponer un ahorro importante en el costo final de la factura eléctrica. Hay que realizar un estudio real de cada situación (programa de riego a aplicar anualmente), para decidir el número de **maxímetros** a instalar y la potencia contratada para los diferentes periodos del año en función de las posibilidades que brinda la Compañía Eléctrica. Hay que tener en cuenta que si se rebasa la potencia contratada puede haber importantes recargos, por lo que la elección de las potencias máximas de los diferentes **maxímetros** es fundamental.

Si se contrata **un único maxímetro** la potencia facturada (**Pf**) será igual a la contratada (Pc) siempre que la potencia máxima no rebase el 5% de la potencia contratada o sea inferior hasta un 15% de la contratada:

$$\mathbf{Pf = Pc}$$

Si la potencia máxima **registrada** por el maxímetro (**Pr**) es superior al 105% de la potencia **contratada** (**Pc**), la potencia **facturada** (**Pf**) se calculará como:

$$\mathbf{Pf = Pr + 2 \times (Pr - 1{,}05 \times Pc)}$$

Por ejemplo, si la potencia contratada es Pc = 50 kw y la registrada por el maxímetro es Pr= 60 kw, calcular la potencia a facturar:

$$\mathbf{Pf} = Pr + 2 \times (Pr - 1{,}05 \times Pc) = 60 + 2 \times (60 - 1{,}05 \times 50) = \mathbf{75\ kw}$$

Sin embargo, si la potencia máxima registrada por el maxímetro es inferior al 85% de la potencia contratada, la potencia facturada será del 85% de la contratada.

$$\mathbf{Pf = 0{,}85 \times Pc}$$

Por ejemplo, si la potencia contratada es Pc = 50 kw y la registrada por el maxímetro es Pr= 40 kw, calcular la potencia **Pf** a facturar:

0,85 x Pc = 0,85 x 50 kw = 42,5 kw
Como Pr = 40 kw es inferior a 0,85 x Pc entonces:
Pf = 42,5 kw

La instalación de un número superior de maxímetros puede suponer un ahorro en la factura eléctrica en los meses donde no se utiliza la instalación de riego, ya que la potencia a contratar en ese periodo puede ser mucho menor. Es importante estudiar cada caso de consumo. En riego las posibilidades más comunes de contratación de potencia para alta tensión son el **modo 4** y el **modo 5**.

2.3.1.- Contratación de potencia Modo 4

En caso de elegir este modo de contratación de potencia se instalarán **tres maxímetros** que registrarán la **potencia máxima demandada en horas punta, llano y valle**, respectivamente. La fórmula de cálculo para la **potencia facturada (Pf)** en este caso es la siguiente:

$$\mathbf{Pf = P_1 + 0{,}5 \times (P_2 - P_1) + 0{,}2 \times (P_3 - P_2)}\ [1]$$

donde:

P_1 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas **punta**.
P_2 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas **llano**.
P_3 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas **valle**.

En los supuestos donde no se requiera la utilización de horas punta se contratará la potencia máxima para las horas punta igual a cero (P_1=0) con lo que el término de potencia se reduce en un 50% del inicial.

Si hay situaciones donde tampoco se requiera la utilización de horas llano (P_2 =0), es decir que solo se trabajase con las horas valle, el termino de potencia se podría minorar hasta un 20% del inicial.

2.3.2.- Contratación de potencia Modo 5. Estacional Tipo A

En Alta Tensión existe la posibilidad de contratar la potencia según el **modo 5 estacional tipo A**. En este caso la potencia facturada se calcula mediante la expresión:

$$PF = 1{,}2 \times P1 + (P2 - P1) + 0{,}5 \times (P3 - P2) + 0{,}25 \times (P4 - P3) + 0{,}10 \times (P5 - P4) + 0{,}05 \times (P6 - P5) \quad [2]$$

donde:

P_1 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas punta de temporada alta
P_2 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas llano de temporada alta
P_3 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas punta de temporada media
P_4 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas llano de temporada media
P_5 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas punta de temporada baja y horas valle de temporada alta
P_6 = Potencia demandada (marcada por el maxímetro) en horas valle de temporada media y horas llana y valle de temporada baja.

Teniendo en cuenta que para la península, las temporadas eléctricas son:

Temporada alta: noviembre, diciembre, enero y febrero.
Temporada media: marzo, abril, julio y octubre.
Temporada baja: mayo, junio, agosto y septiembre.

A continuación en la **tabla 12.8** se muestra cómo quedan distribuidas las horas en las distintas temporadas eléctricas del año, teniendo en cuenta que todos los **sabados, domingos** y **festivos** de ámbito nacional son **horas valle.**

Tabla 12.8: Distribución de las horas en los diferentes meses del año, en función de los diferentes tipos de temporada atendiendo a la contratación de potencia

	TEMPORADA											
	ALTA		MEDIA		BAJA		MEDIA	BAJA		MEDIA		ALTA
Hora/Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
PUNTA	P1	P1	P3	P3	P5	P5	P3	P5	P5	P3	P1	P1
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
LLANO	P2	P2	P4	P4	P6	P6	P4	P6	P6	P4	P2	P2
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5
VALLE	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5

Teniendo en cuenta el contenido de la **tabla 12.8**, en función de las necesidades de horas de riego podríamos minorar el término de potencia hasta un 25% del inicial si utilizamos alguna hora en P4 y hasta un 5% si es suficiente con la utilización de horas P6.

Esta contratación de potencia es incompatible con la D.H. tipo 5 y va obligatoriamente ligada al complemento de estacionalidad, del que hablaremos a continuación.

Complemento de estacionalidad.

Este complemento está constituido por un recargo o descuento porcentual sobre el término de energía, se aplicara únicamente a los abonados que hayan optado por el modo 5 estacional para el cálculo de la potencia a facturar.

Periodo temporada alta: recargo del 10%.
Periodo temporada media: sin recargo ni descuento.
Periodo temporada baja: descuento del 10%.

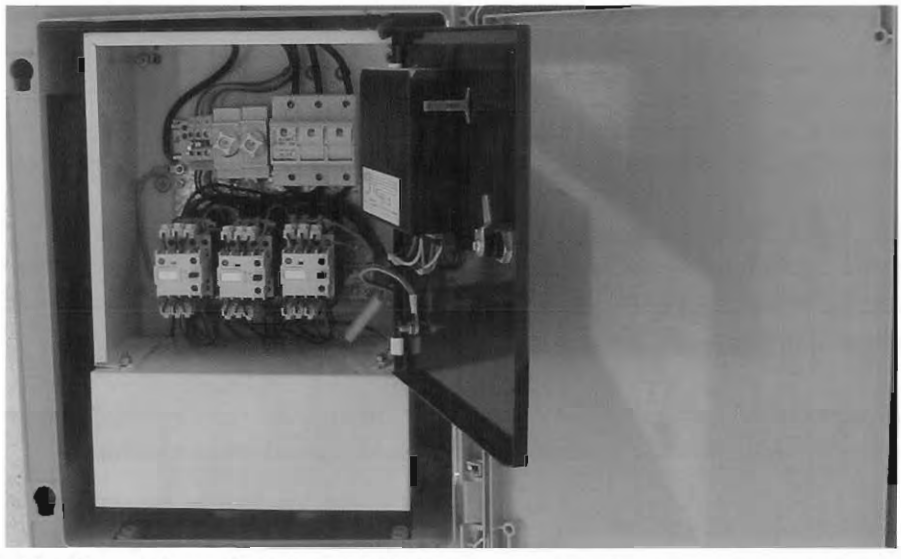
Como podemos observar este complemento se adapta muy bien al **riego de olivar**, pues en temporada alta (noviembre a febrero) en la olivicultura española es raro que sea necesario el consumo de energía, mientras que permite abaratar un 10% la facturación en los meses de mayo, junio, agosto y septiembre.

2.4.- Energía reactiva.

Cuando se pone en marcha un motor al conectarlo a una instalación eléctrica, se puede producir un desfase entre la energía activa consumida por el motor (w_a) expresada en kW (energía registrada por el contador de energía activa) y la energía nominal (w_n) suministrada por la compañía eléctrica, expresada en kVA. Al cociente entre ambas se denomina **factor de potencia** ($cos\ \varphi$):

$$\cos\varphi = \frac{w_a}{w_n} = \frac{w_a}{\sqrt{w_a^{\,2} + w_r^{\,2}}}$$

siendo w_r la denominada **energía reactiva** (energía registrada por el contador de energía reactiva), expresada también en kVArh.



Fotografía 12.1: Batería de condensadores instalada en paralelo con el motor para corregir un excesivo consumo de energía reactiva, lo que permite disminuir el término de facturación por energía reactiva, e incluso obtener bonificaciones si la batería de condensadores está bien diseñada. El equipo de la fotografía está instalado en una estación de bombeo con 30 kw de potencia.

La energía reactiva no es utilizada y constituye una pérdida para la compañía suministradora. Por esta razón todas las tarifas eléctricas imponen recargas progresivas a medida que disminuye el factor de potencia, y bonificaciones cuando supera un valor determinado.

El Real Decreto 1164/2001 en el punto 3 del artículo 9, desarrolla todo lo referente al **término de facturación por energía reactiva**, término que es de aplicación a cualquier tarifa, para lo cual se deberá disponer de un **contador de energía reactiva** permanentemente instalado, excepto en el caso de la tarifa simple de baja tensión (2.0A), tarifa que no afecta al riego de olivar.

Este término se aplicará sobre todos los períodos tarifarios, excepto en el período 3 para las tarifas 3.0A y 3.1ª y en el período 6 para las tarifas 6, **siempre que el consumo de energía reactiva exceda el 33% del consumo de energía activa durante el período de facturación considerado** (*cos φ < 0,95)* y únicamente afectará a dichos excesos.

Para la determinación de la cuantía del término de facturación por energía reactiva se deberá disponer del contador de energía reactiva instalado. El porcentaje de descuento o recargo (**Kr**) a aplicar a la facturación básica oscila entre un – 4% y un +47%, y se obtiene a partir de las siguientes fórmulas:

$$Kr\ (\%) = \frac{17}{\cos^2 \varphi} - 21$$

$$\cos \varphi = \frac{w_a}{\sqrt{w_a^{\ 2} + w_r^{\ 2}}}$$

donde $\cos^2\varphi$ debe ir expresado con dos decimales y **Kr** con un decimal redondeado.

$\cos^2\varphi$ es el desfase que existe entre voltaje e intensidad provocado por la presencia de motores conectados en la instalación. Para poder conseguir un valor de $\cos^2\varphi$ cercano a la unidad se instalará una **batería de condensadores** adecuadamente dimensionada. En este caso se tendrá una bonificación del 4%, ya que el **kr** quedaría así:

$$Kr\ (\%) = \frac{17}{\cos^2 \varphi} - 21 = \frac{17}{1} - 21 = -4\%$$

en caso en que no se instalara la batería de condensadores y si el $\cos\varphi = 0{,}85$ existiría un recargo por reactiva del 2,5 %:

$$Kr\,(\%) = \frac{17}{\cos^2 \varphi} - 21 = \frac{17}{0{,}7225} - 21 = 2{,}5\ \%$$

Cuando un consumidor tenga un consumo de energía reactiva superior a 1,5 veces el de energía activa en tres o más mediciones, la empresa distribuidora que le suministra deberá comunicarlo al organismo competente de la Comunidad Autónoma, quién podrá establecer al consumidor un plazo para la mejora de su factor de potencia y, si no se cumpliera el plazo establecido, podrá ordenar la suspensión del ejercicio del derecho al acceso a las redes en tanto no se mejore la instalación en la medida precisa.

3.- FACTURACION EN EL MERCADO LIBERALIZADO.

A partir del 1 de enero de 2003 cualquier cliente puede elegir la compañía eléctrica con la que quiere contratar su suministro eléctrico.

La Compañía negocia con el consumidor sobre una oferta presentada, basada en **alquiler de equipos**, **término de potencia** y **término de energía**, donde también se pueden fijar precios en función del **periodo de duración del contrato**.

También se incluye en la facturación el término de **Energía Reactiva**, por lo que la gran diferencia con el mercado regulado según tarifa es la **posibilidad de obtener mejores precios sin discriminación horaria**.

Sin embargo, en el mercado liberalizado se suelen fijar unos **términos de potencia**, diferentes para cada periodo horario, que penaliza fuertemente el consumo en horas punta y llano, lo cual resulta fuertemente gravoso para el usuario cuando la potencia demandada (marcada por el maxímetro) excede en gran medida a la potencia contratada.

En cualquier caso, antes de firmar un contrato de suministro de energía eléctrica en el mercado liberalizado, deben estudiarse con detenimiento sus cláusulas, asesorándose por un especialista en la materia, ya que este mercado se rige por ley por unas *reglas del juego* diferentes de las del mercado regulado, estas reglas están contempladas en el **Real Decreto 1164/2001** de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

4.- SUPUESTOS PRÁCTICOS.

4.1.- Supuesto 1

En el primer supuesto se va a calcular el coste de la factura eléctrica en el año 2.004 para regar una superficie de olivar de 100 ha. Dicho olivar tiene una densidad de plantación de 100 olivos/ha. Para el cálculo de la potencia necesaria conocemos que la altura manométrica (Hm) es de 173 m, y el riego se realiza en tres en tres sectores. A cada olivo se le puede aplicar 16 litros de agua por hora. El programa anual de riego a aplicar se muestra en la **tabla 12.9**, programa en el que se ha previsto la utilización de la reserva de agua en el suelo hasta agotarla, lo que permite regar con cantidades idénticas de agua cada mes. El volumen total de agua a aplicar anualmente es de 14.823 l/olivo equivalente a 1.483 m^3/ha, mostrando dicha tabla las aportaciones diarias (l/olivo .día) para cada uno de los meses del periodo de riego.

A continuación realizamos el cálculo de la potencia requerida para el funcionamiento de la instalación:

Número de olivos a regar = 100 ha x 100 olivos/ha = 10.000 olivos
Número de olivos a regar en cada sector = 10.000 olivos / 3 sectores = 3.333 olivos
Caudal: Q = 3.333 olivos x 16 l/h x 1,15 = 61.327 l/h < > 61,33 m^3/h
Altura manométrica (**Hm**) = 173 m

Cálculo de las potencias demandada y contratada:

$$P = \frac{Hm \times Q}{270 \times \eta} = \frac{173\ m \times 61{,}33\ m^3/h}{270 \times 0{,}65} = 60{,}7\ cv < > 44{,}7\ kw$$

Teniendo en cuenta la potencia demandada acordamos una contratación de potencia con la compañía eléctrica de 50 kw en Baja Tensión. Se supone que se ha instalado una batería de condensadores para evitar la penalización por energía reactiva.

Vamos a comparar las siguientes tres alternativas de contratación:

1. Tarifa 4.0. con D.H. tipo 4
2. Tarifa 4.0. con D.H. tipo 5, ajustando el programa de riego con un cierto recorte en la dotación diaria de agua de riego en el período abril-julio, sin llegar a agotar la reserva de agua del suelo, teniendo en cuenta que en el mes de agosto podremos regar muchas más horas, ya que todas las horas disponibles en este mes son horas valle.

3. Tarifa de riego R.0. con D.H. tipo 4

A continuación analizaremos para cada una de las tres alternativas propuestas el consumo anual de energía eléctrica, valorando los costes de riego en cada caso.

1ª Alternativa. Contratación en baja tensión Tarifa 4.0. con discriminación horaria tipo 4

En la **tabla 12.9** se muestra en las columnas 2ª y 3ª el programa de riego realizado mes a mes, teniendo en cuenta que a 30 de septiembre hayamos agotado la reserva de agua en el suelo, de modo que se aporten semanalmente idénticas cantidades de agua de riego a lo largo de toda la campaña. Las horas de riego mensuales se calculan a partir de la aportación diaria de agua:

$$\frac{81\ \text{l/día}}{16\ \text{l/h}} \times 30\ \text{días/mes} \times 3\ \text{sectores de riego} = 456\ \text{horas/mes}$$

Las columnas 4 y 5 muestran, respectivamente, el número de horas valle disponibles y utilizadas para regar en cada uno de los meses, mientras que la columna 6 muestra las horas llano utilizadas para regar también en cada uno de los meses. El precio de cada kw.h en cada sector horario es el siguiente (ver tabla 12.2):

en horas llano = 0,0753 €/kw.h
en horas valle = 0,0753 x (1,0 – 0,43) = 0,0429 €/kw.h

La columna 7 muestra el coste mensual de la energía consumida en riego (producto de los kw.h consumidos en cada sector horario por el coste de cada kw.h en cada sector horario):

44,7 kw x [416 h valle x 0,0429 €/kw.h + 40 h llano x 0,0753 €/kw.h] = 933 €/mes de abril

En la columna 8 se calcula el término de potencia, en función de la potencia contratada, teniendo en cuenta que no hemos superado la potencia contratada:

50 kw x 2,248456 €/kw.mes = 112,42 €/mes

Finalmente la columna 9 muestra el coste total mensual facturado, suma del coste de la energía y del término de potencia (suma de columnas 7 y 8).

Tabla 12.9: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 9.000 m3/ha) con una potencia contratada de 50,0 kw y una potencia de uso de 44.7 kw utilizando una **tarifa 4.0 con discriminación horaria tipo 4.**

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energia (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Feb	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Mar	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Abr	81	456	416	416	40	933	112	1.045
May	81	471	424	424	47	972	112	1.084
Jun	81	456	368	368	88	1.002	112	1.115
Jul	81	471	376	376	95	1.041	112	1.154
Ago	81	471	408	408	63	995	112	1.107
Sep	81	456	368	368	88	1.002	112	1.115
Oct	0	0	0	0	0	0	112	112
Nov	0	0	0	0	0	0	112	112
Dic	0	0	0	0	0	0,00	112	112
TOTAL	**14.823**	**2.781**	**2.360**	**2.360**	**421**	**5.945**	**1.349**	**7.294**

El consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.781 h x 44,7 kw = **124.311 kw.h**

mientras que el coste de dicha energía ascendió a **7.294 €/año,** lo que ha supuesto un coste del kw.h consumido (sin considerar impuestos) de:

7.294 € / 124.311 kw.h = **0,0587 € / kw.h** (9,76 ptas / kw.h).

Teniendo en cuenta que se aportan 149.100 m^3 de agua a la plantación, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

7.294 € / 149.100 m^3 = **0,0489 € /m^3** (8,14 ptas/m^3).

2ª Alternativa. Baja tensión Tarifa 4.0. con D.H. tipo 5.

Las consideraciones y modelo de cálculo son similares a las realizadas en el análisis de la 1ª Alternativa (D.H. tipo 4), solamente se ha realizado una modificación en la programación del riego, donde teniendo en cuenta que en el mes de **agosto todas las horas son valle,** se ha previsto agotar más la reserva de agua en el suelo durante el mes de julio, lo que ha permiti-

do reducir el número de horas de riego en el periodo abril-julio, permitiendo consumir solamente horas valle, no importando que en agosto aumenten las necesidades de riego, ya que en esta mes, al ser valle todas las horas, el coste energético es barato (**tabla 12.10**). Hay que tener cuidado de que el programa de riego que realicemos no sea imposible de cumplir, ya que solamente se dispone en este mes de 24 x 7 =168 horas a la semana, que en tres sectores permite regar 56 horas/semana por sector (56 / 7 = 8 horas diarias), en las que se puede aplicar 16 l/h x 8 horas/día = 128 litros/olivo. día, estando esta cifra en consonancia con los consumos programados en la **tabla 12.10** de cálculo.

Tabla 12.10: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 9.000 m^3/ha) con una potencia contratada de 50 kw y una potencia utilizada de 44,7 kw utilizando una **tarifa 4.0 con discriminación horaria tipo 5.**

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Feb	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Mar	0	0	0	0	0	0,00	112	112
Abr	75	422	544	422	0	810	112	922
May	75	436	584	436	0	836	112	949
Jun	75	422	448	422	0	810	112	922
Jul	65	378	408	378	0	725	112	838
Ago	125	727	744	727	0	1.395	112	1.507
Sep	70	407	424	407	0	781	112	893
Oct	0	0	0	0	0	0	112	112
Nov	0	0	0	0	0	0	112	112
Dic	0	0	0	0	0	0,00	112	112
TOTAL	**15**	**2.792**	**3.152**	**2.792**	**421**	**5.357**	**1.349**	**6.706**

El consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.792 h x 44,7 kw = **124.802 kw.h**

lo que ha supuesto un coste anual de la energía de 6.706 €, por lo que el coste del kw.h consumido (sin considerar impuestos) será:

6.706 € / 124.802 kw.h = **0,0537€ / kw.h** (8,94 ptas / kw.h)

Teniendo en cuenta que se aportan 149.100 m^3 de agua a la plantación, el precio del metro cúbico de agua bombeado será de **0,0450** € (= 7,48 ptas/m^3).

Como se puede comprobar, para este caso concreto se consigue un **ahorro** para la explotación de **588 €/m³** al año (97.831 ptas/año), simplemente con el cambio de discriminación horaria de tipo 4 a tipo 5.

3ª Alternativa. Tarifa R.0. con D.H. tipo 4

El programa de riego realizado (**tabla 12.11**) es el mismo que el de la alternativa 1, es decir 81 litros / olivo y día durante el periodo abril-septiembre, el procedimiento de cálculo el expresado en el caso de la 1ª y 2ª alternativa.

El precio de cada kw.h en cada sector horario, en este caso es el siguiente:

en horas llano = 0,076608 €/kw.h
en horas valle = 0,076608 x (1,0 – 0,43) = 0,04366 €/kw.h

En la columna 8 se calcula el término de potencia, en función de la potencia contratada y teniendo en cuenta que tampoco en este caso sobrepasamos la potencia contratada:

50 kw x 0,330106 €/kw.mes = 16,51 €/mes

Tabla 12.11: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 9.000 m³/ha) con una potencia instalada de 44,7 kw utilizando una **tarifa R. O. con discriminación horaria tipo 4.**

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
Feb	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
Mar	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
Abr	81	456	416	416	40	949	16,5	965,5
May	81	471	424	424	47	989	16,5	1.005,1
Jun	81	456	368	368	88	1.020	16,5	1.036,1
Jul	81	471	376	376	95	1.059	16,5	1.075,7
Ago	81	471	408	408	63	1.012	16,5	1.028,6
Sep	81	456	368	368	88	1.020	16,5	1.036,1
Oct	0	0	0	0	0	0	16,5	16,5
Nov	0	0	0	0	0	0	16,5	16,5
Dic	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
TOTAL	**14.823**	**2.781**	**2.360**	**2.360**	**421**	**6.048**	**198**	**6.246**

El consumo anual de energía eléctrica en este caso sería de:

2.781 h x 44,7 kw = **124.310 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 6.246 €, por lo que el coste del kw.h consumido (sin considerar impuestos) será:

6.246 €/ 124.310 kw.h = **0,0502 € / kw.h** (8,36 ptas / kw.h)

Teniendo en cuenta que se aportan 149.100 m^3 de agua a la plantación, el precio del metro cúbico de agua bombeado será de **0,0419 €/m^3** (6,97 ptas/m^3).

En este caso, con respecto a las alternativas 1ª y 2ª, con la alternativa 3ª se consigue el menor coste anual para la explotación, así como un menor coste del kw.h consumido:

Tarifa	Alternativa	Consumo anual kw.h	Coste anual €	Coste del kw.h €	Coste del kw.h ptas
4.0 y DH tipo 4	1ª	124.311	7.294	0,0587	9,76
4.0 y DH tipo 5	2ª	124.802	6.706	0,0537	8,94
R.0 y DH tipo 4	3ª	124.311	6.246	0,0502	8,36

y un ahorro **1.048 €/año** con respecto a la 1ª alternativa, al disponer de la **tarifa especial de riego**. También se observa que con la tercera alternativa (R.0 y DH tipo 4) se consigue un ahorro con respecto a la 2ª alternativa de **460** €, aunque esta situación no siempre ocurre así, ya que dependiendo de la potencia contratada y del número de horas de funcionamiento de los motores puede ocurrir que la alternativa 2 (tarifa 4.0. con D.H. tipo 5) sea más rentable que la 3 tarifa especial agrícola R.0. con D.H. tipo 4. Veamos un segundo ejemplo donde se produce esta situación.

4.2.- Supuesto 2

En este segundo supuesto se va a calcular el coste de la factura eléctrica en el año 2.004 para el mismo olivar de la situación anterior, que recordamos tiene una densidad de plantación de 100 ol/ha, y una superficie de 100 ha, y para idéntico proyecto de riego. Recordamos que la altura manométrica es de 173 m, y se riega en tres sectores. La potencia necesaria es de 60.7 CV, lo que equivale a 44.7 kw. La contratación de potencia es de 50 kw en Baja Tensión. Solamente vamos a cambiar un dato, **el tamaño de los olivos**.

El mayor volumen de copa de los olivos de la plantación obliga a aplicar una mayor cantidad anual de agua para no crear déficit hídrico, resultando unas necesidades anuales de

2.078 m³/ha (1.483 m³/ha en el primer supuesto), donde igualmente se programa el riego hasta agotar la reserva del suelo. Se supone que existe instalada una batería de condensadores, para evitar las penalizaciones por energía reactiva. En ninguna de las tres alternativas comparadas sobrepasamos la potencia contratada. Las tres tarifas para baja tensión comparadas en cada uno de las tres alternativas son también en este caso:

1. Tarifa 4.0. con D.H. tipo 4.
2. Tarifa 4.0.con D.H. tipo 5, ajustando el recorte a la condición de las horas valle disponibles.
3. Tarifa R.0. con D.H. tipo 4.

1ª Alternativa. Tarifa 4.0. con D.H. tipo 4

La **tabla 12.12** muestra el cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego en este segundo supuesto. En dicha tabla se muestran los consumos de agua de riego de la plantación, siguiendo el procedimiento de cálculo del **Supuesto 1**. Vemos que las necesidades de agua de los árboles son notablemente mayores que los del mencionado supuesto.

Tabla 12.12: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 11.000 m³/ha) con una potencia instalada de 44,7 kw utilizando una **tarifa 4.0 con discriminación horaria tipo 4.**

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
Feb	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
Mar	80	465	408	408	57	975	112,4	1.087,1
Abr	100	563	416	416	147	1.293	112,4	1.405,4
May	100	581	424	424	157	1.342	112,4	1.454,4
Jun	100	563	368	368	195	1.362	112,4	1.474,8
Jul	100	581	376	376	205	1.411	112,4	1.523,8
Ago	100	581	408	408	173	1.365	112,4	1.477,5
Sep	100	563	368	368	195	1.362	112,4	1.474,8
Oct	0	0	0	0	0	0	112,4	112,4
Nov	0	0	0	0	0	0	112,4	112,4
Dic	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
TOTAL	**20.784**	**3.897**	**2.360**	**2.768**	**421**	**9.111**	**1.349**	**10.460**

El consumo anual de energía eléctrica (**tabla 12.12**) en este caso ha sido de:

3.897 horas x 44,7 kw = **174.196 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de **0,0600 € / kw.h** (9,98 ptas / kw.h) consumido (sin considerar impuestos).

2ª Alternativa. **Tarifa 4.0. con D.H. tipo 5.**

La **tabla 12.13** muestra el cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego en este segundo supuesto. En dicha tabla se muestran los consumos de agua de riego de la plantación.

Tabla 12.13: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 11.000 m³/ha) con una potencia instalada de 44,7 kw utilizando una **tarifa 4.0 con discriminación horaria tipo 5.**

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
Feb	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
Mar	70	407	424	408	0	813	112,4	925,9
Abr	100	563	544	416	19	862	112,4	974,5
May	100	581	584	424	0	813	112,4	925,9
Jun	80	450	448	368	2	713	112,4	825,2
Jul	70	407	408	376	0	721	112,4	833,8
Ago	128	744	744	408	0	783	112,4	895,2
Sep	75	422	424	368	0	706	112,4	818,5
Oct	55	320	536	320	0	614	112,4	726,4
Nov	0	0	0	0	0	0	112,4	112,4
Dic	0	0	0	0	0	0,00	112,4	112,4
TOTAL	**20.768**	**3.894**	**2.360**	**3.088**	**21**	**6.026**	**1.349**	**7.375**

El consumo anual de energía eléctrica en este caso (**tabla 12.13**) ha sido de:

3.894 horas x 44,7 kw = **174.062 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de **0,0423 € / kw.h** (7,04 ptas / kw.h) consumido (sin considerar impuestos).

En este segundo supuesto el ahorro que se consigue con la estrategia de utilizar la **tarifa 4.0. con D.H. tipo 5**, ajustando el riego a las horas valle disponibles, permitiría un ahorro entorno a los 3.085 €/año.

Tabla 12.14: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de 100 has de olivar (densidad de plantación 100 árboles/ha y volumen de copa 11.000 m³/ha) con una potencia instalada de 44,7 kw utilizando una **tarifa R.0 con discriminación horaria tipo 4**.

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
Feb	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
Mar	80	465	408	408	57	992	16,5	1.008,1
Abr	100	563	416	416	147	1.315	16,5	1.331,9
May	100	581	424	424	157	1.365	16,5	1.381,7
Jun	100	563	368	368	195	1.386	16,5	1.402,6
Jul	100	581	376	376	205	1.436	16,5	1.452,4
Ago	100	581	408	408	173	1.389	16,5	1.405,3
Sep	100	563	368	368	195	1.386	16,5	1.402,6
Oct	0	0	0	0	0	0	16,5	16,5
Nov	0	0	0	0	0	0	16,5	16,5
Dic	0	0	0	0	0	0,00	16,5	16,5
TOTAL	**20.784**	**3.897**	**2.360**	**2.768**	**421**	**9.269**	**198**	**9.467**

3ª Alternativa. Tarifa R.0. con D.H. tipo 4

Una vez realizados los cálculos (**tabla 12.14**), siguiendo los pasos de apartados anteriores, deducimos que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido:

3.897 h x 44,7 kw = 174.196 kw.h

lo que ha supuesto un coste de **0,0543 €/ kw.h** (9,04 ptas / kw.h) consumido (sin considerar impuestos).

En la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos en los cálculos de los consumos eléctricos en las tres alternativas de contratación:

Tarifa	Alternativa	Consumo anual kw.h	Coste anual €	Coste del kw.h €	Coste del kw.h ptas
4.0 y DH tipo 4	1ª	174.196	10.460	0,0600	9,99
4.0 y DH tipo 5	2ª	174.062	7.375	0,0423	7,05
R.0 y DH tipo 4	3ª	174.196	9.467	0,0543	9,04

En este caso, la alternativa 3ª al elegir la tarifa especial de riego R.0. no es la situación más económica, ya que la alternativa 2ª permite un ahorro de 2.092 € /año con respecto a esta 3ª alternativa, y de 3.085 € /año con respecto a la primera.

Si comparamos además los costes del kw.h consumido para cada una de las tres alternativas propuestas, vemos que la 2ª alternativa de tarifación (DH tipo 5) es en este caso la mejor.

Llegados a este punto debemos tener en cuenta la dificultad de elegir correctamente la modalidad de tarifación a contratar, ya que las circunstancias pueden cambiar a lo largo de la vida productiva del olivar, especialmente si se aplican correctamente las prácticas de cultivo más aconsejables, como la **poda**, que adecuadamente realizada permite aumentar el tamaño de los olivos y con ello su capacidad productiva, pero que a la vez aumenta las necesidades de agua de riego de la plantación, y con ello el consumo de energía eléctrica, en especial en los meses de máxima demanda (verano), lo que crea incertidumbres en la elección de la tarifa a contratar.

4.3.- Supuesto 3

Se pretende regar una comunidad de regantes que cuenta entre todos sus asociados con un total de 138.000 olivos con marco tradicional. La instalación se ha realizado para regar en tres sectores, con posibilidad de aportar a cada olivo de 16 litros de agua por hora. La altura manométrica es de 255 m. La medición del consumo se realizará en **alta tensión**, y la instalación cuenta con una batería de condensadores bien dimensionada, lo que evitará los recargos por energía reactiva. Tengamos en cuenta que la potencia contratada está ajustada de modo que la potencia demandada no sobrepase nunca la potencia contratada.

El programa de riego con los litros a aportar diariamente por olivo y mes de la campaña de riegos es el siguiente:

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
l/olivo.día	0	0	0	81	81	81	81	81	81	0	0	0
Horas de riego al mes	0	0	0	456	471	456	471	471	456	0	0	0

Se trata de tomar la decisión del tipo de tarifa a contratar en este caso para el riego en esta comunidad de regantes.

Cálculo de la potencia necesaria:

Número de olivos a regar = 138.000 olivos
Número de olivos a regar en cada sector = 138.000 olivos / 3 sectores = 46.000 olivos
Caudal Q por sector = 46.000 olivos x 16 l/h x 1,15 = 846.400 l/h < > 846,4 m^3/h

Potencias demandada y contratada:

$$P = \frac{Hm \times Q}{270 \times \eta} = \frac{255\,m \times 846{,}4\,m^3/h}{270 \times 0{,}65} = 1.230\ cv < > 905\ kw$$

La contratación de potencia con la compañía eléctrica es de 925 kw en Alta Tensión para evitar que en algún momento se supere la potencia contratada, lo que daría lugar a penalizaciones.

Horas de funcionamiento de la instalación al mes:

$$\frac{81\ l/día}{16\ l/h} \times 30\ días/mes \times 3\ sectores\ de\ riego = 152\ horas/mes = 456\ horas/mes$$

Alternativa 1

Tarifa especial de riego en **alta tensión R1** y **D.H. tipo 4**, con 925 kw contratados. Los cáculos para la determinación del consumo de energía eléctrica y la facturación se realizan en la **tabla 12.15**.

Según **tabla 12.2**, el precio de cada kw.h en cada sector horario es el siguiente:

en horas llano = 0,068326 €/kw.h
en horas valle = 0,068326 x (1,0 – 0,43) = 0,038946 €/kw.h

Las columnas 4 y 5 muestran, respectivamente, el número de horas valle disponibles y utilizadas para regar en cada uno de los meses, mientras que la columna 6 muestra las horas llano utilizadas para regar también en cada uno de los meses.

La columna 7 muestra el coste mensual de la energía consumida en riego (producto de los kw.h consumidos en cada sector horario por el coste de cada kw.h en cada sector horario). Para el mes de abril el coste sería el siguiente:

905 kw x [416 h valle x 0,038946 €/kw.h + 40 h llano x 0,068326 €/kw.h] = 17.117 € /mes

En la columna 8 se calcula el término de potencia, en función de la potencia contratada:

925 kw x 0,498273 €/kw.mes = 461 €/mes

Finalmente la columna 9 muestra el coste total mensual facturado, suma del coste de la energía y del término de potencia (suma de columnas 7 y 8).

Tabla 12.15: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de una comunidad de regantes de 138.000 olivos con marco tradicional, en la que la potencia instalada de 905 kw y la potencia contratada 925 kw. Se utiliza una tarifa especial de riego en alta tensión R1 y D.H. tipo 4.

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0	461	461
Feb	0	0	0	0	0	0	461	461
Mar	0	0	0	0	0	0	461	461
Abr	81	456	416	416	40	17.136	461	17.597
May	81	456	424	424	32	16.923	461	17.384
Jun	81	456	368	368	88	18.412	461	18.873
Jul	81	456	376	376	80	18.199	461	18.660
Ago	81	456	408	408	48	17.348	461	17.809
Sep	81	456	368	368	88	18.412	461	18.873
Oct	0	0	0	0	0	0	461	461
Nov	0	0	0	0	0	0	461	461
Dic	0	0	0	0	0	0	461	461
TOTAL	**14.592**	**2.736**	**2.360**	**2.360**	**376**	**106.430**	**5.531**	**111.962**

El volumen anual de agua aportada por olivo ha sido de 14,592 m³, mientras que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.736 h x 905 kw = **2.476.080 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 111.962 €, resultando el precio del kw.h consumido (sin considerar impuestos):

111.962 €/ 2.476.080 kw.h = **0,0452 €/ kw.h** (7,52 ptas / kw.h) consumido.

Teniendo en cuenta que se aportan **2.013.696 m³** de agua a los olivos de la comunidad de regantes, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

111.962 € / 2.013.696 m³ = **0,0556 € /m³** (=9,25 ptas/m³).

Alternativa 2

Tarifa de **alta tensión tipo 1.1**. con **discriminación horaria tipo 5**, con un programa de riego consistente en aportar todos los meses la misma cantidad de agua. Los cálculos para la determinación del consumo de energía eléctrica y la facturación se realizan en la **tabla 12.16**. También hay instalada una batería de condensadores para evitar las penalizaciones por reactiva.

Según **tabla 12.2**, El precio de cada kw.h en cada sector horario es el siguiente:

en horas llano = 0,065274 €/kw.h
en horas valle = 0,065274 x (1,0 – 0,43) = 0,037206 €/kw.h

El término de potencia, en función de la potencia contratada:

925 kw x 1,949492 €/kw.mes = 1.803,3 €/mes.

Tabla 12.16: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de una comunidad de regantes de 138.000 olivos con marco tradicional, en la que la potencia instalada de 905 kw y la potencia contratada 925 kw. Se utiliza una tarifa en alta tensión 1.1 y D.H. tipo 5.

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Feb	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Mar	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Abr	81	456	544	456	0	15.354	1.803	17.158
May	81	456	584	456	0	15.354	1.803	17.158
Jun	81	456	448	448	8	15.557	1.803	17.361
Jul	81	456	408	408	48	16.574	1.803	18.377
Ago	81	456	744	456	0	15.354	1.803	17.158
Sep	81	456	424	424	32	16.167	1.803	17.970
Oct	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Nov	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Dic	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
TOTAL	**14.592**	**2.736**	**3.152**	**2.648**	**88**	**94.361**	**21.639**	**116.000**

El volumen anual de agua aportada por olivo ha sido también de 14,592 m³, mientras que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.736 h x 905 kw = **2.476.080 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 116.000 €, resultando el precio del kw.h consumido (sin considerar impuestos):

116.000 € / 2.476.080 kw.h = **0,04685** € / kw.h (7,79 ptas / kw.h)

Teniendo en cuenta que se aportan **2.013.696** m^3 de agua a los olivos de la comunidad de regantes, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

116.000 € / 2.013.696 m^3 = **0,0576** €/m^3 (9,58 ptas/m^3)

Esta alternativa resulta más cara que la tarifa agrícola, siendo el coste 4.038 € superior.

Alternativa 3

Tarifa de alta tensión 1.1. con discriminación horaria tipo 5, ajustando el programa de riego de modo que tengamos un máximo de consumo en las horas valle. El coste del kw.h y el importe del término de potencia son los mostrados en la alternativa 2. Los cáculos para la determinación del consumo de energía eléctrica y la facturación se realizan en la **tabla**

Tabla 12.17: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de una comunidad de regantes de 138.000 olivos con marco tradicional, en la que la potencia instalada de 905 kw y la potencia contratada 925 kw. Se utiliza una **tarifa en alta tensión 1.1 y D.H. tipo 5**. Se ha ajustando el programa de riego de modo que tengamos un máximo de consumo en las horas valle

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energia (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Feb	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Mar	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Abr	81	456	544	456	0	15.354	1.803	17.158
May	80	464	584	464	0	15.624	1.803	17.427
Jun	80	448	448	448	0	15.085	1.803	16.888
Jul	70	408	408	408	0	13.738	1.803	15.541
Ago	92	536	744	536	0	18.048	1.803	19.851
Sep	75	424	424	424	0	14.277	1.803	16.080
Oct	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Nov	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
Dic	0	0	0	0	0	0	1.803	1.803
TOTAL	14.592	2.736	3.152	2.736	0	92.125	21.639	113.765

12.17. También hay instalada una batería de condensadores para evitar las penalizaciones por reactiva.

El volumen anual de agua aportada por olivo ha sido también de 14,592 m^3, mientras que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.736 h x 905 kw = **2.476.080 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 116.000 €, resultando el precio del kw.h consumido (sin considerar impuestos):

113.765 €/ 2.476.080 kw.h = **0,04595** €/ kw.h (7,64 ptas / kw.h) consumido.

Teniendo en cuenta que se aportan **2.013.696 m^3** de agua a los olivos de la comunidad de regantes, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

113.765 €/ 2.013.696 m^3 = **0,0565 €/m^3** (= 9,40 ptas/m^3)

Con esta tarifa casi se consigue una factura final similar a la factura de riego agrícola R1, aunque sigue siendo superior en unos 1.803 €/ año.

Alternativa 4

Tarifa de **alta tensión tipo 1.1.** con **discriminación horaria tipo 5 y contratación de potencia modo 4**, con instalación de tres maxímetros, renunciándose a consumir en horas punta. El coste del kw.h son los mostrados en la alternativa 2. Los cáculos para la determinación del consumo de energía eléctrica y la facturación se realizan en la **tabla 12.18**. También hay instalada una batería de condensadores para evitar las penalizaciones por reactiva.

Para el cálculo del término de potencia es necesario calcular la potencia facturada (**Pf**) empleando la expresión [1], en la que **P1** = 0; y **P2** = **P3** = 925 kw :

Pf = P1 + 0,5 x (P2 - P1) + 0,2 x (P3 - P2) = 0 +0,5 x (925-0)+0,2 x (925-925) = 462.5 kw

Término de potencia = 1,949492 x 462,5 = 901,64 €/mes

Tabla 12.18: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de una comunidad de regantes de 138.000 olivos con marco tradicional, en la que la potencia instalada de 905 kw y la potencia contratada 925 kw. Se utiliza una **tarifa en alta tensión 1.1 y D.H. tipo 5**, contratación de potencia modo 4, con instalación de 3 maxímetros.

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energía (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0	902	902
Feb	0	0	0	0	0	0	902	902
Mar	0	0	0	0	0	0	902	902
Abr	81	456	544	456	0	15.354	902	16.256
May	81	456	584	456	0	15.354	902	16.256
Jun	81	456	448	448	8	15.557	902	16.459
Jul	81	456	408	408	48	16.574	902	17.475
Ago	81	456	744	456	0	15.354	902	16.256
Sep	81	456	424	424	32	16.167	902	17.069
Oct	0	0	0	0	0	0	902	902
Nov	0	0	0	0	0	0	902	902
Dic	0	0	0	0	0	0	902	902
TOTAL	**14.592**	**2.736**	**3.152**	**2.648**	**88**	**94.361**	**10.819**	**105.180**

El volumen anual de agua aportada por olivo ha sido también de 14,592 m3, mientras que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.736 h x 905 kw = **2.476.080 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 105.180 , resultando el precio del kw.h consumido (sin considerar impuestos):

105.180 €/ 2.476.080 kw.h = **0,04248 €/ kw.h** (7,07 ptas / kw.h) consumido.

Teniendo en cuenta que se aportan **2.013.696 m³** de agua a los olivos de la comunidad de regantes, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

105.180 €/ 2.013.696 m³ = **0,0522 €/m³** (8,69 ptas/m³).

Con la instalación de tres maxímetros y la contratación de potencia en modo 4 se conseguiría un ahorro de 10.820 € con relación a la alternativa 2, consistente en la misma tarifa con contratación normal de potencia, y también sería más barata que la tarifa de riego agrícola (alternativa 1) en 6.782 €.

Alternativa 5

Tarifa de **alta tensión tipo 1.1**. con **discriminación horaria tipo 4 y contratación de potencia modo 5**, con instalación de seis maxímetros, renunciándose a consumir en temporada alta (noviembre a febrero) y en horas punta de la temporada media (marzo, abril, julio y octubre) . Este tipo de factura incluye el módulo estacional, con lo que se aplica un recargo del 10% al coste de la energía en temporada alta (Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero) y un descuento del 10% en temporada baja (Mayo, Junio, Agosto y Septiembre). Los cáculos para la determinación del consumo de energía eléctrica y la facturación se realizan en la **tabla 12.19.** También hay instalada una batería de condensadores para evitar las penalizaciones por reactiva.

Según **tabla 12.2**, el precio de cada kw.h en cada sector horario es el siguiente:

en horas llano = 0,065274 €/kw.h
en horas valle = 0,065274 x (1,0 – 0,43) = 0,037206 €/kw.h

Para el cálculo del **término de potencia** es necesario calcular la potencia facturada (**Pf**) empleando la expresión [2], en la que P1 = P2 = P3 = 0 y P4 = P5 = P6 = 925 kw :

$$Pf = 1,2 \times 0 + (0 - 0) + 0,5 \times (0 - 0) + 0,25 \times (925 - 0) + 0,10 \times (925 - 925) + 0,05 \times (925 - 925) = 231,25 \text{ kw}$$

Tabla 12.19: Cálculo del coste anual de la energía eléctrica consumida para el riego de una comunidad de regantes de 138.000 olivos con marco tradicional, en la que la potencia instalada de 905 kw y la potencia contratada 925 kw. Se utiliza una tarifa en alta tensión 1.1 y D.H. tipo 4, contratación de potencia modo 5, con instalación de 6 maxímetros.

Mes	Riego l/ol. día	Horas riego/mes	Horas valle disponibles	Horas valle utiliz.	Horas llano	Coste energia (€)	Término de potencia (€)	Total (€)
Ene	0	0	0	0	0	0	451	451
Feb	0	0	0	0	0	0	451	451
Mar	0	0	0	0	0	0	451	451
Abr	81	456	416	416	40	16.370	451	16.821
May	81	456	424	424	32	14.550	451	15.001
Jun	81	456	368	368	88	15.830	451	16.281
Jul	81	456	376	376	80	17.386	451	17.837
Ago	81	456	408	408	48	14.916	451	15.367
Sep	81	456	368	368	88	15.831	451	16.282
Oct	0	0	0	0	0	0	451	451
Nov	0	0	0	0	0	0	451	451
Dic	0	0	0	0	0	0	451	451
TOTAL	**14.592**	**2.736**	**2.360**	**2.360**	**376**	**94.884**	**5.410**	**100.293**

Término de potencia = 1,949492 x 231,25 kw = 450,82 €/mes

El volumen anual de agua aportada por olivo ha sido también de 14,592 m3, mientras que el consumo anual de energía eléctrica en este caso ha sido de:

2.736 h x 905 kw = **2.476.080 kw.h**

lo que ha supuesto un coste de 100.293 €, resultando el precio del kw.h consumido (sin considerar impuestos):

100.293 €/ 2.476.080 kw.h = **0,0405 €/ kw.h** (6,74 ptas / kw.h) consumido.

Teniendo en cuenta que se aportan **2.013.696 m³** de agua a los olivos de la comunidad de regantes, el precio del metro cúbico de agua bombeado será:

100.293 €/ 2.013.696 m³ = **0,0498 €/m³** (8,29 ptas/m³).

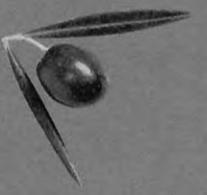
Con esta quinta alternativa se consigue rebajar la factura anual conseguida con la **alternativa 4**, para las condiciones de riego del supuesto en 4.887 €.



CAPÍTULO 13

EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

Rafael Fernández Gómez
Miguel Pastor Muñoz-Cobo (adaptación)



1.- INTRODUCCIÓN

2.- EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO
- 2.1.- Equipo de filtrado
- 2.2.- Equipo de fertirrigación
- 2.3.- Elementos de control, automatismos y piezas especiales.
- 2.4.- Unidades de riego
- 2.5.- Tuberías laterales de distribución y emisores.

3.- EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO
- 3.1.- Uniformidad de la subunidad de riego
- 3.2.- Uniformidad de instalación

4.- EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO

5.- RESUMEN

Referencias bibliográficas



1.- INTRODUCCIÓN

La evaluación de una instalación de riego localizado **es un procedimiento por el que se pretende comprobar su correcto funcionamiento** de forma que se pueda atestiguar que la instalación puede cumplir el objetivo primordial del riego, **satisfacer las necesidades de agua de todos los árboles de la plantación.**

La evaluación también permitirá valorar si los materiales, sus características de diseño, mantenimiento y manejo son los adecuados, así como comprobar si todos los olivos van a poder recibir la misma cantidad de agua o en su caso determinar las diferencias.

Es muy importante que **una vez que se hayan terminado las obras** de transformación en regadío, y por personal técnico cualificado ajeno a la empresa instaladora, debería realizarse **una evaluación completa de la instalación**, comprobando que se ha realizado conforme al proyecto, y además se garantice al agricultor el funcionamiento adecuado del sistema de riego según los requerimientos para los que se ha diseñado. Además se debe exigir a la empresa instaladora que como resultado de dicha evaluación se obtenga, como mínimo, **la uniformidad de aplicación del agua** que el agricultor y el técnico proyectista hayan estimado **necesaria** durante el proceso de diseño del sistema.

Como complemento a esa primera evaluación, anterior a la entrega del sistema, se recomienda que el agricultor haga **al menos dos evaluaciones durante la campaña de riego**, una al inicio y otra a mediados de la campaña, para realizar un control de la uniformidad del volumen de agua aplicada a los olivos. También se debería evaluar la instalación **cada vez que sospeche que pueda haber algún problema en la instalación** (obturaciones, fugas, mal dimensionado, etc.). Si se cree que dicho problema puede ser de gran envergadura, es necesario recurrir a personal especializado para efectuar una evaluación completa.

Los principales puntos a tener en cuenta a la hora de realizar una evaluación son los siguientes:

- Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el manejo de los mismos es el adecuado.

- Determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego.

- Analizar los criterios seguidos por el usuario del riego para decidir la cantidad de agua a aplicar, una vez revisado el programa de riego que previamente haya realizado un técnico cualificado.

- Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear las soluciones más sencillas y económicas para resolver dichos problemas.

Los criterios y metodología de evaluación de las instalaciones de riego presentados en este capítulo están inspirados literalmente en la publicación de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ***Manual de Riego para Agricultores. Riego localizado*** (Fernández Gómez *y col.*, 1999).

2.- EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

Uno de los aspectos fundamentales a avaluar en una instalación de riego localizado es el buen funcionamiento de todos y cada uno de los distintos equipos, componentes, piezas, emisores, etc. que forman parte de la instalación.

2.1.- Equipo de filtrado

El sistema de filtrado es el **componente principal del cabezal de riego** localizado. Está compuesto por una serie de **filtros** de distinto tipo, cuya función principal es **eliminar las partículas y elementos indeseables** que lleva el agua en suspensión, que puedan causar **obturaciones** en los emisores.

Es muy importante conocer la **capacidad de filtrado** o caudal que es capaz de filtrar cada uno de los diferentes filtros que componen el sistema, porque ésta capacidad **debe ser siempre superior al caudal máximo que circule o pueda llegar a circular por la instalación**. Se tendrá en cuenta que si los filtros están dispuestos en paralelo, la capacidad de filtrado será la suma de las capacidades de filtrado de cada uno de ellos. Por el contrario, si los filtros se disponen en serie, la capacidad de filtrado del conjunto será la del filtro del filtro de menor capacidad. Por este motivo, si el conjunto de filtros se va a disponer en serie, es muy importante que todos los filtros tengan la misma capacidad de filtrado.

Con el paso del agua a través de los distintos elementos que componen la estación de filtrado, como tuberías, codos, filtros, tés, válvulas, etc., se produce una pérdida de presión. La diferencia de presión que pueda existir entre dos puntos cualesquiera de dicha estación se conoce como **pérdidas de carga** en el equipo de filtrado.

Debido a las pérdidas de presión que se generan, otro dato importante a evaluar en el equipo de filtrado es la **presión existente a la entrada y a la salida de cada filtro**. Para medir la presión se dispondrán manómetros o bien tomas manométricas en los puntos de entrada y salida de los mismos. Su lectura en el momento de puesta en servicio de la instalación permitirá calcular la **pérdida de carga en el sistema de filtrado** o en **cada filtro de forma individualizada** (lectura antes del filtro – lectura después del filtro), lo que permitirá, en función del margen fijado, poder decidir el intervalo de tiempo máximo necesario para realizar las **limpiezas** manuales del sistema, o recomendar la instalación de filtros automáticos cuando se exijan limpiezas demasiado frecuentes.

Los filtros, a excepción de los **hidrociclones** (cuyo trabajo en la separación de partículas sólidas depende de la pérdida de carga generada), deben limpiarse cuando la diferencia de presión observada entre la entrada y la salida sea superior a 0,4-0,5 kg/cm^2 , con lo que se evita su mal funcionamiento y la posibilidad de que se produzcan obturaciones y gastos innecesarios de energía. Si para efectuar las limpiezas se fijara una pérdida de presión superior, la operación se dificultan enormemente. Es importante que el agricultor realice sistemáticamente un **autocontrol de la frecuencia de limpieza**.

Si se han instalado **filtros automáticos autolimpiantes** también será necesario controlar las pérdidas de carga para comprobar su correcto funcionamiento. En este caso no superar una pérdida de carga de 0,5 kg/cm^2 es fundamental para el buen funcionamiento del sistema.

Como consecuencia de la evaluación del equipo de filtrado puede deducirse si debe revisarse en profundidad **el estado del elemento filtrante**, arena, mallas o anillas, ya que de estos dependerá el buen funcionamiento del filtro y en gran medida del sistema de riego:

- Cuando revisemos los **filtros de arena**, ésta debe cumplir ciertas características (ver Capítulo 9) en cuanto al tamaño y forma del grano, resistencia a la fracturación y al ataque de ácidos para que pueda considerarse adecuada en su uso como elemento filtrante. **La capa de arena** dentro del filtro **debe ser uniforme, con un tamaño de grano igual al diámetro mínimo de paso de agua en el emisor**. El espesor de esta capa de arena debe ser como mínimo de 50 centímetros. Se vigilará la presencia de elementos contaminantes de la arena, lo que se produce cuando se filtran aguas turbias que contienen arcilla en suspensión. La arcilla es muy difícil, por no decir imposible, de eliminar totalmente por contralavado en este tipo de filtros. Cuando la cantidad de arcilla acumulada en el filtro es grande, se debe proceder al cambio de la arena, ya que de no hacerlo se reduciría la capacidad de filtrado, aumentarían las pérdidas de carga y además se crearían conductos preferenciales de paso de agua que reducirían la calidad del filtrado.

- Cuando revisemos los **filtros de malla**, tendremos en cuenta que el parámetro fundamental para evaluar **la capacidad de retención** de este tipo de filtro (ver Capítulo 9) es el tamaño de los orificios de la malla, que debe ser la décima parte del conducto de salida del emisor para evitar obturaciones. La capacidad de retención del filtro se mide mediante el **número de mesh** (número de orificios por cada pulgada lineal). No se recomiendan mallas de más de 200 mesh, ya que a mayor número de orificios por unidad de superficie menor será su diámetro y mayor el riesgo de colmatación del filtro.

- Cuando revisemos los **filtros de anillas** la calidad de filtrado está determinada por el radio de las anillas y su color (ver Capítulo 9). Además, el filtrado dependerá del número de ranuras de las anillas y de su tamaño. Será importante **comprobar que todas las anillas tienen las mismas características** en cuanto al color, tamaño, etc. y que la presión en el paquete de anillas, que las mantiene íntimamente unidas, es la correcta.

Es frecuente que en los elementos filtrantes de los filtros de mallas o anillas se produzcan precipitados calizos. En éste caso es imprescindible sumergirlos en una solución ácida durante un cierto tiempo (hasta que cese la emisión de burbujas), por ejemplo ácido nítrico rebajado el 30%.

A continuación en la **tabla 13.1** se resume la información necesaria para realizar una evaluación del equipo de filtrado de un sistema de riego localizado.

Tabla 13.1: Aspectos a considerar en la evaluación de una instalación de riego localizado

Primera evaluación	Evaluaciones periódicas
Número de filtros	Presión a entrada y salida del filtro
Localización de los filtros	Frecuencia de limpieza de los filtros
Capacidad de filtrado	Fecha y hora de la última limpieza
Limpieza manual o automática	Características y estado del elemento filtrante
Presión a entrada y salida del filtro	Estado general de los filtros
Características y estado del elemento filtrante	
Estado general de los filtros	

En todas las evaluaciones periódicas que se realicen es muy conveniente observar y tener en cuenta los datos técnicos tomados en la primera evaluación (deseable hacerla en el momento en que se pone en marcha por primera vez la instalación).

2.2.- Equipo de fertirrigación

La **fertirrigación** es un proceso por el que, a la dosis con que se programa, se **incorporan los nutrientes junto con el agua de riego,** que hace de vehículo conductor hasta las raíces de las plantas. El fertilizante debe de incorporarse a la dosis adecuada en todos y cada uno de los riegos, y durante la totalidad del tiempo de riego.

Será necesario realizar la evaluación completa del **equipo de fertirrigación** al recibir la obra, además de realizar comprobaciones del **equipo al menos dos veces por campaña** de riego, para asegurar la incorporación de nutrientes al cultivo a la dosis deseada.

Siempre, incluso cuando el equipo de fertirrigación está instalado en el cabezal de riego, es imprescindible colocar por delante de la inyección un filtro de malla o de anillas para **eliminar las impurezas del abono** y **evitar posibles obturaciones** en otros puntos de la red de riego.

Las comprobaciones a realizar serán:

- la **capacidad de inyección** del sistema,
- la **dosis de fertilizante inyectada** una vez que lo hemos graduado. Para evitar errores en el aforo la capacidad de inyección hay que comprobarla con la instalación en marcha e inyectando en la red a la presión de trabajo. Medir siempre el volumen de solución nutritiva inyectada en función del gasto realizado del depósito.
- una comprobación sencilla de la calidad del trabajo realizado es añadir ácido al agua de riego; a la salida de los goteros y en el punto más desfavorable de la instalación debe lograrse el **pH** deseado,
- determinar donde se encuentra el **punto más desfavorable** de la instalación para hacer las comprobaciones en el futuro,
- diagnosticar si la inyección que realizamos se adecua a las necesidades del cultivo y al establecido para el control de las obturaciones.

Asimismo se debe comprobar que los inyectores funcionan correctamente y el estado del **tanque fertilizante**, que deberá limpiarse cada 15 días con agua a presión. Debe advertirse al usuario que existen soluciones fertilizantes compatibles que podrían llegar a cristalizar y formar precipitados cuando bajan mucho las temperaturas nocturnas en primavera y otoño, por lo que deben emplearse en este caso soluciones más diluidas, además de extremar las medidas para mantener limpios los depósitos y las conducciones. Existen soluciones nutritivas de invierno y soluciones de verano.

En la primera evaluación debe comprobarse también si el **material en que está construido el tanque** es el apropiado (ver capítulos 9 y 17) para contener los abonos líquidos ácidos que se manejan, y especial atención merece el conjunto de piezas que constituyen la instala-

ción, comprobando que no existe ningún elemento metálico (válvulas, machones, codos, tes, tuberías, etc), en cuyo caso se debe obligar a su inmediata sustitución. El equipo de inyección debe estar fabricado en acero inoxidable, PE, PVC o polipropileno.

2.3.- Elementos de control, automatismos y piezas especiales.

La evaluación de este tipo de dispositivos consiste principalmente en tomar nota de la cantidad que existe de cada uno de ellos en la instalación y de su situación dentro del sistema de riego, así como del diámetro y demás características que sean necesarias para comprobar su correcto funcionamiento.

Los **elementos de control**: contadores, reguladores de presión, válvulas, limitadores, etc., permiten controlar el caudal a aplicar y el paso del agua por un determinado punto de la red. En ellos pueden producirse **fugas** cuya detección será imprescindible para que la aplicación del agua de riego sea lo más uniforme posible en todos los emisores. Para evitarlo será necesario **comprobar el estado de todas las juntas** del sistema de riego, sustituyéndolas cuando estas pierdan agua.

Los sistemas de riego localizado, por sus características de diseño y manejo, **se pueden programar de forma automática,** bien:

- **por tiempos**, si el riego finaliza tras un determinado periodo de tiempo, o
- por **volúmenes de agua aplicados**, en el caso de que el riego se suspenda de forma automática cuando se ha aplicado un volumen determinado de agua.

La evaluación del funcionamiento de los distintos automatismos es fundamental para conseguir una **dosis y frecuencia de riego adecuada**. También se observará **el estado de todas las conexiones eléctricas** con el fin de prevenir que desgastes, corrosiones, etc. Que puedan alterar el buen funcionamiento del sistema. En función de ello determinar el momento y frecuencia de su limpieza.

2.4.- Unidades de riego

Se denomina **unidad de riego** (**figura 13.1**) al conjunto de subunidades que se riegan de forma simultánea desde un mismo punto, que se sitúa normalmente al inicio de una tubería secundaria. Se llama **subunidad de riego** a la superficie regada por un conjunto de laterales que toman el agua de una tubería terciaria común.

Para **evaluar las unidades de riego** se tomará nota del número de unidades existentes en el conjunto de la instalación, la superficie de cada una de ellas y el número de subunidades que la componen. También es conveniente que se señale sobre el plano de la instalación de

riego (o en su defecto realizar un croquis), la disposición de las distintas unidades y subunidades de riego, y de los elementos a revisar en cada evaluación.

Por último, habrá que señalar si al comienzo de la unidad y/o subunidad **hay instalado algún contador** del volumen de agua aplicada, además del **tipo de control de riego** que se realiza, por tiempo o por volumen. Si existieran **reguladores de presión**, con ayuda de un manómetro asegurarnos de que trabajan correctamente.

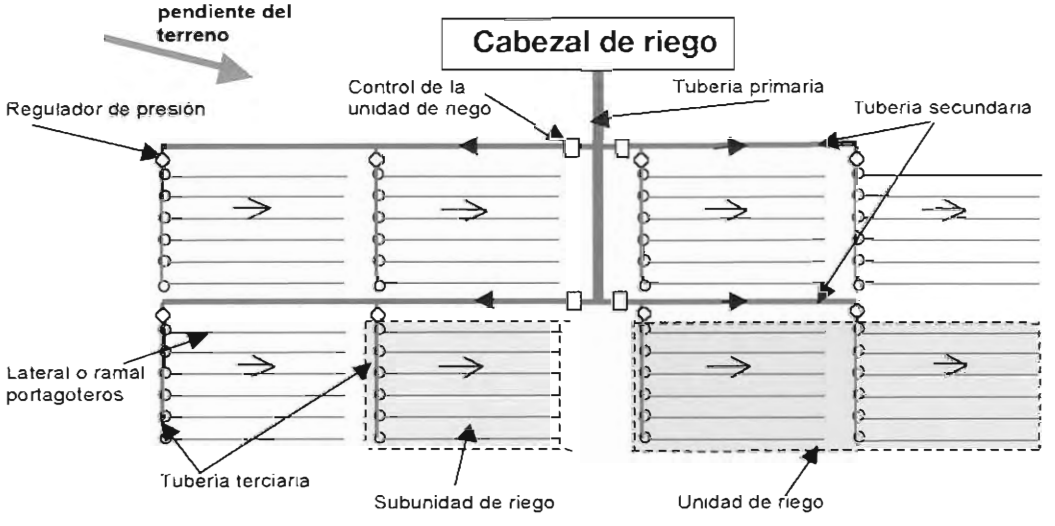


Figura 13.1: Representación esquemática de unidades y subunidades de riego que componen una instalación de riego localizado. Existen tuberías primarias, secundarias y terciarias, finalmente las tuberías laterales o ramales portagoteros hacen llegar el agua hasta los olivos. Cada unidad de riego estará comandado por un control de riego (válvula, regulador de presión, ventosa, toma para manómetro, etc.), y el entronque de cada subunidad de riego estará equipado al menos con una válvula y un regulador de presión.

2.5.- Tuberías laterales de distribución y emisores.

Los últimos componentes, y no por ello menos importantes, que se consideran en la evaluación de una instalación de riego localizado son (**figura 13.1**):

- las tuberías **terciarias**
- las tuberías **laterales** de distribución o ramales portagoteros y
- los emisores o **goteros**.

Cuando realicemos la evaluación del sistema, de los laterales se deben señalar en el plano de la instalación (o croquis en su defecto) los diámetros y su posición respecto a los olivos. En dicho plano también debe quedar reflejada la disposición de los emisores en cada lateral.

La evaluación de los **emisores** consistirá en la toma de datos acerca de:

- su **tipo** y **caudal nominal**,
- del **diámetro mínimo** de paso de agua por el emisor,
- de los distintos tratamientos que se realizan o está previsto realizar para prevenir las obturaciones.

Es importante prevenir al agricultor sobre el uso de emisores sin marca (ver capítulo 9) o goteros con un alto coeficiente de variación de fabricación, por lo que es conveniente controlar la existencia o no de este tipo de emisores, y en determinados casos proponer su sustitución por otros que se adapten a la norma de calidad exigida.

La detección de fugas y roturas tanto laterales como en emisores es fundamental. De igual forma la **detección** y **eliminación de obturaciones** en los emisores ayudará a conseguir una mayor uniformidad del agua aplicada y por tanto una **mayor homogeneidad** y **rendimiento del cultivo**.

3.- EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO

En un sistema de riego localizado es muy importante conocer si el agua de riego, los fertilizantes y demás productos fitosanitarios que se incorporen a ella se están aplicando de manera uniforme. Los problemas derivados de una baja uniformidad se traducen en **plantas con un exceso de agua y otras con déficit hídrico**. Además, y como consecuencia de lo anterior, habrá **un mal reparto de abono**, produciéndose un derroche de nutrientes por una parte y una insuficiencia de ellos por otra, lo que supondrá una **alteración del desarrollo del cultivo y por tanto de la producción.**

Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego localizado se **eligirá la unidad de riego más representativa de la instalación**. Una unidad representativa será aquella que:

- tenga un tamaño medio,
- con una pendiente del terreno que represente la media de la instalación,
- que esté situada a ser posible en una zona central y cuyos laterales tengan una longitud media.

Recomendamos que se evalúe **también la unidad que presente las condiciones más desfavorables**, es decir la unidad más alejada o cercana al cabezal de riego según la pendiente del terreno, con laterales o tuberías terciarias más largas y con pendientes mayores. En este caso se medirá el tiempo transcurrido entre la puesta en marcha de la instalación y el momento en el que el gotero situado en el punto más desfavorable está regando con el caudal requerido.

Una vez que se ha elegido la unidad de riego representativa de la instalación, se elegirá una de sus subunidades (también la más representativa) a la que se hará la evaluación. En primer lugar se determina el **coeficiente de uniformidad** de la **subunidad elegida** y posteriormente el de la **unidad de riego** (ver **figura 13.1**).

Si las **unidades de riego** son poco uniformes en superficie y/o forma, la evaluación se deberá hacer en todas y cada una de ellas y con el mismo criterio se deberá operar en las **subunidades** de riego.

En cualquier caso, cuando se termine la instalación del sistema de riego deberá medirse la uniformidad en todas las unidades.

3.1.- Uniformidad de la subunidad de riego

Para evaluar la uniformidad de la subunidad se utilizan dos coeficientes:

- el coeficiente de uniformidad de caudales (**CUC**),
- el coeficiente de uniformidad debido a presiones (**CUP**).

Conocidos estos valores se podrán detectar faltas de eficiencia y solucionar los problemas, lo que mejorará el funcionamiento de la instalación.

Para calcular el **coeficiente de uniformidad de caudales**, se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego (**figura 13.2**) representativa del conjunto de la instalación. En general, y tal como se muestra en la mencionada figura, se recomienda seleccionar **16 emisores** para calcular este coeficiente. Para ello se eligen los laterales más cercano y más lejano de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios. En cada lateral se seleccionan cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios.

Con una probeta o vaso graduado se medirá el **volumen de agua suministrado en un tiempo determinado por los emisores que se hayan seleccionado**. Este tiempo será igual para todos ellos, de tres a cinco minutos para goteros y un minuto para tuberías goteadoras. Con las medidas obtenidas se calculará **el caudal suministrado por el emisor**.



Fotografía 13.1: Para la evaluación de la uniformidad de la aplicación del riego localizado es necesario la medida del caudal que suministran un representativo número de goteros.

Una vez conocido el caudal en cada uno de los emisores seleccionados, se calculará el **coeficiente de uniformidad de caudales** siguiendo los pasos que se indican a continuación:

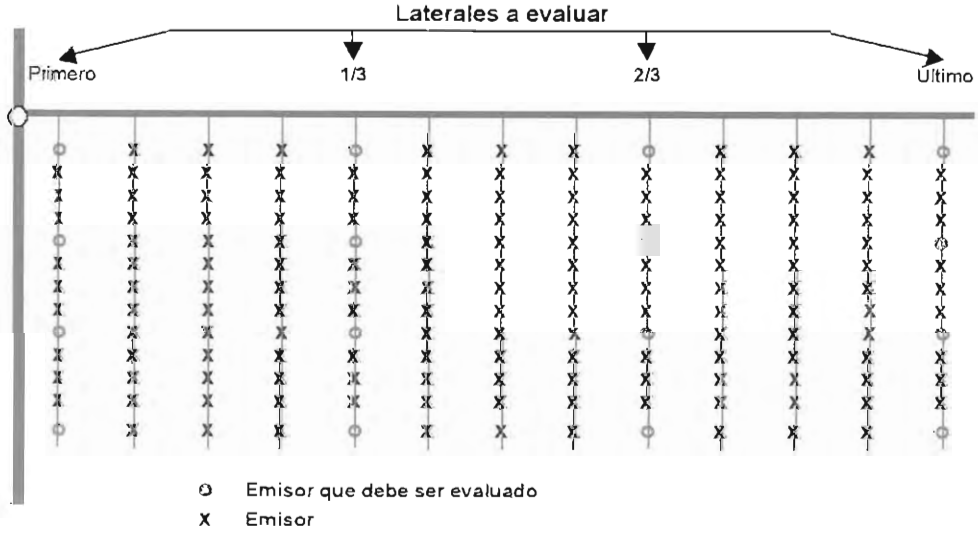


Figura 13.2: Esquema de los laterales y emisores que se deberían seleccionar para evaluar una subunidad de riego

1. se calcula la media de los caudales de la cuarta parte de los emisores que han resultado tener el caudal más bajo ($q_{25\%}$).

2. se calcula la media de los caudales medidos en todos los emisores (q_m).

3. una vez que se conoce $q_{25\%}$ y q_m se calcula el coeficiente de uniformidad de caudales (**CUC**) mediante la siguiente expresión:

$$CUC = \frac{100 \times q_{25\%}}{q_m}$$

Por ejemplo, si los caudales en litros/hora medidos en una subunidad de riego localizado de olivar en la que se utilizan goteros autocompensantes de 4 l/h de caudal nominal es la siguiente:

	Primer emisor	Emisor 1/3	Emisor 2/3	Último emisor
Primer lateral	4,2	4,1	4,0	4,1
Lateral 1/3	4,0	3,7	4,1	4,0
Lateral 2/3	3,8	3,9	3,9	3,9
Último lateral	4,1	4,0	3,8	4,0

Calcular el coeficiente de uniformidad de caudales.

El primer paso es calcular el caudal de los 4 goteros de menor caudal:

$$q_{25\%} = \frac{3,8 + 3,7 + 3,9 + 3,8}{4} = 3,8 \quad l/h$$

Después se calculará el caudal medio que aportan los 16 goteros medidos:

$$q_{25\%} = \frac{4,2 + 4 + 3,8 + 4,1 + 4,1 + 3,7 + 3,9 + 4 + 4 + 4,1 + 3,9 + 3,8 + 4,1 + 4 + 3,9 + 4}{16} = 3,89 \; l/h$$

Finalmente ya podemos calcular el coeficiente de uniformidad de caudales :

$$CUC = \frac{100 \times q_{25\%}}{q_m} = \frac{100 \times 3,8}{3,98} = 95,5\ \%$$

Para concluir el estudio de la uniformidad de la subunidad de riego, se calcula el **coeficiente de uniformidad debido a presiones** (**CUP**), que determina el grado de uniformidad de una subunidad de riego localizado en cuanto a las presiones medidas en los emisores. Para calcular este coeficiente se medirán las presiones en cada uno de los emisores seleccionados (**figura 13.2**) siempre que sus características o forma de inserción en el lateral lo permitan.



Fotografía 13.2: Medida de la presión del agua en la tubería a través de uno de los emisores utilizando un manómetro portatil.

El **coeficiente de uniformidad** debido a **presiones** se calcula igual que el de **caudales**, es decir, seleccionando un número determinado de emisores representativos de la subunidad de riego elegida, normalmente 16. Como en el caso anterior, se medirá **la presión** en cada uno de los emisores con la ayuda de un **manómetro manual** (ver **fotografía 13.2**). Con los datos de presión obtenidos:

1. se calcula la media de las presiones de la cuarta parte de los emisores que han resultado tener la **presión más baja** ($\mathbf{P_{25\%}}$).

2. se calcula la media de las presiones en todos los emisores ($\mathbf{P_m}$).

3. una vez que se conoce $\mathbf{P_{25\%}}$ y $\mathbf{P_m}$ se calcula el coeficiente de uniformidad mediante la siguiente fórmula:

$$CUP = 100 \times \left[\frac{p_{25\%}}{p_m} \right]^K$$

en esta fórmula **K** es el **coeficiente de descarga del gotero**. Se trata de una característica del emisor que debe ser facilitada por el fabricante (ver Capítulo 9). Dicho exponente de descarga es muy bajo (menor de 0,5) para los emisores cuyo caudal se ve muy afectado por las variaciones de presión, y más alto (mayor de 0,5) a medida que los cambios de presión influyen menos en el caudal que suministran los goteros.

El **coeficiente de uniformidad debido a presiones**, anteriormente definido no es necesario para el cálculo de la uniformidad de la instalación. Sin embargo, es conveniente conocerlo para detectar las posibles diferencias de presiones que se puedan producir a lo largo de la red de riego y así poder solucionarlas mediante la instalación de un **regulador de presión** en la entrada de agua a las subunidades de riego (arquillos en el argot popular). En todo caso, la determinación del **CUP** es imprescindible en la evaluación que debe realizarse a la recepción de la obra, para verificar que las dimensiones tanto de la red como de los elementos de regulación son las correctas.

Ejemplo: Calcular el coeficiente de uniformidad de presiones en una subunidad de riego en la que siguiendo el esquema de evaluación mostrado en la **figura 13.2** las medidas de presiones (kg/cm^2) efectuadas en 16 goteros han sido las siguientes:

	Primer emisor	Emisor 1/3	Emisor 2/3	Último emisor
Primer lateral	1,6	1,5	1,4	1,6
Lateral 1/3	1,4	**1,2**	1,5	1,5
Lateral 2/3	**1,3**	**1,1**	1,6	1,6
Último lateral	1,5	1,4	**1,3**	1,7

Conocemos que el **coeficiente de descarga** (**k**) de los emisores empleados en la instalación es 0,65.

Para calcular el coeficiente de uniformidad de presiones de la subunidad los cálculos a realizar son los siguientes:

$$p_{25\%} = \frac{1,3 + 1,2 + 1,1 + 1,3}{4} = 1,22\ kg/cm^2$$

$$P_m = \frac{1,6+1,4+1,3+1,5+1,5+1,2+1,1+1,4+1,4+1,5+1,6+1,3+1,6+1,5+1,6+1,7}{16} = 1,45\ kg/cm^2$$

$$CUP = 100 \times \left[\frac{P_{25\%}}{P_m}\right]^K = 100 \times \left[\frac{1,22}{1,45}\right]^{0,65} = 89\%$$

3.2.- Uniformidad de instalación

Una vez conocida la **uniformidad de caudales** de una subunidad de riego localizado (***CUC*** *subunidad*), se podrá calcular el **coeficiente de uniformidad de la unidad** (CU_{unidad}), sabiendo que:

$$CUC_{unidad} = fc \times CUC_{subunidad}$$

donde ***fc*** es un **factor de corrección** que depende de la diferencia entre las presiones de las subunidades que forman parte de la unidad que se está evaluando.

Para calcular dicho factor de corrección habrá que medir la **presión más desfavorable en cada tubería terciaria de la unidad**. Para realizar estas medidas deberá tenerse en cuenta si la tubería terciaria está situada a favor o en contra de la pendiente:

- Si la tubería terciaria está a **nivel o en contra de la pendiente**, la presión más desfavorable se medirá al final de la tubería, donde comience el último lateral.

- Si la tubería terciaria está colocada a **favor de la pendiente**, la presión más desfavorable se podrá medir aproximadamente en los 2/3 de su longitud. La primera vez que se realice esta prueba es conveniente medir varias veces al final de la tubería terciaria por si acaso el punto situado a los 2/3 de su longitud no fuese el de menor presión. Si resultara otro punto distinto a este, se marcaría en la tubería, se tomaría nota en la ficha de evaluación y este sería el punto de referencia para todas las evaluaciones posteriores.

Una vez medida la presión más desfavorable de cada tubería terciaria de la unidad de riego se calcula $\mathbf{P_{25\%}}$ y $\mathbf{P_m}$, siendo:

- $\mathbf{P_{25\%}}$ la media de las presiones medidas en el 25% de las tuberías terciarias que mostraban las presiones más bajas.

- $\mathbf{P_m}$ la media de todas las presiones medidas en las tuberías terciarias de la unidad.

Con estos valores, ***fc*** se calcula como:

$$fc = 100 \times \left[\frac{P_{25\%}}{P_m} \right]^K$$

teniendo en cuenta que ***k*** es el **coeficiente de descarga de los goteros**, el mismo que se ha utilizado para calcular la uniformidad debida a presiones en la subunidad.

Finalmente, la **uniformidad de la instalación** deberá ser igual a la uniformidad calculada para la unidad elegida como representativa de la instalación. Es preciso recordar que para que esto se pueda considerar válido, las subunidades y unidades de riego deben ser relativamente homogéneas en cuanto a superficie y forma. No debe caerse, por tanto, en la rutina de hacer la evaluación en una subunidad cualquiera y dar por buena o mala la uniformidad de toda la instalación.

Dependiendo del valor del coeficiente de uniformidad obtenido, la **calificación de la instalación** será la que se muestra en la **tabla 13.2**.

Tabla 13.2: Clasificación de las instalaciones de riego localizado atendiendo al valor del coeficiente de uniformidad calculado.

Valor del coeficiente de uniformidad	Calificación de la instalación
Mayor de 94%	Excelente
De 86-94%º	Buena
De 80-86%	Aceptable
De 70-80%	Pobre
Menor de 70%	Inaceptable

EJEMPLO: Se quiere calcular el coeficiente de uniformidad de una instalación para riego localizado de olivar. Para ello se ha calculado previamente el coeficiente de uniformidad de caudales de una subunidad de riego que ha resultado ser del 90,5 % . Además el fabricante nos ha informado que el coeficiente de descarga de los emisores instalados es k = 0,65. Se han medido las presiones más desfavorables (kg/cm^2) de las cinco subunidades de riego que tiene la instalación:

Subunidadde riego	Presión(kg/cm^2)
1	1,1
2	1,0
3	0,95
4	0,9
5	1,2

Como existen cinco medidas de presión, la cuarta parte es aproximadamente igual a 1, por lo que para determinar la presión media de las tuberías terciarias que representan la cuarta parte de más baja presión se tomará solamente una de ellas, la que tiene menor presión, es decir

$$P_{25\%} = 0{,}9 \text{ kg/cm}^2$$

Media de todas las presiones medidas en tuberías terciarias:

$$Pm = \frac{1{,}1 + 1{,}0 + 0{,}95 + 0{,}9 + 1{,}2}{5} = 1{,}02 \; kg \cdot cm^2$$

Para calcular el **coeficiente de uniformidad de una instalación** necesitamos calcular antes el factor de corrección **fc**. Los cálculos a realizar son los siguientes:

$$fc = 100 \times \left[\frac{P_{25\%}}{P_m}\right]^K = 100 \times \left[\frac{0{,}9}{1{,}02}\right]^{0{,}65} = 0{,}92$$

Coeficiente de uniformidad de la unidad de riego =
= fc x Coeficiente de uniformidad de caudales de los laterales (subunidad) =
= 0,92 x 90,5 = 83,2 %

Luego, teniendo en cuenta la **tabla 13.2**, la instalación evaluada resulta ser **aceptable**.

Además de las medidas de presión que se realizan para calcular el coeficiente de uniformidad de la instalación, será conveniente **medir las presiones a la entrada de cada unidad de riego**, por ejemplo en el gotero más cercano a la entrada. Si la diferencia de presiones entre dos unidades cualesquiera con respecto a la media entre ambas es mayor del 15%, se considera que dichas unidades riegan muy desigualmente y por lo tanto será necesario:

1.- Instalar **reguladores de presión en el inicio de cada unidad de riego**; o bien,

2.- Medir el caudal de al menos 16 emisores en cada unidad de riego, distribuidos de manera homogénea dentro de la unidad y calcular la media para ver el volumen que se está aplicando en cada una de ellas. Si las unidades que se estén valorando tienen el mismo cultivo y éste se encuentra en la misma fase de desarrollo, las necesidades de agua serán las mismas en todas ellas. Si los caudales medidos son diferentes, habría que emplear tiempos de riego proporcionales a estos para conseguir el mismo volumen de agua en las unidades evaluadas.

La **falta de uniformidad en una instalación de riego localizado** se deberá principalmente a:

a) **Variaciones en el caudal de los emisores**. Estas variaciones pueden ser causadas por distintos motivos como:

- la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación del emisor,
- defectos a la hora del montaje de los emisores,
- obturaciones, etc.

Un indicador de la calidad de los emisores y de su estado de conservación es la diferencia entre el coeficiente de uniformidad de caudales y el de presiones dentro de la mismo subunidad.

b) **Diferencias de presión dentro de la** subunidad, debidas a pérdidas de presión a lo largo de la tubería terciaria y de los laterales, y también a factores topográficos (diferencias de cota entre diferentes puntos de la subunidad). El coeficiente de uniformidad debido a presiones es un buen indicador de las diferencias de presión en la subunidad.

c) **Diferencias de presión entre diferentes** subunidades. Estas diferencias pueden deberse a:

- la ausencia de reguladores de presión a la entrada de cada subunidad, o
- a su mal funcionamiento y/o mal manejo
- a un mal cálculo de la red secundaria.

La importancia de estas diferencias de presión se estima mediante la diferencia entre el coeficiente de uniformidad de la unidad y el coeficiente de uniformidad de la subunidad.

d) **Diferencias de presión entre diferentes unidades**, debidas a la ausencia de reguladores de presión a la entrada de cada unidad de riego, al mal funcionamiento y/o mal manejo de los mismos en caso de haberlos, o al mal diseño hidráulico de la red primaria o de la secundaria.

4.- EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO

Una vez analizados los componentes de la instalación y la uniformidad del riego, para completar la evaluación de una instalación de riego localizado será necesario comprobar si el manejo que se está haciendo del riego es el correcto, y de acuerdo con los condicionantes con

los que fue diseñada la instalación. Para ello sería necesario **conocer:**

- la **frecuencia** de los riegos
- la **duración** de los riegos,
- el método utilizado para **controlar la cantidad de agua aplicada**, y
- los perfiles humedecidos en cada riego (medidas y formas del bulbo húmedo).

La persona encargada de hacer la evaluación estimará las necesidades de agua netas y brutas en los días anteriores a la evaluación y **comprobará si la cantidad de agua aplicada en los últimos riegos coincide o no con las necesidades brutas.**

5.- RESUMEN

La evaluación de una instalación de riego localizado tiene por objeto comprobar si se aplica al cultivo el agua que éste requiere para su correcto desarrollo y producción. Además, se valoran las **características de diseño**, **manejo** y **mantenimiento** de la instalación, para lo cual se evalúan los distintos componentes que forman parte de la misma. Es imprescindible realizar una evaluación completa de toda la instalación en el momento de su recepción, y evaluaciones periódicas para verificar el correcto funcionamiento.

La **evaluación de los componentes de la instalación** consistirá en el análisis del estado general y funcionamiento del equipo de filtrado, del de fertirrigación, de los elementos de control, automatismos y piezas especiales, de las unidades de riego y por último de los laterales y emisores.

El coeficiente de uniformidad de la unidad, CU_{unidad} es el indicador que se utiliza para evaluar la uniformidad del riego. Cuando las unidades son homogéneas en forma y dimensiones, se considera que la uniformidad de la instalación es la misma que la de la unidad evaluada. Un riego uniforme conlleva un correcto reparto del agua de riego y de los fertilizantes y productos fitosanitarios que se apliquen con ella, lo que influirá en el desarrollo del cultivo y por tanto en la producción.

La evaluación de una instalación de riego localizado se completa con el **estudio del manejo del riego**, que indicará si la cantidad de agua aplicada coincide o no con las necesidades de agua del cultivo, o al menos con el programa de riego realizado por el técnico que dirige la explotación o la comunidad de regantes.

Referencias bibliográficas

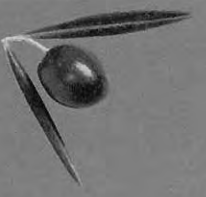
Fernández Gómez, R., Yruela Morillo, M.C., Milla Milla, M., García Bernal, J.P., Avila Alabarces, R., Gavilán Zafra, P., Oyonarte Gutiérrez, N.A., 1999. Manual de Riego para Agricultores. Riego localizado (Módulo 4). Edita Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.



CAPÍTULO 14

MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

Miguel Pastor
Nicolás Serrano
Victorino Vega



1.- INTRODUCCIÓN.

2 .- EL PROBLEMA DE LAS OBTURACIONES

3.- TIPOS DE OBTURACIONES

4.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES DE TIPO FÍSICO

5.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES QUÍMICAS
- 5.1.- Precipitados calizos
- 5.2.- Precipitados de hierro
- 5.3.- Precipitados de manganeso
- 5.4.- Problemática de las aguas con ácido sulfhídrico
- 5.5.- Precipitados procedentes de fertilizantes

6.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES BIOLÓGICAS

7. - MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Referencias Bibliográficas



1.- INTRODUCCIÓN.

Una instalación de riego localizado debe funcionar correctamente a lo largo del tiempo. El mantenimiento de una instalación se hace necesario para que:

- la **duración de los componentes** que forman parte de ella sea **máxima**
- la **uniformidad** en la distribución y por consiguiente la **eficiencia del agua aplicada** no disminuyan con el paso del tiempo.

Un buen mantenimiento implicará la **puesta a punto** de todos los componentes de la instalación antes del inicio de la temporada de riego, así como la **revisión y evaluación** de los mismos durante la campaña y cuando ésta finalice.

Uno de los principales problemas del riego localizado es la **obturación** (total o parcial) de los **goteros.** Esta variación de caudales producirá una **disminución de la uniformidad** y de la **eficiencia de riego**, que afectará de forma negativa a un desarrollo homogéneo de todo el cultivo y con ello a su producción. Por esta razón, además de un buen mantenimiento del sistema de riego, es muy importante **prevenir las obturaciones de los emisores** y de los demás elementos con secciones de paso del agua muy pequeñas, como filtros de malla y de anillas, ya que existe el peligro de que se produzcan depósitos de partículas orgánicas, minerales, sales, etc., que limitan o impiden el paso del agua.

Un estudio de la Universidad de California (citado por Madrid *y col.*, 1991) muestra la diversidad de causas de obturación de los emisores y su importancia relativa (**figura 14.1**). Llama la atención el alto porcentaje de casos de **obturaciones por causas biológicas**, que parecen deberse a las escasas medidas de protección, que en el manejo de las instalaciones se toman contra agentes biológicos obstructivos.

2 .- EL PROBLEMA DE LAS OBTURACIONES

La **obturación** de los elementos de un sistema de riego localizado es el principal y más delicado problema que se presenta en este tipo de instalaciones, ya que su solución no es nada fácil. Cuando se producen obturaciones, el grado de obturación no afectará de forma homogénea a todos los emisores de la instalación, por lo que el **caudal de los emisores disminuirá** en función del grado de obturación de los mismos, por lo que las necesidades de agua del cultivo pueden quedar en algunos casos sin cubrir.

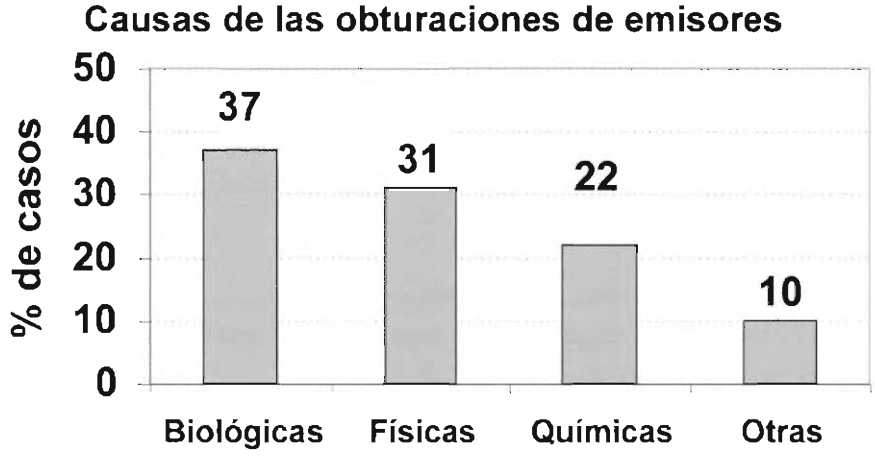


Figura 14.1: Causas de obturación de los emisores y porcentajes relativos de obturación. Fuente: citado por Madrid *y col.* (1991)

El mejor método de lucha contra la obturación de los componentes de una instalación es la **PREVENCIÓN**, ya que normalmente no se detecta el problema hasta que el número de goteros obturados es ya bastante elevado. En estos casos una limpieza de emisores y conducciones puede resultar muy cara y hasta poco eficaz en casos extremos, y a veces el daño en el cultivo puede ser ya irreversible.

La **sensibilidad de los emisores** a las obturaciones es un dato muy a tener en cuenta para su selección y para la prevención de futuras obturaciones. El **riesgo de obstrucción de un emisor** depende, entre otros, de factores como:

- el diámetro mínimo del paso de agua dentro del gotero,
- la velocidad de circulación del agua en la instalación,
- el diseño del propio emisor (los de largo recorrido son mucho más sensibles).

Además, la **aplicación de fertilizantes con el agua de riego también aumenta el riesgo de obturaciones**, por ello, además de una adecuada programación y manejo de las soluciones nutritivas (ver capítulo 17) el **equipo de filtrado** debe estar **bien dimensionado** para impedir el paso de partículas cuyo diámetro sea tal que pueda provocar la obturación (ver **tabla 14.1**), y su elección se debe hacer en función de la calidad del agua de riego. Es necesario que exista al menos un filtro de malla o anillas de adecuada dimensión y calidad de filtrado entre la salida del equipo de fertirriego y la conducción general.

Cuando un emisor se obstruye muchas veces es mejor cambiarlo por uno nuevo antes que intentar desatascarlo con la ayuda de una alambre o algún objeto similar, ya que el emisor puede quedar seriamente dañado. Si es autocompensante, nunca se debe introducir un alambre por el agujero de salida del agua, porque se corre un elevado riesgo de perforar la membrana o dispositivo que produce el efecto autocompensante, lo que dejaría inservible definitivamente el emisor.

Los **emisores de bajo caudal** (los más empleados actualmente en el cultivo del olivar), es decir aquellos con un caudal menor de 16 litros/hora, presentan **mayor riesgo de obstrucción** por tener diámetros de paso del agua más pequeños. Según el diámetro mínimo de paso del agua, la sensibilidad a obturaciones de los emisores es la que aparece en la tabla siguiente:

Diámetro de paso mínimo del gotero (milímetros)	Sensibilidad del gotero a las obturaciones
Menor de 0.7	Alta
Entre 0.7 y 1.5	Media
Mayor de 1.5	Baja

3.- TIPOS DE OBTURACIONES

Según el tipo de material o elemento que provoque las obturaciones, éstas pueden clasificarse (**tabla 14.1**) en:

- **Físicas**: producidas bien por **materias minerales** (arena, limos, arcillas) que pasan los filtros o trozos de plástico o materiales de diversa procedencia que se introducen en el sistema a la hora de realizar la instalación o en las reparaciones.

Tabla 14.1: Riesgo potencial de obturación de goteros por el agua de riego en función de sus parámetros químicos evaluados en un análisis de agua.

TIPO DE PROBLEMA	UNIDADES	Grado de restricción		
		Ninguno	Ligero o moderado	Grande
FÍSICO				
Sólidos en suspensión	mg / l	Menor de 50	50 - 100	Mayor de 100
QUÍMICO				
pH		Menor de 7,0	7,0 - 8,0	Mayor de 8,0
Sólidos disueltos	mg / l	Menor de 500	500 - 2.000	Mayor de 2.000
Manganeso (Mn)	mg / l	Menor de 0,1	0,1 - 1,5	Mayor de 1,5
Hierro (Fe)	mg / l	Menor de 0,1	0,1 - 1,5	Mayor de 1,5
Acido sulfhídrico (SH2)	mg / l	Menor de 0,5	0,5 - 2	Mayor de 2,0
Bicarbonatos	meq/l	Menor de 2,5	2,5 – 8,5 (*)	Mayor de 8,5 (*)
BIOLÓGICO				
Población bacteriana	colonias/ml	Menor de 10.000	10.000-50.000	Mayor de 50.000

(*) Es necesario acidificar el agua de riego hasta bajar pH por debajo de 7,0
Fuente: Bucks y Nakayama (1980), citados por Pizarro (1990).

- **Químicas**: provocadas por la **precipitación en el interior de la instalación de sustancias que traspasan los filtros disueltas en el agua de riego**, o de sustancias fertilizantes que se incorporan a ella.
- **Biológicas**: debidas a la proliferación de **microorganismos**, como algas, raíces de malas hierbas, insectos, microorganismos, etc., que se encuentran en el agua de riego o que acceden desde el exterior y que se desarrollan dentro de la instalación hasta llegar a ocasionar problemas de diversa gravedad. Este proceso es enormemente complejo debido a la multitud de factores que intervienen:

  - los propios microorganismos,
  - la composición química del agua de riego (pH, contenido en oxígeno, hierro, manganeso, ac. sulfhídrico, etc.)
  - temperatura
  - niveles de luminosidad (transparencia de materiales), etc.

4.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES DE TIPO FÍSICO

Las obturaciones provocadas por **partículas gruesas** se pueden evitar con la instalación en el cabezal de riego localizado de un equipo de filtrado adecuado a:

- **el tipo de agua**
- **la cantidad de sustancias en suspensión**

Si el agua lleva gran cantidad de **sólidos en suspensión** será necesario instalar también un equipo de decantación previa **(prefiltrado)** para eliminar parte de los contaminantes antes de su paso por los filtros.

Las obturaciones también pueden producirse por **partículas muy finas** que atraviesan los filtros y que con el tiempo se van depositando en las conducciones y en los conductos de paso de los emisores, formando **por agregación** partículas de mayor tamaño.

Para prevenirlas se debe tener especial cuidado en el diseño de las balsas de decantación y del filtrado (el **diámetro de paso sea el adecuado** de acuerdo con la dimensión del paso de agua del gotero), y de acuerdo con el origen y la calidad del agua. En la entrada del agua a la balsa se colocarán unos coladores para eliminar materias sólidas extrañas. En caso de bombear el agua desde una balsa de decantación o de almacenamiento (lo que puede ocasionar problemas aún mayores), la toma flotante de agua debe estar ubicada en un punto que evite la introducción de partículas en el sistema. Generalmente al punto de aspiración se ata a una boya para que esté a cierta profundidad (1,5 – 2,0 m) de la superficie, evitando que se aspiren los fondos. La presencia de arena en el agua obliga a instalar hidrociclones, cuya misión es separar las partículas de arena. Éstos siempre se instalan a la entrada del agua en el cabezal de riego (ver capítulo 9).

Si las obturaciones se producen por **entrada de partículas sólidas desde el exterior a través de los goteros**, la mejor prevención es evitar el contacto de la salida de los emisores con el suelo, instalándolos en las tuberías con los orificios de salida hacia arriba o colocando las tuberías y los emisores a una determinada altura del suelo, y finalmente instalando ventosas en la instalación de riego para evitar la succión al producirse las paradas de la instalación.

Un posible tratamiento de este tipo de obturaciones es la limpieza enérgica de la instalación con ácido, siempre que el diseño y las características del sistema de riego lo permitan. Además, deberá realizarse un mantenimiento periódico de limpieza en el sistema de filtrado para impedir el paso de partículas sólidas a la red de riego.

Al finalizar la campaña de riego o cuando se proceda a hacer reparaciones de un sistema de riego, antes de ponerlo en marcha de nuevo se deben abrir los finales de las líneas, para permitir la salida de todas las partículas que se acumularon en las tuberías. Esta operación de lavado debe repetirse con cierta frecuencia, dependiendo de la limpieza del agua utilizada para el riego.

En las instalaciones que cuentan con **emisores enterrados** se pude prevenir la hipotética entrada de raíces dentro de los goteros con la aplicación de herbicidas inyectados en la red de riego (trifluralina por ejemplo) empleando el propio equipo de fertirrigación. La aplicación de esta técnica debe ser controlada por personal especializado para determinar el tipo de herbicida, la dosis del mismo y las condiciones y método de aplicación.

También existen en el mercado emisores impregnados de herbicida que van liberando la sustancia activa a lo largo del tiempo (Rootguard®). En este mismo tipo de instalaciones, uno de los problemas más importantes es la succión de tierra y suciedad por los emisores al dejar de regar. Para que esto no ocurra, la instalación debe dotarse de un número de ventosas suficiente como para permitir una rápida entrada de aire en el momento en que se deja de regar.

5.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES QUÍMICAS

Este tipo de obturaciones son producidas por la formación de precipitados de origen químico en las tuberías y/o por evaporación del agua en los propios goteros. El riesgo es mayor cuando se riega con aguas alcalinas (pH muy alto). Estos precipitados pueden ser de diferente origen:

5.1.- Precipitados calizos

Los **precipitados de carbonato cálcico** se producen si se riega con aguas calcáreas y estas llevan en disolución el ión bicarbonato (HCO_3^-) en una concentración mayor que 2,13 meq/l (= 130 mg/l) y el pH es mayor de 7,5.

Nunca debe esperarse a que se formen precipitados calizos en los goteros que interrumpan o lleguen a impedir totalmente el paso del agua, ya que en este caso el problema es difícil de resolver. Siempre es preferible **prevenir** la formación de precipitados.



Fotografía 14.1: En los goteros los precipitados de carbonato cálcico se producen si se riega con aguas calcáreas y estas llevan en disolución el ión bicarbonato y el pH es mayor de 7,5. Nunca debe esperarse a que se formen precipitados calizos en los goteros que interrumpan o lleguen a impedir totalmente el paso del agua, ya que en este caso el problema es difícil de resolver. El fertirriego permanente con soluciones ácidas previene este tipo de problemas. En casos extremos debe recurrirse a tratamientos enérgicos con ácido nítrico.

Nosotros preferimos la aplicación de **tratamientos preventivos para evitar la aparición de este tipo de precipitados**. Consiste en la **adición de ácido** al agua de riego en la **dosis adecuada para que la precipitación de las sales no tenga lugar**. La dosis de ácido que se aplique dependerá de las **características del agua**, por lo que habrá que realizar periódicamente un análisis químico en laboratorio antes de proponer una estrategia de acidificación. Pueden emplearse ácidos nítrico, clorhídrico, sulfúrico o fosfórico. La dosis de ácido variará en cada caso. A continuación mostramos el procedimiento a seguir para el cálculo de la cantidad de ácido a emplear para **prevenir las obturaciones** de los emisores.

Una vez que el laboratorio nos ha suministrado el resultado del análisis de agua:

1. anotar las concentraciones (**meq/l**) de bicarbonatos y calcio, así como el pH de nuestra agua de riego.

2. ver si la concentración de **calcio** de nuestra agua, en función de su **pH**, puede producir precipitados, y por consiguiente llegar a producir obturaciones.

En la tabla siguiente (Fuentes Yagüe, 1991) se indican las concentraciones de calcio que se mantendrían disueltas en el agua de riego en función de su pH:

pH	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8
Ca (meq / l)	36,8	25,2	17,6	12,7	9,3	7,0	5,4	4,2	3,3	2,6

En primer lugar habría que ver si existe riesgo de que nuestra agua produzca obturaciones químicas, y si se confirmase dicho riesgo habría que **adicionar ácido para bajar el pH del agua de riego** hasta un valor que mantenga todo el calcio disuelto en el agua.

Por **ejemplo**, si nos dan un agua con pH = 7,6 y una concentración en Ca = 2,4 meq/l, en este caso no habría que acidificar el agua, ya que a ese pH se mantendría en disolución 3,3 meq/l (ver tabla anterior), mayor que el contenido de nuestra agua. Sin embargo, esto no ocurre siempre, y es frecuente tener que acidificar el agua para evitar obturaciones.

Hagamos otro **ejemplo**. Si el **análisis de agua** nos informa que la concentración de **bicarbonato** es **alta** (5,95 meq/l) , así como el contenido en calcio (7,06 meq/l), y que su pH es 7,6 . Calcular la cantidad de **ácido nítrico** que habría que aportar al agua de riego para prevenir las obturaciones.

Teniendo en cuenta los datos mostrados en la tabla anterior vemos que si no se acidificara el agua para bajar el pH precipitarían:

$$7{,}06 - 3{,}30 = 3{,}76 \text{ meq/l}$$

que producirían obturaciones en los goteros. Por esta razón hay que procurar hacer bajar el pH del agua hasta un valor de 6,8 por razones de seguridad.

La determinación a nivel práctico de la dosis de **ácido nítrico** comercial necesaria para bajar el pH del agua de riego hasta un valor de 6,8 puede determinarse realizando en laboratorio la **curva de neutralización** de nuestra agua (en este caso con ácido nítrico comercial), lo que se muestra en la **figura 14.2.**

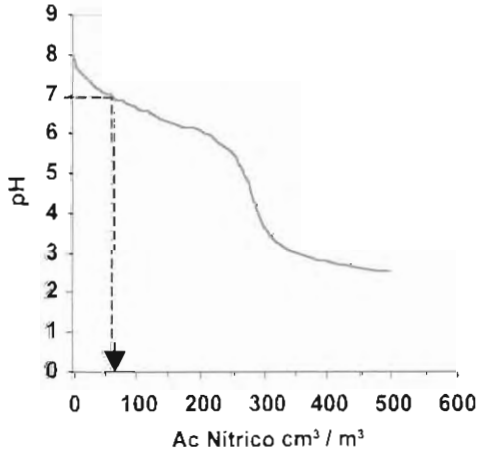


Figura 14.2: Aportaciones en cm^3/cm^3 de ácido nítrico comercial (56%) necesarias para bajar el pH de un metro cúbico del agua de riego del ejemplo.

Interpolando en dicha figura resultan unas necesidades de 65 cm^3 de **ácido nítrico** comercial (56 % en peso de HNO_3) por cada metro cúbico de agua tratada.

Si pretendemos acidificar el agua del ejemplo anterior para el prevenir obturaciones en una finca en la que se riegan 5.000 olivos en cada sector, y sabemos que se han instalado 4 goteros de 4 l/h de caudal por olivo, la cantidad de ácido nítrico a aplicar por cada hora de riego, en este caso se calcularía del modo siguiente:

Caudal horario = 5.000 olivos x 4 got/olivo x 4 l/got . hora / 1.000 l/m^3 = 80 m^3/h
Cantidad de ácido a aportar = 80 m^3/h x 65 cm^3/m^3 = 5.200 cm^3/h
< > 5,2 l /hora en cada sector.

Las obstrucciones por precipitados de carbonato cálcico se pueden prevenir también con el uso de **fertilizantes ácidos**, de tal manera que se obtenga un pH del agua de riego algo inferior a 7 a la salida de goteros, lo que aumenta la solubilidad de las sales de calcio, evitando los precipitados, y por tanto las obturaciones. Una forma práctica de verificar el pH del agua de riego con el fertilizante incluido es utilizar tiras de papel tornasol o enviar una muestra del agua al laboratorio. El uso de **pH-metros** de bolsillo puede no ser la solución ideal, ya que pueden ser muy poco fiables si no se calibran con una solución patrón antes de su utilización, lo que casi nadie hace cuando los utiliza.

Frecuentemente cuando queremos intervenir **ya se han formado precipitados de carbonato de calcio o de magnesio en un apreciable número de goteros** o en estos se ha modificado ya su caudal nominal. Si quisiéramos proceder a la disolución de dichos precipitados para recuperar el buen funcionamiento de los emisores, no hay más remedio que hacer un **tratamiento enérgico** a base de ácidos. En este caso hay que realizar un tratamiento de choque que durante un cierto tiempo haga bajar el pH del agua hasta valores próximos a 3.

El **ácido nítrico** diluido al 50% es el más utilizado para este fin por los agricultores. Este ácido es sumamente peligroso por su alta corrosividad y puede provocar quemaduras graves en contacto con la piel (características manchas amarillas en los dedos). Es conveniente diluir el ácido antes de inyectarlo a la red de riego. **Echar siempre el ácido sobre el agua**, porque la mezcla libera calor e incluso puede ser explosiva y saltar a los ojos del operario (reiteramos de nuevo la obligación de utilizar guantes y gafas de protección). En el capítulo 17 damos normas sobre la utilización de sustancias peligrosas para el aplicador.

El tratamiento con **ácido nítrico** se realizará de la siguiente forma:

1. Se aplica agua de riego hasta que en la instalación lleguemos a la presión normal de trabajo.
2. El operario que va a realizar la aplicación del ácido lo hará una vez se haya puesto las oportunas protecciones, gafas, guantes y ropa adecuada.

3. Se inyecta la solución de ácido durante 30 minutos, asegurándonos que este ha llegado a todos los goteros de la instalación, y en especial a los puntos más desfavorables, en los que la presión puede estar al límite del campo de trabajo de los goteros.
4. Después debe dejarse parada la instalación durante un cierto tiempo para que el ácido pueda actuar, disolviendo los precipitados.
5. Finalmente se procede al lavado del sistema regando a la presión normal de trabajo, abriendo a continuación los finales de las tuberías de goteo para dejar salir por ellos la suciedad acumulada.

Si no se dispone de demasiados medios para determinar la curva de neutralización del agua, lo que de un modo preciso nos permitiría conocer **la concentración de ácido nítrico a aplicar**, se recomienda hacer una prueba empleando tiras de papel de tornasol. A un cubo con un volumen de agua conocido (15-20 litros) se le va agregando cantidades medidas de ácido nítrico, hasta que lleguemos a un pH de 3. Luego se calcula la cantidad de ácido necesaria para el caudal de agua que circula por las tuberías a la salida del filtro.

Pero lo mejor, como ya se dijo anteriormente, es hacer en laboratorio la curva de neutralización de nuestra agua de riego, de la que obtendremos la cantidad exacta de ácido a añadir para bajar el pH hasta un valor igual a 3. Para aclarar este concepto, vamos a plantear otro **ejemplo**.

Utilizando los datos del agua del ejemplo anterior (**figura 14.2**) y si tenemos en cuenta que se necesitan 350 cm^3 de ácido nítrico comercial del 54% para bajar hasta 3,0 el pH de un metro cúbico de agua para el riego, y que la instalación riega 5.000 olivos por sector con una dotación de 16 litros/olivo y hora.¿Qué caudal de ácido habría que inyectar?

Caudal de agua en 30 minutos = 5.000 olivos x 16 l/h x 0,5 h = 40 m^3

Ácido a aportar = 350 cm^3/m^3 x 40 m^3 = 14 litros de ácido nítrico en media hora.

Recordemos que al rebajar el ácido al 50% debemos inyectar en este caso 28 litros de ácido rebajado durante 30 minutos.

Cuando no se dispone de los datos que proporciona la curva de neutralización de nuestra agua, como **dosis orientativa** se recomienda **un cuarto de litro por metro cúbico** de agua de riego en caso de tratamientos de limpieza poco enérgicos, y unos **2 - 3 litros por metro cúbico** para tratamientos de **limpieza muy enérgicos**, en casos de extrema gravedad. En estos casos debe mantenerse esta solución ácida durante varias horas dentro del sistema, lavando después con agua abundante para evitar posibles daños en elementos metálicos.

En algunos casos se emplea el **ácido fosfórico**. Se usa en concentraciones de 250-500 cm^3/m^3 de agua. No es conveniente optar por esta solución cuando el agua de riego contiene mucho Ca y Mg, lo que podría provocar aún más precipitados.

También se suele utilizar el **ácido clorhídrico** (salfumán), diluirlo al 33%. Para tratamientos preventivos se aplican cantidades de 500-1.000 cm^3/m^3 de agua. Cuando ya hay obturaciones de goteros es necesario aplicar de 5 al 10 litros de ácido por metro cúbico de agua. Este ácido no debe usarse cuando el agua contiene concentraciones de hierro superiores a 0,2 gr/m^3 de agua, porque puede formar cloruro férrico insoluble.

En algunas ocasiones, cuando el **grado de obturación es muy elevado**, los emisores se deben limpiar individualmente, sumergiéndolos en ácido al 1-2% durante unos quince minutos. Este tratamiento puede ser eficaz en el caso de tener emisores desmontables, pero supone un importante gasto en mano de obra, por lo que en algunas ocasiones es más rentable limpiar las tuberías y poner emisores nuevos que realizar este tipo de limpieza. Además, una vez obturados los emisores, la limpieza no suele resultar efectiva ya que el ácido no disuelve del todo las incrustaciones sino que las desagrega, quedando pequeñas partículas de calcio circulando por el emisor que pueden volver a causar obturaciones.

El tratamiento de limpieza de obturaciones implica la utilización de **altas concentraciones de ácido**, lo que lo hace un proceso muy delicado que **debe realizarse por personal especializado**. Es importante volver a resaltar que los ácidos son productos **corrosivos y extremadamente peligrosos**, por lo que es preciso **manejarlos con especial cuidado**, es decir, utilizando guantes, gafas, etc., incluso cuando se encuentren diluidos.

5.2.- Precipitados de hierro

Los **precipitados de hierro** (Fe), de color ocre, se forman cuando existen en el agua de riego concentraciones de este elemento superiores a 0,2 g / m^3 (Madrid *y col.*, 1991) y el pH es superior a 7,5.

Existen bacterias filamentosas que oxidan el Fe^{2+} (hierro soluble) a Fe^{3+} que precipita como hidróxido férrico, quedando retenido por los filamentos de las bacterias, dando lugar a la formación de ocre o depósitos filamentosos de hierro. El Fe oxidado puede actuar como agente precipitante de sólidos orgánicos en suspensión, los cuales, además de ser un medio excelente para el desarrollo de bacterias filamentosas, pueden obstruir los goteros.

El problema del hierro es más severo cuando el agua procede de un manantial superficial porque en este caso el agua contiene materia orgánica soluble que puede reaccionar con el Fe formando complejos organoférricos que producen un depósito de cieno rojo (Madrid *y col.*, 1991).

El tratamiento de aguas con problemas de precipitación química de Fe tiene un carácter eminentemente preventivo. En efecto, el **Fe** disuelto en agua se encuentra principalmente como bicarbonato ferroso, que en contacto con el oxígeno del agua (u otro agente oxidante incorporado) pasa a la forma oxidada, precipitando como hidróxido férrico. A pH mayor que

7,5 esta precipitación es inmediata, mientras que para pH menor que 4 la forma ferrosa, soluble, es muy estable incluso en condiciones claramente oxidativas.

Se puede evitar que los precipitados de hierro se formen dentro de las tuberías, provocando la formación de sales insolubles antes del paso del agua por los filtros, mediante:

- oxigenación del agua,
- por floculación con floculantes específicos
- clorando el agua.

Un primer intento puede ser **airear el agua** por medio de torres de aireación, duchas, cascadas, etc., aunque la eliminación del **Fe** no suele ser total. Puede acompañarse esta aireación de un tratamiento químico con aplicación de oxidantes. El método más accesible es el **clorado** en continuo del agua (adición de **hipoclorito sódico ClONa**). La cantidad de cloro a inyectar se calcula según:

ppm de Fe en el agua x 0,65 = ppm cloro

La cloración es más efectiva cuando el pH del agua se mantiene en valores entre 5 y 6.

La aplicación del cloro puede hacerse utilizando los propios equipos de fertirrigación si se trata de cloro en forma de lejía de hipoclorito.

Además de ser un excelente agente oxidante, el **Cl** que libera el hipoclorito se muestra como un excelente biocida, resultando efectivo, como más adelante veremos, en el control de algas y microorganismos presentes en el agua de riego. La cloración del agua nunca debe realizarse al mismo tiempo que la fertirrigación con abonos nitrogenados, debido que si la cloración tiene una larga duración se podría dañar al cultivo.

El caudal de hipoclorito comercial que habría que inyectar en la red de riego mediante la bomba inyectora se calcula utilizando la expresión:

$$q = \frac{Q \times c}{C}$$

q = caudal de hipoclorito a inyectar (l/h)
Q = caudal de agua de riego a tratar (l/h)
c = concentración de cloro en el agua de riego (mg/l = ppm)
C = concentración de cloro en el producto empleado para realizar la cloración (mg/l = ppm)

Ejemplo: Calcular el caudal de hipoclorito a inyectar para mantener una concentración de cloro en agua de 5 mg/l en un caudal de agua de riego de 60 m^3/h si se emplea para la cloración un hipoclorito sódico de concentración 60 g/l.

$$q = \frac{Q \times c}{C} = \frac{60.000 \times 5}{60.000} = 5\ l/h$$

Cuando se han formado mucílagos (mezcla de precipitados y microorganismos) que obstruyen los goteros total o parcialmente, la acción del cloro como biocida es poco eficaz, por lo que se necesita una concentración de cloro libre en el agua mucho mayor. En este caso puede resultar eficaz el empleo de 1.000 ppm (nunca inferior a esta concentración) mantenida durante 24 horas. A continuación debe hacerse un lavado intenso de la instalación.

Otra posibilidad para evitar los precipitados de **Fe** es disminuir el pH del agua, de este modo la forma ferrosa permanece soluble en un amplio margen de potencial oxidativo. Si nos decantamos por esta solución se puede emplear **ácido sulfúrico** en dosis de 0,5 - 1,0 % . Este disolverá los sedimentos que se hayan formado por la precipitación del hierro y al mismo tiempo mantendrá en solución el que vaya en el agua, evitando que precipite. Como en otros casos en los que se utilice ácido, por la peligrosidad de su manejo es aconsejable **confiar este tratamiento a personal especializado**.

5.3.- Precipitados de manganeso

En el caso en que el problema está causado por presencia de **manganeso**, forman sedimentos de color muy oscuro. El riesgo de precipitados de Mn se presenta a partir de una concentración de 0,2 ppm, y se agrava el problema cuando la concentración de hierro sobrepasa 0,4 ppm.

Deben adoptarse también medidas preventivas, pero debemos advertir que se debe tener cuidado al aplicar el hipoclorito, porque el manganeso se oxida más lentamente que el hierro y su precipitación puede producirse después del paso por los filtros. En cualquier caso, se debe realizar un análisis del agua para determinar la dosis de oxidante a aportar.

5.4.- Problemática de las aguas con ácido sulfhídrico

Para evitar los problemas causados por la presencia de **ácido sulfhídrico** (SH_2) en el agua, lo mejor y más económico es airear el agua hasta eliminar totalmente este gas. Es de probada eficacia la evaporación del ácido (gas) en torres de aireación, tal como se describió en el Capítulo 9.

Hay que airear el agua hasta lograr que la concentración de SH_2 en el agua de riego sea inferior a 0,5 mg/l (**tabla 14.2**). Con concentraciones superiores se producen precipitados de azufre por la acción de bacterias sulfurosas (Madrid *y col.*, 1991), lo que acaba por obstruir los goteros, obstrucciones que son muy difíciles de eliminar.

Los sulfuros pueden ser detectados al observar la presencia de precipitado blanco en las tomas y por el olor del aire (huevos podridos). El método semicuantitativo más barato para detectar la presencia de SH_2 consiste en colocar un papel de filtro impregnado en **acetato de plomo** cubriendo un recipiente en el que se coloca la muestra de agua recién tomada, agua en la que se provoca un borboteo para desprender el gas, que debe pasar a través del filtro. Si el papel se vuelve marrón o negro por el sulfuro de plomo, el agua contiene SH_2 suficiente como para ocasionar problemas. En este caso debe continuar la aireación o plantearnos un tratamiento de cloro. La primera opción es menos costosa.

5.5.- Precipitados procedentes de fertilizantes

En las instalaciones de riego localizado, riego y fertilización suele hacerse de forma conjunta (fertirrigación). El principal inconveniente de esta práctica es:

- la **obturación de los emisores** por la **precipitación** de los fertilizantes,
- una **mala disolución o incompatibilidad** de estos al preparar la solución nutritiva, lo que no ocurre cuando se utilizan soluciones comerciales preparadas,
- **reacciones** de algún fertilizante con algún elemento propio del agua de riego.

Para evitar estos problemas se deben seguir algunas **normas en la preparación de las soluciones fertilizantes y en su aplicación** (ver Capítulo 17). Además, se debe instalar un filtro de malla o anillas siempre después de la bomba inyectora y antes del punto en el que se produce la inyección en la red de riego.

Los tres principales puntos a tener en cuenta para evitar obturaciones por fertilizantes en la instalación son:

- **Utilización de abonos totalmente solubles.**
- **Mezcla de abonos adecuados**, es importante conocer los fertilizantes que se van a mezclar ya que no todas las combinaciones son compatibles.
- **Utilizar la concentración adecuada de fertilizante en el agua de riego** (ver tabla 14.2).
- **Manejo apropiado de la fertirrigación**. En este punto se incluye el seguimiento de las recomendaciones dadas sobre la preparación de las soluciones madre y el **inicio y finalización del riego solo con agua** (ver Capítulo 17).

Tabla 14.2.: Concentraciones máximas de fertilizantes aconsejadas en el agua de riego

FERTILIZANTE	RECOMENDACIONES DE EMPLEO
Nitrato amónico	0,2 a 0,4 g/l se podrá llegar a 1 g/l si momentáneamente se quiere forzar la dosis de abonado N
Urea	1 g/l. No conviene superar 2 g/l
Solución N-32	0,25 – 0,50 g/l . No superar 1 g/l
Ácido fosfórico	No superar 0,5 g/l. Vigilar pH
Fosfato monoamónico	0,25 – 0,5 g/l. Máximo 1 g/l
Nitrato potásico	No superar 0,5 g/l
Cloruro potásico	No superar 0,5 g/l

Cuando las medidas preventivas no son suficientes y aparecen **obturaciones** por precipitación de los fertilizantes, el tratamiento para eliminarlos será, como en los casos anteriores a base de **ácido**. El tipo de ácido que se utilice dependerá de la naturaleza del precipitado que se forme, es decir, se aplicará ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico, según el caso.

6.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES BIOLÓGICAS

Los **microorganismos** más frecuentes en el agua de riego son bacterias, hongos y algas microscópicas. Estos se reproducen dentro de las tuberías formando depósitos gelatinosos en sus paredes y en los goteros.

Si el agua de riego **permanece estancada en albercas, balsas o depósitos** antes de pasar a la red de riego, **se desarrollarán algas** con facilidad gracias a las condiciones de reposo, iluminación, temperatura, etc. No echar nunca ningún tipo de fertilizante en estos depósitos, incluidos entre ellos el ácido nítrico y el fosfórico.

Para **prevenir la aparición** de estas algas sería conveniente cubrir el depósito con una malla de sombreo o tratar con algún alguicida si lo anterior no fuera posible. El **sulfato de cobre**, **hipoclorito sódico** o **permanganato potásico** se recomiendan para este fin, frente a otros alguicidas que darán el mismo resultado aunque a mayor precio. Además, el permanganato potásico no deja residuos tóxicos en el agua de riego. El tratamiento preventivo con alguicida deberá hacerse cada vez que se renueve el agua de la balsa, al menos una vez a la semana en verano y una vez al mes en invierno. Las dosis de alguicidas recomendadas son las que aparecen en la siguiente tabla:

	Sulfato de cobre	Hipoclorito sódico (100 g de cloro activo/litro)	Permanganato potásico
Prevención	2 - 3 g/m³	0,01 – 0,02 l/m³	1 - 3 g/m³
Limpieza	4 - 5 g/m³	0,1 – 0,2 l/m³	2 - 4 g/m³



Fotografía 14.2: Para prevenir la aparición de algas en las balsas de riego es conveniente tratar con algún producto alguicida. El sulfato de cobre, hipoclorito sódico o permanganato potásico se recomiendan para este fin. En la imagen se muestra el comienzo de un tratamiento con sulfato de cobre, aplicado junto a la tubería de llenado de la balsa lo que facilita la dilución del producto y su homogéneo reparto en la balsa.

El cloro disuelto en agua actúa como un potente **agente oxidante** que ataca vigorosamente a microorganismos como bacterias o algas, **destruyendo la materia orgánica**. Así, la **cloración** es una solución efectiva y económica al problema de obstrucción de los componentes de la instalación por acumulación de microorganismos. Es la solución que nosotros recomendamos.

Igualmente existen **bacterias filamentosas** que forman masas gelatinosas cuando el agua contiene una concentración alta de **hierro** o SH_2. Las bacterias ferrosas provocan precipitaciones de hidróxido férrico. Las bacterias sulfurosas producen precipitaciones de azufre. Ambas provocan la obstrucción de goteros.

La mejor medida de prevención de la aparición de algas y bacterias en la red de riego es la **cloración del agua con hipoclorito sódico**. Su objetivo es **controlar el crecimiento bioló-**

gico en filtros, tuberías y emisores, en la mayoría de las situaciones **tratamientos intermitentes** serán suficientes. Pero **si el agua es además rica en hierro** o contiene SH_2, si no se toman medidas para eliminarlos, **la cloración deberá ser continua**.

Los tratamientos preventivos con **hipoclorito sódico** se deben hacer siempre antes de la entrada de los filtros, para evitar el desarrollo de algas en el interior de los mismos.

La aplicación del hipoclorito se hará de forma que en el gotero más alejado del punto de inyección debe salir el agua con una concentración de **cloro libre de 0,5 a 1,0 ppm** y **durante un tiempo mínimo de 45 minutos** (la muerte de los microorganismos requiere un tiempo de acción mínimo de 30 minutos). La dosis adecuada para que en los emisores se consiga las dosis anteriores pueden fluctuar entre 3 y 10 ppm de cloro total. No conviene usar dosis menores porque se puede estimular la proliferación de bacterias. La cloración debe realizarse cada cierto tiempo, en función de la magnitud del problema.

Las dosis de hipoclorito sódico recomendadas para el control de algas y bacterias en la red de riego son las siguientes:

	Hipoclorito sódico (100 g de cloro activo/litro)
Prevención	0,1 - 0,15 litros/m^3
Limpieza enérgica	1,0 - 3,0 litros/m^3

Si se detectan **obturaciones en la red de riego** por el desarrollo de microorganismos, el tratamiento con hipoclorito sódico será más intenso. Tras el tratamiento es necesario realizar **una aplicación importante de agua** para diluir el cloro en el bulbo húmedo.

Es **MUY IMPORTANTE** tener en cuenta que **no pueden mezclarse** los tratamientos con hipoclorito sódico con tratamientos con ácidos, porque el cloro se desprendería como gas, resultando **muy venenoso**. Además el operario que va a realizar la aplicación lo hará una vez se haya equipado con las oportunas protecciones: gafas, guantes y ropa adecuada.

Es de destacar la reciente aparición en el mercado de **equipos emisores de ultrasonidos** que consiguen eliminar las algas en los almacenamientos de aguas sin necesidad de emplear aditivos químicos. Estos equipos producen un ultrasonido que oscila entre los 20 y 35 kHz generando de 20.000 a 35.000 vibraciones por segundo que se desplazan a una velocidad de 1.500 metros por segundo bajo la superficie del agua. El ultrasonido rompe las vacuolas de las algas, tanto de las unicelulares filamentosas como las flotantes, provocando así su muerte. El proceso de eliminación de las algas varía entre 15 y 30 días. Estos equipos eliminan las colonias de algas en balsas y estanques contaminados y proporcionan un efecto preventivo, impidiendo asimismo su desarrollo en embalses que se encuentran limpios.

El diseño del número de equipos necesario para equipar una balsa es muy sencillo, dependiendo de la superficie que ocupa el agua embalsada y del radio de alcance del emisor de ultrasonidos, que según fabricantes está comprendido entre 100 y 150 metros.

La problemática que plantean estos equipos es, fundamentalmente, no proporcionar resultados homogéneos al no afectar por igual a todos los tipos de algas. Al necesitar un cierto tiempo de actuación, su mayor eficacia se obtiene en balsas en las que el agua permanece almacenada durante un cierto tiempo (superior a 15 – 30 días).

Aunque estos equipos son muy caros en la actualidad, en las situaciones en las que se muestran eficaces permiten reducir enormemente el consumo de productos químicos en el mantenimiento de estanques y balsas de riego, con el consiguiente ahorro, evitando igualmente la contaminación del agua debido a la adición de productos químicos como el sulfato de cobre, el hipoclorito sódico, permanganato potásico, etc. La realización de estudios serios que definan aún más el campo de aplicación de estos equipos nos parece fundamental.

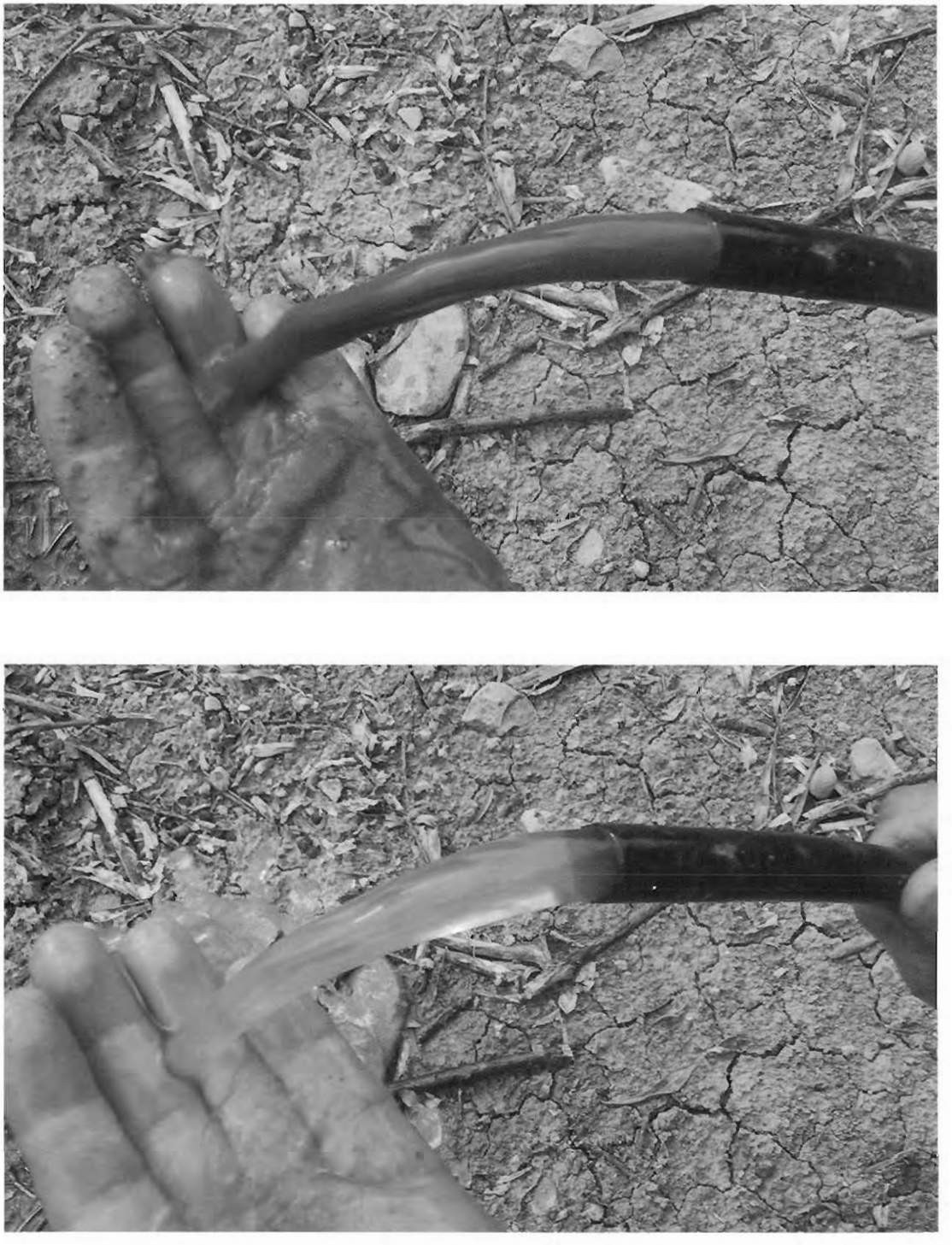
7. - MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Mantener un **buen estado de conservación** en todos los elementos que forman parte de una instalación de riego localizado es imprescindible para su buen funcionamiento a lo largo del tiempo. Esto implica la **preparación** de todos los componentes de la red de riego **antes** de que comience la temporada de riego, así como la **realización de revisiones** periódicas de todos ellos **durante** el tiempo que estén en funcionamiento, así como la limpieza meticulosa de todos los elementos del sistema al **finalizar** el periodo de riego:

- Estación de bombeo
- Controladores y sensores (automatismos)
- Equipo de filtrado
- Red de riego y emisores
- Medidores de caudal, válvulas y reguladores de presión

Antes de iniciar el primer riego **se hace imprescindible una limpieza concienzuda**, haciendo que circule el agua por la red con algo más de presión de la habitual. Deberán dejarse abiertos los finales de las tuberías (incluidas las laterales), lo que permitirá evacuar los restos de plástico generados por el montaje y la suciedad acumulada en el interior de la red.

A continuación, y a modo de recordatorio, se dan unas fichas para el manejo y cuidados de conservación de las instalaciones. Estas fichas han sido elaboradas por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía para su utilización por los Servicios Locales de Asesoramiento a Regantes.



Fotografía 14.3: periódica y frecuentemente deberán abrirse todos los finales de los ramales laterales portagoteros de la instalación, ya que en esta zona, al circular el agua a baja velocidad, se acumulan las impurezas. Debe permanecer abierto el terminal hasta que fluya de nuevo agua limpia por su extremo, momento en que se da por concluida la operación.

MANTENIMIENTO DE LA RED DE RIEGO

ANTES DE LA TEMPORADA DE RIEGO (1)	DURANTE LA TEMPORADA DE RIEGO	DESPUES DE LA TEMPORADA DE RIEGO
Abrir el final de las tuberías y hacer circular el agua para eliminar cualquier elemento que pueda causar obturaciones.	Revisar con frecuencia que no haya fugas y repararlas en el momento en que estas se presentan.	Sustituir las juntas, elementos o trozos de tubería que hayan presentado problemas frecuentes de fugas o roturas durante la campaña de riego.
Poner la red de riego en funcionamiento normal para comprobar la existencia de alguna fuga.	Realizar aproximadamente una vez al mes una medida de la uniformidad (al menos de los caudales).	Drenar la red de tuberías incluyendo los laterales.
Medir el coeficiente de uniformidad.	Revisar visualmente la instalación buscando signos de deterioro o daños causados por animales o vandalismo.	Abril todas las válvulas.
		Revisar si hay corrosión y consultar con el técnico las posibles medidas a tomar.

(1) Con la suficiente antelación para poder comprar y sustituir los elementos en mal estado.

MANTENIMIENTO DE LOS EMISORES

ANTES DE LA TEMPORADA DE RIEGO (1)	DURANTE LA TEMPORADA DE RIEGO	DESPUES DE LA TEMPORADA DE RIEGO
Revisar la existencia de emisores dañados o deteriorados y hacer prueba de uniformidad de emisión.	Revisar el sistema para verificar que no hay emisores dañados o deteriorados.	Inyectar una dosis fuerte de ácido, cloro, o algún limpiador, si existen problemas de taponamiento químico o biológico.
Con el sistema regando verificar visualmente que los emisores operan correctamente.	Verificar el correcto funcionamiento de los emisores.	
Tratar con la dosis requerida de ácido, cloro, o algún limpiador para prevenir o tratar problemas de obturaciones.	Tratar con la dosis requerida de ácido, cloro, o algún limpiador para prevenir o tratar problemas de obturaciones.	
	Cuando se esté fertirregando, terminar siempre los riegos con agua limpia, nunca con agua y abono.	

(1) Con la suficiente antelación para poder comprar y sustituir los elementos en mal estado.

Referencias bibliográficas

Fernández Gómez, R., Yruela Morillo, M.C., Milla Milla, M., García Bernal, J.P., Avila Alabarces, R., Gavilán Zafra, P., Oyonarte Gutiérrez, N.A., 1999. Manual de Riego para Agricultores. Riego localizado (Módulo 4). Edita Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla.

Fuentes Yagüe, J.L., 1991. Instalaciones de riego por goteo. Hoja Divulgadora 4-5/91 HD. Ed. Dirección General de Estructuras Agrarias. Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid.

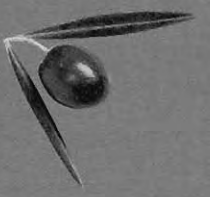
Madrid, R., Marín, A.J., Ruiz, M., 1991. Tratamiento de aguas en riego localizado: obstrucción de emisores. En: *El agua y los fertilizantes. Fertirrigación Localizada.* R. Madrid (editor). Ed. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Región de Murcia. Serie Congresos nº 3. 103-120.

Pizarro, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. (2ª edición).



LOS NUTRIENTES Y EL OLIVAR

CAPÍTULO 15



Juán Carlos Hidalgo Moya
Miguel Pastor Muñoz-Cobo



1.- LOS NUTRIENTES ESENCIALES

2.- NITRÓGENO

3.- FÓSFORO.

4.- POTASIO.

5.- OTROS ELEMENTOS.
- 5.1.- Boro.
- 5.2.- Hierro.
- 5.3.- Calcio.
- 5.4.- Magnesio.
- 5.5.- Manganeso.
- 5.6.- Cinc

Referencias Bibliográficas

1.- LOS NUTRIENTES ESENCIALES

El abonado, en su concepción tradicional, es una práctica de cultivo que tiene por objeto:

- restituir al suelo los nutrientes que la planta extrae, y/o
- enriquecer éste cuando la concentración en uno o varios elementos es insuficiente como para asegurar la correcta alimentación del cultivo.

En fertirrigación el concepto puede ser muy diferente, concibiéndose la fertilización como la aportación continuada al suelo de una solución nutritiva de la que el cultivo pueda extraer todos los nutrientes necesarios que aseguren una adecuada productividad, así como una regularidad interanual en las producciones.

Los diferentes elementos nutritivos necesarios para el desarrollo de las plantas se pueden englobar en tres grupos:

Meganutrientes [carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H)]: nutrientes que en la fotosíntesis las plantas fijan a partir del agua que extraen del suelo y del CO_2 atmosférico. Constituyen el 95% del peso seco de la planta.

Macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S).

Micronutrientes: hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo).

Los macro y micronutrientes son extraidos del suelo por las plantas. La única diferencia entre ellos es que los primeros se encuentran en la planta en concentraciones de 10 a 5.000 veces superiores a la de los micronutrientes, pero ambos se consideran esenciales para el crecimiento de las plantas, y esta esencialidad se basa en que la planta no puede completar su ciclo vital sin ellos, y cada elemento cumple una función determinada en la planta sin que otro elemento pueda cumplir dicha función. El conjunto de macro y micronutrientes llega a constituir solamente el 5% del peso seco de la planta.

Una planta se encuentra en condiciones óptimas de nutrición cuando todos los elementos esenciales se encuentran en equilibrio, de forma que si uno o varios de ellos están en **deficiencia** o en **exceso** ocasiona un desequilibrio que acaba interfiriendo con la utilización y disponibilidad de otros nutrientes, aunque éstos se encuentren en cantidades suficientes.

Tabla15.1 : Movilidad de nutrientes en una planta superior (Val Falcón, 2003)

muy móvil	móvil	movilidad media	inmóvil
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	Mg
Na	S	Mn	Ca
		Fe	
		Mo	

Antes de realizar una propuesta para la programación del fertirriego es necesario que realicemos una serie de consideraciones generales sobre el abonado del olivo, y en base a ello discutir cuales son las estrategias a seguir para el abonado de un olivar de regadío. Revisaremos, en primer lugar, cual es el papel de los diferentes nutrientes en la fisiología del árbol, y cuales han sido las respuestas al abonado en diferentes trabajos realizados por autores de reconocida credibilidad. En los capítulos 16 y 17 se abordará la programación de la fertirrigación y se tratará sobre los fertilizantes más recomendables en fertirriego.

2.- NITRÓGENO

El nitrógeno (**N**) es un elemento esencial en la fertilización del olivar, que induce una rápida reacción del árbol, acelerando la actividad vegetativa y el desarrollo de la planta, y que en multitud de situaciones agronómicas proporciona aumentos de producción y una interesante rentabilidad del gasto realizado. Es probablemente el nutriente que resulta más rentable en el olivar en la mayoría de las situaciones. De igual modo, cuando un árbol se encuentra bien nutrido en **N** puede ser normal una momentánea falta de respuesta al abonado nitrogenado realizado.

El nitrógeno forma parte de las proteínas, estando presente en los núcleos de las células, siendo fundamental para el crecimiento de los tejidos. Aumenta la cantidad de clorofila y la capacidad de asimilación de otros nutrientes. Es el promotor de la reproducción celular, por lo que es imprescindible en todas las fases del crecimiento, en especial desde la brotación hasta el endurecimiento del hueso. Este nutriente es muy móvil dentro de la planta (**tabla 15.1**),

traslocándose con rapidez a tallos, hojas y flores/frutos. Una correcta alimentación nitrogenada aumenta la longitud del brote (portador de la cosecha del año siguiente), el número de brotes producidos por olivo, así como el número de inflorescencias por brote y el número de flores fértiles por inflorescencia, lo que se traduce finalmente en un mayor número de frutos cuajados por olivo. La **adecuada alimentación en N depende** fundamentalmente **de las disponibilidades de agua** en el suelo.

La obtención de una buena producción y una adecuada calidad del fruto implica, entre otros factores, una correcta disponibilidad de N en el suelo. Un **exceso de N** puede provocar una disminución de la producción, una mayor sensibilidad a enfermedades y un retraso de la maduración. Por el contrario, una **deficiencia** en este nutriente puede provocar una reducción del número de frutos por árbol, un tamaño pequeño de las aceitunas, una maduración excesivamente precoz y acentuar la caída prematura de frutos.

La planta absorbe el N en las formas **nítrica** (NO_3^-) y **amoniacal** (NH_4^+), pero cuando el cultivo es nutrido simultáneamente con ambas formas de N (nutrición nitrogenada mixta) se obtiene un mayor crecimiento y producción debido a un ahorro energético por la planta y a una mejora en la síntesis de fitohormonas (giberelinas y citoquininas) (Marschner, 1995).

Teniendo en cuenta que los suelos agrarios solamente aportan el N proveniente de la mineralización de la materia orgánica, y que este más las aportaciones del agua de lluvia no suelen ser suficientes para suplir las necesidades de un olivar productivo, la fertilización nitrogenada se considera imprescindible dentro del manejo de las plantaciones de regadío.

Aunque tradicionalmente se ha asignado una cierta importancia al nitrógeno depositado en el suelo por la lluvia, esta cantidad es relativamente poco relevante en la fertilización de un olivar de regadío. Trabajos realizados en el Valle del Guadalquivir (Ordóñez *y col.*, 1992; Polo *y col.*, 1997) evalúan dicha aportación anual en una cifra media de 15 kg/ha para el período 1986-1996, observándose una marcada variabilidad interanual, oscilando esta aportación entre valores máximos de 32 kg de N/ha y valores mínimos de solamente 4 kg/ha, lo que añade una gran incertidumbre a este tipo de aportación en la programación del abonado en olivares muy productivos.

Los fertilizantes aportan el **N** al suelo en las formas **ureica**, **amoniacal** y **nítrica**. Cuando se aplican al suelo fertilizantes con formas ureicas y amoniacales se produce una rápida transformación a formas nítricas por la acción de las bacterias del género *Nitrosomonas* (proceso conocido como nitrificación). En forma nítrica el N puede ser fácilmente absorbido por la planta, pero tiene una elevada solubilidad y movilidad en el suelo, por lo que en condiciones de alta pluviometría o riego el N puede ser susceptible de ser lixiviado a capas profundas de suelo fuera del alcance de las raíces, pudiendo llegar a acumularse en aguas subterráneas.

En olivar de regadío en California (EEUU), utilizando sistemas de riego no localizado (fundamentalmente riego a pie), Hartmann *y col.* (1986) no encontraron una respuesta evi-

dente a la aportación de nitrógeno cuando el estado nutritivo del árbol era adecuado (*>1.5%* sobre materia seca en muestreo realizado en el mes de julio), por lo que dichos autores concluyeron que en este caso podía suprimirse temporalmente el abonado nitrogenado hasta que el contenido en hoja no descendiese por debajo del mencionado nivel umbral, añadiendo estos autores que en suelos menos fértiles podría ser arriesgado suprimir el abonado **N** de mantenimiento. Fernández Escobar (2001) y Navarro (2003) en trabajos realizados en secano en Andalucía tampoco encontraron respuesta a la aportación de **N** cuando los niveles de este elemento en hoja se situaban por encima del nivel adecuado. En **olivares de secano de Andalucía**, Ortega Nieto (1964) y Ferreira *y col*. (1986) aplicando dosis moderadas de **N** obtuvieron respuestas al abonado **N** cuando trabajaban con árboles que tenían nivel productivo medio/alto, especialmente en los años de adecuada pluviometría. Estos autores basándose en trabajos realizados en distintas comarcas olivareras andaluzas recomendaron para el olivar de secano **dosis de N** de mantenimiento que se muestran en la **tabla 15.2**, dichas dosis dependen de la producción media de la plantación.

Tabla 15.2. Dosis de abonado N en función de la producción media (Ferreira *y col.*, 1986).

Producción media kg / olivo	Dosis abonado nitrogenado kg N / olivo
< 25	0.6
25 – 35	0.6 – 1.0
> 35	1.0

No deben extrañar las anteriores recomendaciones si tenemos en cuenta, como ya se dijo anteriormente, que en olivares con baja productividad las necesidades de **N** podrían estar cubiertas por la mineralización de la materia orgánica del suelo y por las aportaciones del agua de lluvia (8-10 kg/ha.año). En **olivar de riego por goteo** y en plantación intensiva Troncoso *y col.* (1997) mencionan que se obtuvieron buenos resultados empleando 580 g/olivo de N en fertirrigación, fraccionando la dosis de N a lo largo de toda la campaña de riego.

Personalmente pensamos que en olivares de riego con un alto rendimiento, independientemente del resultado del análisis foliar, debería aplicarse una **dosis de N de mantenimiento**, por ejemplo 0,75 - 1,0 kg N / olivo en plantación tradicional, modesta cantidad que evitaría eventuales desabastecimientos a lo largo del ciclo anual o en determinados años.

En el caso de encontrarnos con olivares cuyo estado nutritivo no alcanza el adecuado (contenido de **N** en hoja inferior al 1,5 % sobre materia seca en el muestreo en julio), además de una dosis de mantenimiento deberían aportarse cantidades algo superiores a las referidas hasta corregir las deficiencias nutritivas; o si la aportación ha sido poco eficaz variar el sistema de fertilización. Muchas veces la **aplicación foliar** del **N** puede ser muy eficaz (ver capítulo 18), más que el abonado convencional al suelo, dándose esta circunstancia fundamentalmente en

el olivar de secano. En suelos arcillosos, donde las pérdidas por lixiviación pueden ser muy reducidas, incluso se podría pensar en reducir la dosis total de **N** a aportar en regadío.

Las técnicas de ***fertirrigación*** en los olivares con riego por goteo permiten aplicar el **N** cuando el árbol más lo necesita y junto con el agua de riego, sin tener que depender de un factor climático tan errático como es la lluvia, consiguiendo así, probablemente, unas mayores eficiencias de la aplicación del fertilizante.

Si el olivar de riego ha sido bien abonado en años anteriores, no hay por qué adelantar en el tiempo la puesta en marcha de la instalación de riego solamente para aportar el abono nitrogenado, lo que viene siendo una práctica habitual en los últimos años. Probablemente ello no es necesario ya que el árbol en estos momentos (inicio de la brotación) moviliza el **N** de los órganos de reserva (hojas, tallos, etc.), por lo que no se considera necesaria su aportación hasta abril/mayo. Si aplicásemos este criterio, probablemente evitaríamos pérdidas de **N** por lixiviación de nitratos cuando se produjesen lluvias primaverales abundantes después del abonado. En consecuencia, pensamos que es muy recomendable fraccionar la dosis anual de **N** a aplicar, aportándolo en todos y cada uno de los riegos, y durante la totalidad del tiempo de riego. En el capítulo 17 damos información de los porcentajes mensuales recomendados.

Como ya se dijo anteriormente la **aportación foliar de urea** al 2-3 % proporciona igualmente resultados interesantes en la nutrición del olivo cuando **no se abona el suelo con N**, habiéndose demostrado un efecto sinérgico sobre la absorción foliar de otros nutrientes, como el potasio, bastando en este caso con emplear concentraciones de urea mucho más bajas, un 0,5-1,0 % puede ser suficiente.

3.- FÓSFORO.

El fósforo (**P**) es un elemento imprescindible para la vida de los vegetales, interviniendo en la división celular y el desarrollo de los tejidos meristemáticos. Además está implicado en el transporte de la energía captada en la fotosíntesis.

La planta absorbe el fósforo del suelo únicamente en la forma iónica del ácido ortofosfórico, después de una lenta oxidación a la que se llega a través de la disociación de los fosfatos de calcio, hierro y aluminio que se encuentran en las reservas naturales del suelo, o que se encuentran en éste por la adición de abonos fosfatados. Este elemento es bastante móvil en la planta (**tabla 15.1**), pero menos que el N y K.

En **suelos calizos** existen fosfatos cálcicos de muy lenta liberación y fosfatos tricálcicos insolubles. Al aportar **P** al suelo puede haber una fijación irreversible del mismo, siendo

el **P orgánico** el más fácilmente movilizable por la mineralización del humus. La dificultad de asimilación de **P** en suelos calizos podría estar compensada por la micorrización radicular.

La **deficiencia** o **carencia de fósforo** suele ser poco frecuente en olivar. Sin embargo, en ocasiones en Andalucía pueden observarse bajos contenidos de **P** en hoja en **suelos ácidos**, deficiencias que pueden ser debidas a bajos contenidos de fósforo asimilable en el suelo. También se han encontrado niveles bajos de **P** en olivares que vegetan en **suelos calizos** con **niveles bajos P asimilable**, por lo que árboles muy productivos pueden acabar mostrando niveles bajos de este elemento en hoja cuando se realiza el análisis foliar, produciéndose finalmente intensas defoliaciones que empiezan a manifestarse en las ramas más viejas y en las zonas de las fincas en las que el suelo es de peor calidad (más calizo, menos profundo). La manifestación de esta sintomatología es especialmente preocupante en los años secos, afectando incluso a los olivares de regadío, lo que hace que sea recomendable la adopción de medidas correctoras. Cuando se han observado niveles bajos de **P** en hoja, es normal que simultáneamente se observen niveles relativamente bajos de **N**, que se supera en regadío empleando un adecuado abonado N-P.

La **fertilización P** se debería realizar cuando los análisis foliares (P < 0,1 % sobre materia seca en muestreo en julio) y de suelo así lo aconsejen. La **corrección** a corto plazo de las **deficiencias de P** podría realizarse mediante aplicaciones foliares de **fosfato monoamónico** o **fosfato monopotásico** (2,0 %), teniendo la precaución de no mezclarlo con el cobre (formación de precipitados). En terrenos calizos las aplicaciones convencionales de fósforo al suelo suelen ser poco eficaces, siendo su rentabilidad normalmente baja, y solo a largo plazo se obtienen resultados apreciables (Ferreira *y col.*, 1986).

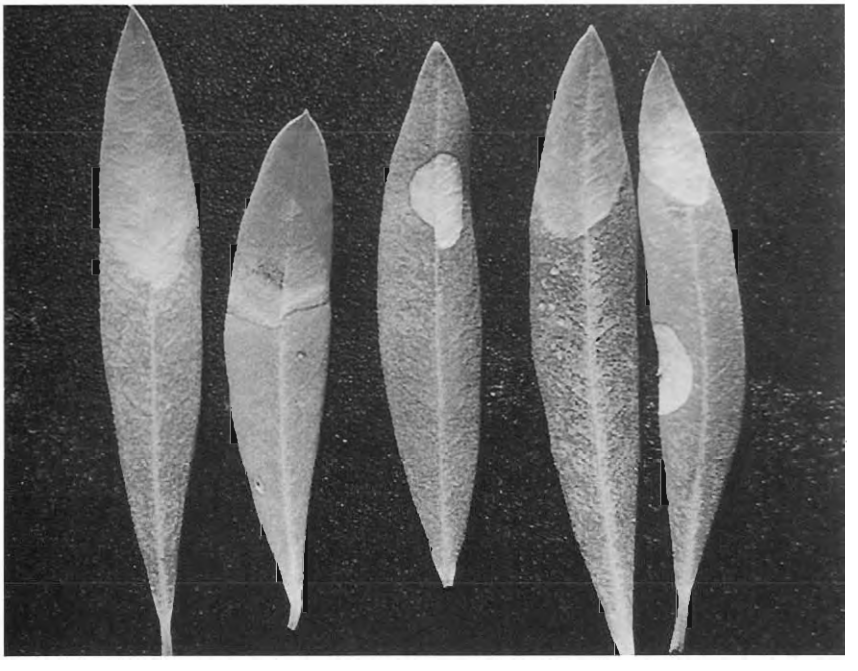
En olivares de riego en la Comarca de la Loma (Jaén), donde son frecuentes suelos pobres en **P** (Soria,2002) y altas producciones, en olivares tradicionales la fertirrigación empleando 500-750 g / olivo y año de **ácido fosfórico** (52 % P_2O_5) ha permitido resolver con rapidez una situación generalizada de bajos niveles de **P** en hoja, con una respuesta vegetativa y productiva espectacular. En olivares adecuadamente nutridos, una dosis bastante inferior permitiría asegurar una correcta nutrición a lo largo de los años. Además, el ácido fosfórico aplicado de forma continuada, incluso a dosis muy bajas, permite bajar el pH del agua de riego, lo que ayuda a mantener la instalación de riego libre de precipitados químicos, facilitando el manejo y mantenimiento del sistema.

Mediante la **fertirrigación P** se consigue a corto y medio plazo un movimiento razonable de este nutriente en el suelo, fundamentalmente en profundidad, pero también horizontalmente, movimiento que es mucho mayor que cuando se aplica el **P** en toda la superficie de forma convencional (ver capítulo 16). Recomendamos el fraccionamiento de la dosis anual de **P**, aplicando la dosis total recomendada a lo largo de todo el tiempo de riego y en todos y cada uno de los riegos. Más adelante, también en el capítulo 16 daremos información sobre el fraccionamiento mensual de la dosis total anual de **P** a aplicar.

4.- POTASIO.

El potasio (**K**) se encuentra en la planta principalmente en forma iónica (K^+) en las vacuolas celulares. Es **muy móvil dentro de la planta** (**tabla 15.1**), tanto como N y más que el P. Participa en rutas metabólicas, actuando como activador enzimático en procesos como síntesis de hidratos de carbono y grasas, así como en los procesos de la fotosíntesis. Interviene en la economía hídrica, estando implicado en la regulación de la apertura y cierre de los estomas. Por esta razón, los árboles con niveles bajos de potasio puedan ser más sensibles al frío, a la sequía y al ataque de hongos (*repilo* fundamentalmente), habiéndose puesto de manifiesto que plantas de olivo mal nutridas en potasio presentan una mayor pérdida de agua, circunstancia que en una situación con limitación en la disponibilidad de agua puede adelantar en el tiempo la aparición del estrés hídrico, lo que probablemente acabará provocando la aparición de necrosis en hojas y defoliación en situaciones de sequía prolongada, otoños fríos, años de grandes cosechas. Está demostrado que una correcta alimentación **K** en los años de carga mejora los rendimientos grasos de la aceituna.

El potasio se encuentra fundamentalmente en la solución de agua del suelo, adsorbido a los coloides del suelo (complejo arcillo húmico), u ocupando posiciones interlaminares de distintos minerales. Solamente una pequeña parte del K es asimilable por la planta, el denominado potasio de cambio.



Fotografía 15.1:Hojas de olivo que muestran deficiencias de potasio .

Actualmente el **K** es el elemento que, desde el punto de vista de la nutrición, causa mayores problemas en el olivar andaluz, en especial en los cultivados en suelos arcillosos y calizos (gran mayoría del olivar andaluz), en los que el complejo de cambio está saturado de calcio, y una gran proporción del potasio del suelo puede estar adsorbido por las arcillas y por tanto retenido, por lo que las raíces solo pueden absorber pequeñas cantidades de este elemento. Ello puede explicar el hecho de que se manifiesten deficiencias nutricionales en suelos en los que los análisis muestran niveles adecuados o altos de este nutriente. El consumo de **K** por el árbol aumenta a medida que se va desarrollando el fruto, actuando éste como sumidero, acumulándose en la aceituna madura grandes cantidades de este elemento.

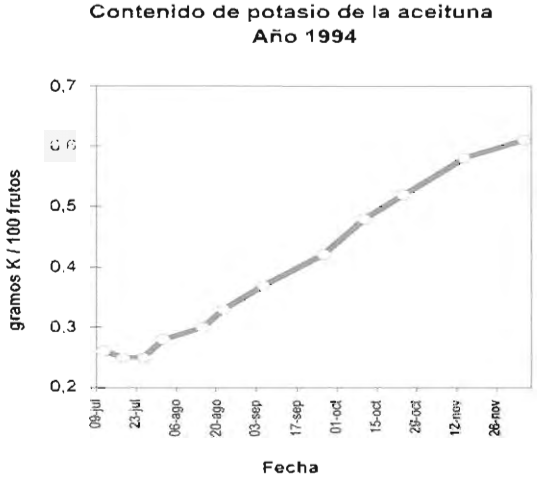


Figura 15.1. Evolución del contenido de potasio en frutos de olivo en árboles en carga (47.000 frutos/olivo) con riego por goteo de la variedad Picual en la Finca Alameda del Obispo-Córdoba (Marco de plantación 6x6 m y un alto nivel de producción)

Como queda de manifiesto en la **figura 15.1** la extracción de potasio por los frutos es muy elevada, siendo máxima al final del otoño y especialmente cuando se retrasa en exceso la fecha de recolección, lo que ocasiona alarmantes **deficiencias temporales de K** en años de gran producción, agravándose este hecho en los otoños fríos, probablemente porque el sistema radical del olivo no es capaz en dicha época de suministrar **K** al ritmo necesario, debido a que a su vez tampoco es capaz de suministrar el agua al ritmo de la demanda evaporativa de la atmósfera. Ello puede deberse al enfriamiento de la zona del suelo explorada por las raíces activas de la planta, lo que reduce el transporte de agua hacia la copa. Por todas estas razones es aconsejable realizar una recogida temprana de las aceitunas, ya que su retraso no reporta ningún beneficio y con ello sólo se consigue aumentar las extracciones por acumulación de **K** en los frutos.

Aunque en ocasiones se ha recomendando que la fertilización potásica se realice solamente cuando el resultado del análisis foliar muestra unos contenidos en potasio en hoja *inferiores al valor umbral 0.8% sobre materia seca* en muestreo realizado en el mes de julio, lo que puede ser cierto en olivares de secano (Navarro, 2003), en un trabajo realizado durante seis años en Córdoba en un olivar de regadío muy productivo (Pastor *y col.*, 2000), en el que se obtuvo un aumento de producción superior al 20% como respuesta al abonado foliar con **K** realizado (**figura 15.2**), se observó además que con relación al control no tratado, los árboles abonados mantuvieron un mejor estado nutritivo en este elemento, superior el referido nivel umbral.



Forografía 15.2:La deficiencia de potasio afecta al mecanismo de cierre de los estomas de las hojas, por lo que tras una cosecha abundante puede aparecer una deficiencia temporal de K que normalmente provocará fuertes defoliaciones en las ramas, de las que los olivos tardan meses o años en recuperarse.

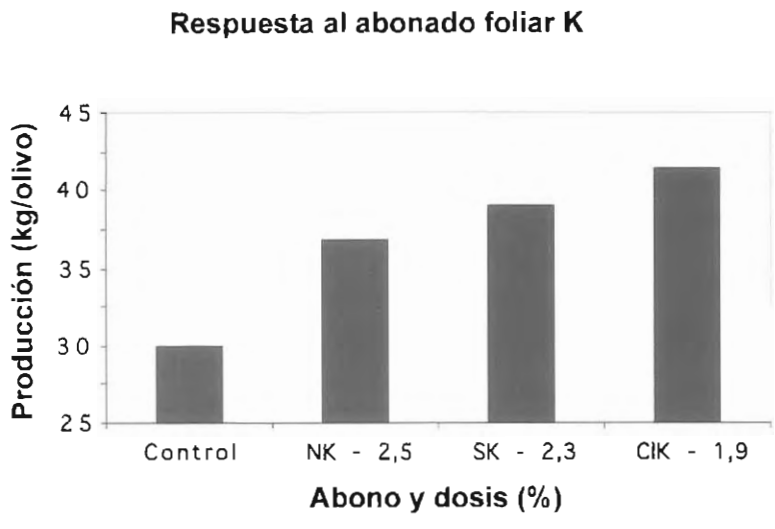


Figura 15.2: Respuesta del olivar de riego a aportaciones foliares con diferentes abonos potásicos. El trabajo ha sido realizado durante 6 años en Córdoba en un olivar con marco 6x6 m regado anualmente con 1.500 m3 / ha de agua, en el que no se han aplicado fertilizantes al suelo. Los abonos empleados han sido nitrato potásico (NK), sulfato potásico (SK) y cloruro potásico (ClK), realizándose anualmente 3 aplicaciones (primavera, verano, otoño).

Pensamos que es fundamental **mantener niveles de K en hoja más bien altos** (> 0,8%), ya que la recuperación de los estados de **deficiencia severa de potasio** es difícil, especialmente cuando se producen años secos, o en suelos en los que:

- el contenido de **potasio asimilable** es bajo,
- el contenido en **carbonato cálcico** es alto (complejo de cambio saturado de calcio),
- el contenido en **arcilla** es muy alto, en los que existe un alto potencial de adsorción, por lo que existe una escasa cantidad de K disponible para ser absorbido por la planta.

ya que la recuperación de los estados de deficiencia suele ser lenta, y en condiciones normales sólo se superan tras varios años de aplicación continuada de fertilización K. Es especialmente importante prestar atención a los años de grandes cosechas, en los que se producen altas extracciones, por lo que en estos casos podría ser muy recomendable realizar un abonado potásico que permita mantener altos los niveles de K en hoja, lo que reducirá los riesgos de deficiencias.

En **olivar de secano** en suelos calizos y arcillosos el abonado convencional con K no suele ser muy eficiente a corto plazo (Ferreira *y col.*, 1986), aunque a largo plazo los mencionados autores obtuvieron resultados interesantes en olivares con un cierto nivel productivo. En expe-

rimentos de campo de larga duración realizados en varias localidades de Andalucía, dichos autores observaron que cuando se empleaba una fórmula de abonado **N-K** se obtenían mejores producciones que cuando los árboles se abonaban únicamente con **N**. En regadío Hartmann *y col.* (1986) en California (USA) en casos en los que se observaban **deficiencias severas de K** consiguieron aumentos espectaculares de cosecha al realizar *aportaciones masivas* de K al suelo (4,5 – 22,5 kg de sulfato potasio por árbol).

Las **aplicaciones foliares** pueden ayudar a corregir las carencias de potasio en suelos calizos y arcillosos (fundamentalmente en secano), y contribuyen a aportar a la planta una parte importante de las necesidades. Dichas aplicaciones foliares suelen realizarse con **nitrato potásico, cloruro potásico** o **sulfato potásico** a concentraciones de 1,5 a 2,5% p/v aplicadas en primavera, verano y otoño aprovechando los tratamientos fitosanitarios (repilo y prais). La **figura 15.2** es una muestra las interesantes respuestas a la aplicación foliar de K en olivar de regadío. En el capítulo 18 se da información sobre las peculiaridades de la aplicación foliar con K.

En fertirrigación y en plantación intensiva Troncoso (1994) recomienda el abonado con 250 a 350 g/olivo de **K_2O** anualmente.

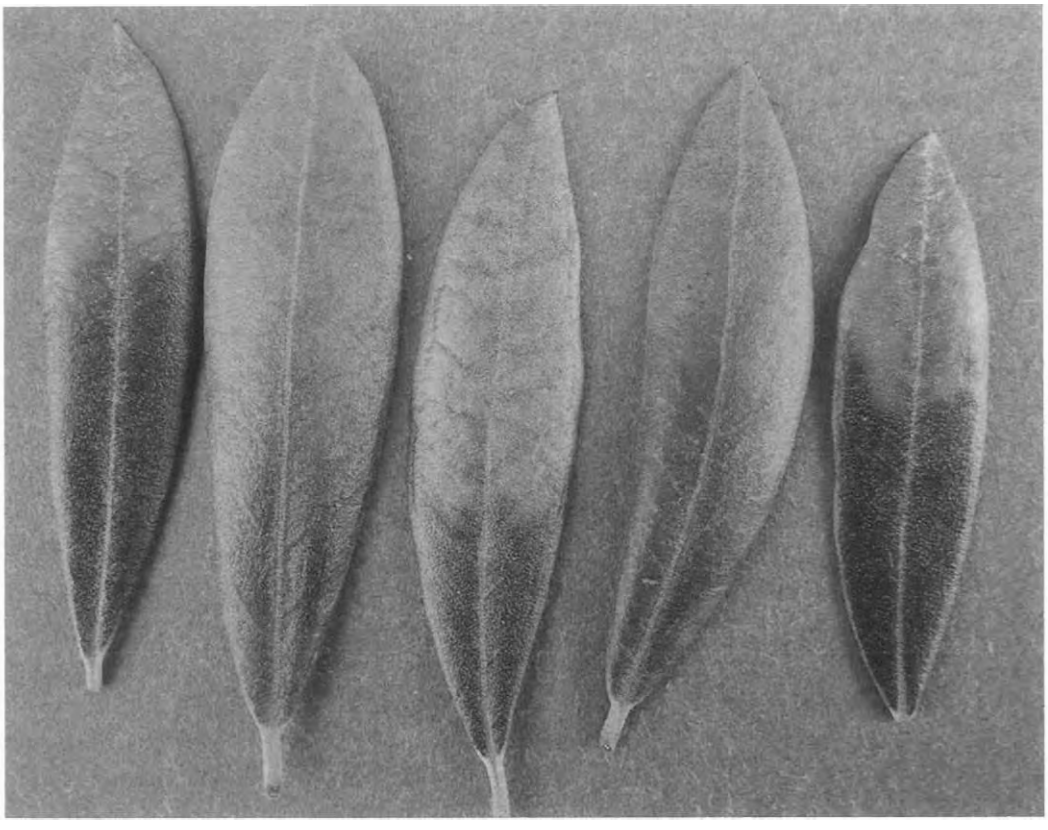
Mediante la aportación de potasio en fertirrigación se consigue un enriquecimiento del bulbo, tanto en profundidad como horizontalmente (ver capítulo 16). Sin embargo, los efectos sobre la producción del olivo pueden tardar 2 a 3 años en manifestarse. En este caso es muy importante que no se varíe la posición de los goteros en el suelo, lo que permite enriquecer permanentemente el bulbo húmedo, mejorándose asimismo la actitud del suelo en la cesión del **K** a la planta.

La utilización de soluciones fertilizantes que contengan potasio puede ser siempre de interés, especialmente a final de verano y en otoño. Teniendo en cuenta la experimentación realizada en Andalucía, podríamos proponer la aportación de un 20% del **K** total anual en forma **foliar**, y el resto (80 %) junto con el agua de riego. Recomendamos igualmente el fraccionamiento de la dosis anual de **K** repartida desde abril a octubre durante todo el tiempo de riego y en todos y cada uno de los riegos, empleando dosis mucho mayores a final del ciclo, pero asegurándonos de que exista suficiente cantidad de **K** en el suelo cuando el árbol lo necesite. En el capítulo 16 damos indicaciones sobre su fraccionamiento a lo largo del ciclo vegetativo anual.

5.- OTROS ELEMENTOS.

Existe una serie de elementos a los que normalmente se les atribuye una menor importancia que a los anteriores a la hora de programar la fertirrigación, pero que en ocasiones, debido a su deficiencia encubierta, pueden plantear problemas desde el punto de vista de la nutri-

ción, pudiendo ser causantes de la falta de respuesta a la aplicación de otros fertilizantes. Es el caso de **boro**, **hierro**, **calcio**, **zinc**, **magnesio** y **manganeso**. En prospecciones realizadas en Andalucía en olivares cultivados en suelos calizos, normalmente no se han observado deficiencias en dichos elementos, entre otras razones porque muchos olivareros los aportan en los tratamientos foliares, en los que emplean diversas formulaciones multielementos; y también porque el agua de riego los contiene, muchas veces en cantidades suficientes como para cubrir todas las necesidades del cultivo.



Fotografía 15.3: Hojas que muestran los primeros síntomas de una deficiencia en calcio. El olivar del que proceden las hojas vegeta en un suelo arenoso y ácido con unos muy bajos contenidos en calcio asimilable. El encalado del suelo ha resuelto rápidamente este problema.

A la hora de programar la aplicación de todos estos elementos en un programa de fertilización, como primera aproximación es importante atenerse a los resultados de los análisis foliares, tomando en general la decisión de aportar los macroelementos **Ca** y **Mg** solamente cuando el nivel de estos dos nutrientes en hoja esté *por debajo del ade*cuado, ya que en nuestros ambientes el agua de riego y el suelo suelen cubrir, con creces, las necesidades del cultivo. De lo contrario, si se realizaran aportaciones arbitrarias podrían producirse interacciones negativas entre nutrientes, afectando probablemente a la fisiología del árbol, o incluso inducir a deficiencias de otros elementos (**tabla 15.3**). Hay que destacar que en ocasiones unas

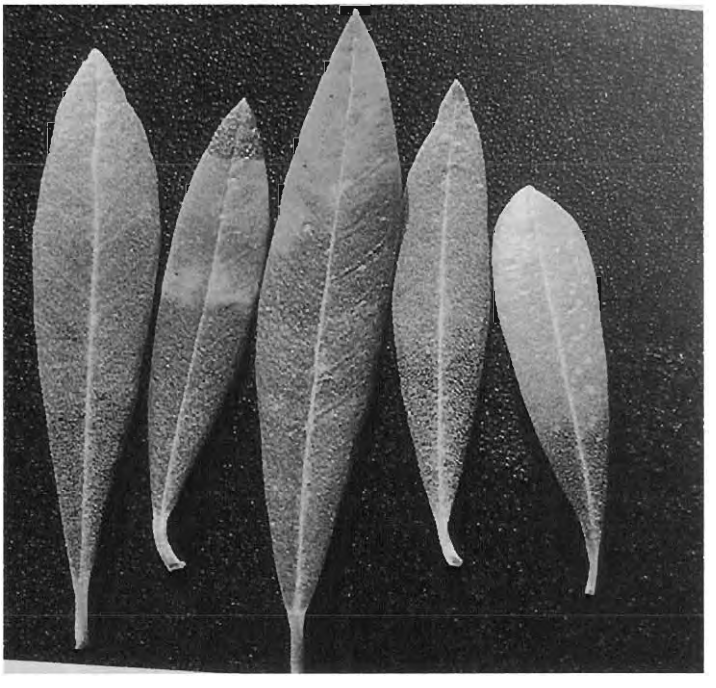
aportaciones innecesarias de K y Mg pueden crear desequilibrios nutricionales que podrían manifestarse como deficiencias de Ca, K o Mg.

Tabla 15.3. Interacciones entre elementos nutritivos.

Elemento	Favorece la absorción de	Dificulta la absorción de
Nitrógeno nítrico	Magnesio, Potasio	Boro, Fósforo
Nitrógeno amoniacal		Magnesio, Potasio
Potasio	Hierro	Calcio y Magnesio
Fósforo	Nitrógeno, Magnesio	Hierro, Zinc, Cobre, Potasio, Magnesio,Manganeso, Cinc y Boro
Magnesio	Molibdeno	Potasio y Calcio
Hierro	Fósforo	Manganeso

5.1.- Boro.

Se trata de un elemento que parece esencial para la planta ya que regula el metabolismo de los carbohidratos y el RNA, pero puede resultar tóxico en cantidades relativamente pequeñas, por lo que hay que vigilar su concentración en las aguas de riego. Es un elemento inmóvil en la planta, por lo que su suministro debe realizarse a lo largo de toda la campaña de riego y a la dosis adecuada. Las necesidades máximas se producen durante la floración, y su deficiencia



Fotografía 15.4: Hojas de olivo procedentes de Sierra de Gata (Cáceres) que muestran deficiencias de boro, en consonancia con un bajísimo contenido de B en el suelo. La sintomatología fue contrastada con el análisis foliar.

se manifiesta en corrimiento de flores que se traduce en una excesiva producción de *zofairones* (frutos pequeñitos y redondos, sin valor comercial).

La corrección de la carencia de boro (ver **fotografía 15.1**) puede hacerse aportando al suelo 200 gramos por árbol y año de **borato sódico** al final del invierno, siendo válida igualmente la aplicación a través de la red de riego. Aplicaciones foliares unos 30 días antes de la floración o al inicio de la brotación, a base de soluciones de una formulación comercial de borato sódico (20.8% B) al 0.5% también son efectivas.

En Andalucía la deficiencia de este elemento no es muy común en los olivares de regadío que vegetan en suelos calizos de campiñas, ya que en la mayoría de los casos contienen **B** en cantidades suficientes, y/o porque el agua de riego lo contiene en cantidades que aseguran la nutrición en este elemento. En los ***suelos ácidos*** y/o los muy **arenosos** y pobres, sí que pueden presentarse con más frecuencia deficiencias en boro, lo que en gran medida puede limitar la producción del olivar. Los olivares de la margen derecha del Guadalquivir en las inmediaciones de Sierra Morena muestran problemas en muchas ocasiones.

Teniendo en cuenta que el **B** puede estar presente en elevadas concentraciones en el agua de riego, lo mejor es diseñar la dosificación en función de los resultados del análisis de agua (Cadahía, 2000). Así la dosis de producto a emplear, expresada en gramos de formulado comercial por cada metro cúbico de agua de disolución de riego será:

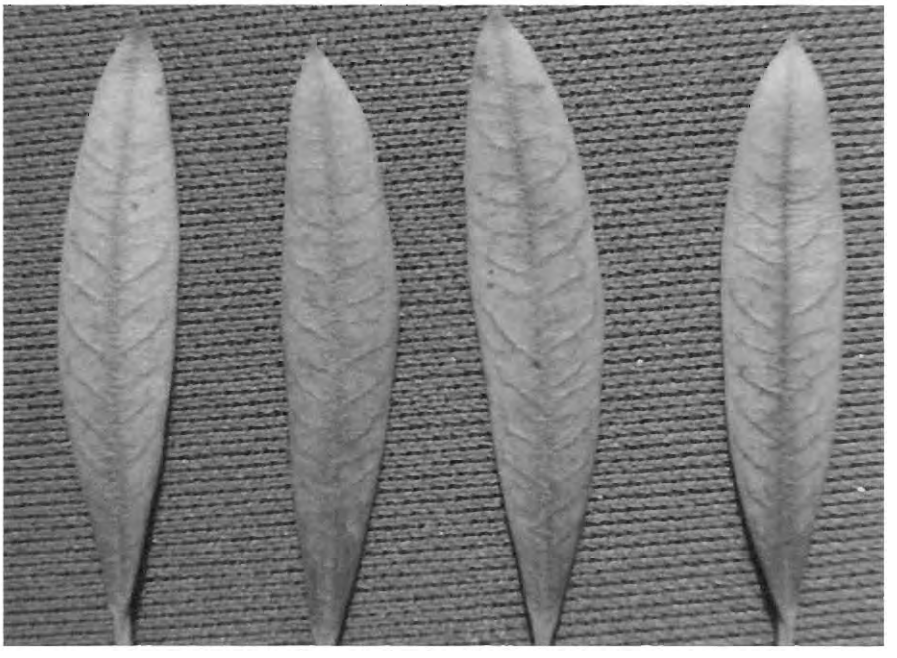
$$\text{Dosis (g / m}^3\text{)} = [100 \,.\, (3{,}5 - 7x) \,.\, I\,] \,/\, R$$

en donde **R** es la riqueza en tanto por 100 en B del producto comercial empleado, **x** es la concentración de B en el agua de riego, expresada en mg/l; e **I** el intervalo entre dosificaciones, en semanas. **Si la concentración de B en el agua de riego es superior a 0,5 mg/l, no es necesario abonar con B**. Teniendo en cuenta que los productos inorgánicos (ácido bórico o borato sódico) son fácilmente lavables en los suelos, su dosificación debe hacerse semanalmente o a lo sumo cada dos semanas. Los productos de B enlazado a trietanolamina pueden ser aplicados en un intervalo de tiempo **I** mayor, cada 2 a 4 semanas.

5.2.- Hierro.

La carencia de hierro (**Fe**) es frecuente en algunas zonas del olivar andaluz, en particular en olivares cultivados sobre suelos muy calizos o en los regados con aguas con altas concentraciones de bicarbonatos. La sintomatología de esta carencia, **clorosis férrica**, es muy específica y se produce porque en estos suelos el Fe se encuentra en formas no asimilables para la planta, agravándose el problema por el exceso del ión bicarbonato en el sistema agua-suelo-planta.





Fotografía 15.5 y 15.6: Arriba olivar fuertemente afectado de clorosis férrica, que vegeta en un suelo con un contenido en carbonato cálcico superior al 60%, en el que la erosión, acelerada debido a un inadecuado manejo del suelo, ha eliminado el horizonte A superficial. Abajo hojas de árboles cloróticos, obsérvense las nervaduras verdes sobre un fondo de hoja amarillento. Esta sintomatología (clorosis férrica)es típica de la deficiencia en hierro en olivar.

La **clorosis férrica** es una deficiencia de clorofila en hoja causada por un desarreglo en la nutrición de hierro (**Fe**). Cuando las plantas sufren deficiencia de **Fe** el efecto más visible se observa en las hojas más jóvenes, que muestran una característica amarillez internervial y una reducción de su tamaño. Teniendo en cuenta la escasa movilidad del Fe en la planta (**tabla 15.1**), en los casos en los que la clorosis no se corrija, las hojas más jóvenes pueden llegar a ser completamente amarillas y su tamaño se reduce considerablemente (*orejilla de ratón*, que así denomina el olivarero a esta sintomatología en algunas comarcas), observándose, en casos de clorosis severa, que los brotes afectados incluso pueden llegar a perder sus hojas. Un altísimo porcentaje de flores sin ovario es otra de las consecuencias de esta enfermedad nutricional, así como las irregularidades en el cuajado de los frutos, lo que llega a afectar muy negativamente a la producción final. Las aceitunas de los brotes cloróticos adquieren igualmente tonos amarillos o verde claros, que no llegan a alcanzar el tamaño adecuado y pueden llegar a perder su forma característica (ver **fotografía 15.7**). En general, los árboles afectados disminuyen su vigor, haciéndose casi imposible el rejuvenecimiento de ramas viejas mediante la poda de renovación clásica en olivar, afectándose muy negativamente la producción y en casos extremos los olivos pueden llegar a dejar de producir (ver **fotografía 15.5**).



Fotografía 15.7: A la izquierda aceitunas (amarillentas y de pequeño tamaño) procedentes de árboles afectados por clorosis férrica; a la derecha aceitunas (verdes y de buen tamaño) de la misma variedad procedentes de árboles no cloróticos debido al tratamiento del suelo con Fe-EDDHA.

El **análisis foliar no es eficaz para diagnosticar la deficiencia en hierro**, ya que es frecuente la acumulación de formas insolubles de hierro en hojas cloróticas debido a la la escasa movilidad del Fe en la planta. Por tanto el diagnóstico de esta carencia deberá realizarla una persona experta en función de los síntomas visuales, o mediante medidas del contenido en clorofila en hojas o en su defecto mediante determinaciones del índice SPAD, índice muy fácil de medir que una vez calibrado nos puede dar una valiosa información sobre el contenido de clorofila en hojas y probablemente sobre la existencia de clorosis temporales, inaparentes en ciertas épocas del año, que también pueden afectar a la producción del olivar como se ha demostrado experimentalmente.

La **sensibilidad a clorosis férrica** depende de la especie y de la variedad que estemos cultivando. En olivo se ha observado la existencia de variedades más resistentes a la clorosis como 'Cornicabra', 'Hojiblanca' y 'Nevadillo Negro' y más susceptibles como 'Picual' y 'Manzanilla de Sevilla'. La variedad 'Arbequina' muestra una sensibilidad extrema. Se sugiere igualmente que el injerto sobre patrones como 'Cornicabra', 'Hojiblanca' y 'Nevadillo Negro' podría conferir tolerancia a variedades injertadas sobre ellos.

La **clorosis férrica** raramente está causada por una deficienca absoluta de Fe. El contenido total de Fe en suelo (20.000-30.000 ppm) supera, con mucho, a las necesidades de las plantas (0,5 ppm). Por lo tanto, cualquier factor que afecte a la movilización de Fe del suelo disponible para la planta estará relacionado con la clorosis.

El suelo y su composición afectan a la aparición de clorosis en las plantas, pudiéndose destacar las siguientes propiedades edáficas:

- **pH de la solución del suelo**. Un pH básico afecta negativamente a la solubilidad de los compuestos de hierro y por tanto a su disponibilidad;

- **el contenido de óxidos de hierro amorfo**, no cristalinos, este contenido (determinación analítica mediante extracción con oxalato amónico a pH 3) está correlacionado con el contenido en clorofila de la planta, de modo que un contenido de 0,3 g/.kg separa para olivar los suelos inductores de clorosis de los que no lo son;

- en suelos con un aceptable contenido en **materia orgánica** se observan escasos problemas de clorosis, por lo que el estercolado al suelo puede reducir muchas veces su severidad, al ser la materia orgánica un buen agente quelante del hierro (Benítez *y col.*, 2002);

- la clorosis aumenta cuando **las concentraciones de bicarbonato** (HCO_3^-) y **nitratos** (NO_3^-) aumentan; así como cuando se **riega con aguas que tienen un alto contenido en bicarbonatos**;

- **competencia de iones** como Ca, Cu y Zn que pueden desplazar al Fe de los quelatos, especialmente cuando se aplican quelatos tipo Fe-EDTA o Fe-DTPA en suelos con pH superior a 6,5;

- estimular un **mayor desarrollo radicular del cultivo** favorecerá la absorción de hierro por la planta;

- la **compactación del suelo** crea condiciones inductoras de clorosis;

- finalmente **altas y bajas temperaturas del suelo** pueden favorecer la clorosis.

Cuando se va a realizar una nueva plantación, el análisis de suelo puede predecir la aparición de clorosis férrica en las plantas. El contenido en el suelo de óxidos de hierro amorfos (**Feox**), que es una forma de hierro soluble, está correlacionado con el contenido en clorofila de las hojas de olivo, y puede estimarse en laboratorio (extracción con oxalato amónico a pH = 3). El nivel crítico de **Feox** que separa los suelos inductores de los no inductores de clorosis férrica es de 0,18 g / kg de suelo para las variedades 'Manzanilla' y 'Hojiblanca', y 0,30 para 'Picual', por lo que esta variedad debe considerarse como más susceptible a clorosis férrica que las anteriores (Benítez *y col.*, 2002).

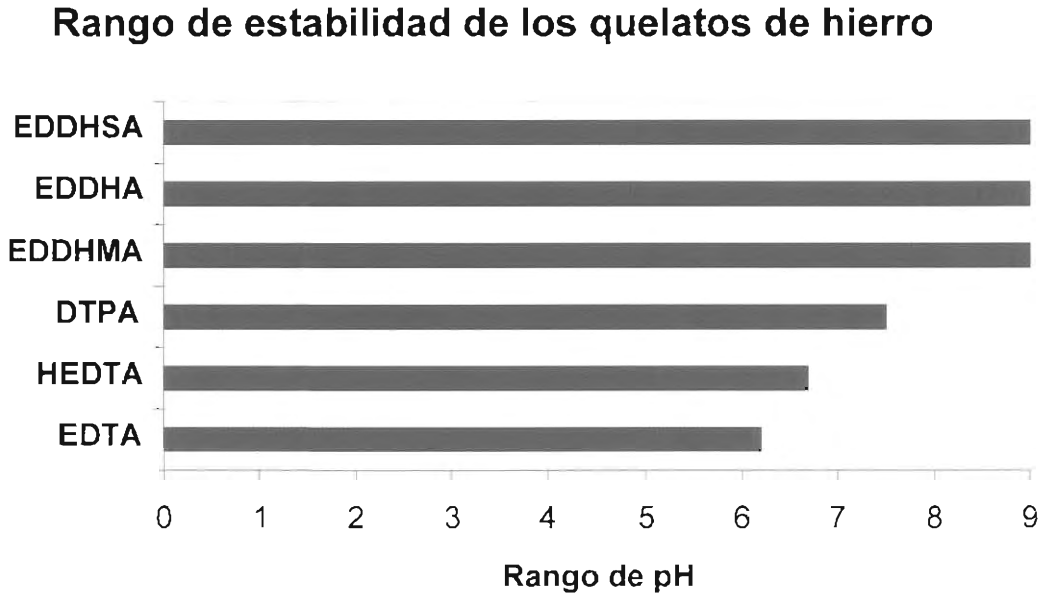


Figura 15.3: Rango de pH al que son estables en el suelo diferentes quelatos de hierro

En la literatura se citan numerosos sistemas para la corrección de la clorosis férrica en olivar (Fernández Escobar, 1999; Del Campillo *y col.*, 2000). En regadío el empleo de **quelatos** de hierro sintéticos, por ejemplo Fe-EDDHA, aplicados al suelo junto con el agua de riego, se ha mostrado como un procedimiento muy eficaz y seguro para la corrección de la clorosis.

Los quelatos y los complejos de hierro son moléculas en las que el Fe se ve rodeado de una molécula orgánica (agente quelante o complejante) que previene su precipitación en el suelo. Estos compuestos pueden ser de origen sintético (entre los que se encuentran los quelatos EDTA, DTPA, EDDHA, EDDHMA, EDDHSA, EDDCHA), o bien encontrarse en la naturaleza. Los quelatos sintéticos son ácidos poliaminocarboxílicos, y su estructura determina tanto la estabilidad del quelato férrico en el suelo, como su eficacia como fertilizante (Álvarez-Fernández *y col.*, 2003).

Los agentes naturales complejantes de hierro más utilizados son citrato, gluconato, heptagluconato, lignosulfonatos y otros compuestos orgánicos como los humatos. La menor estabilidad de estos complejos naturales en suelos calizos con respecto a los quelatos sintéticos, hace que sean poco utilizados, restringiéndose su empleo a las aplicaciones foliares (Alvarez-Fernández *y col.*, 2003).

La eficacia del agente quelante se medirá por la capacidad que éste tenga para:

- Incrementar la solubilidad del hierro
- Transportar el hierro hasta la raiz
- Ceder el hierro a la planta
- Tener capacidad para solubilizar más hierro
- Ser estable a pH elevado
- Resistir a la degradación de la molécula orgánica

Agentes quelantes sintéticos como **EDDHA** y sus homólogos **EDDHMA**, **EDDHCA** y **EDDHSA**, cumplen las anteriores características, al ser moléculas que tienen una gran afinidad por el hierro y capacidad para movilizarlo, transportarlo y ponerlo a disposición de las plantas. Al ser muy estables en el suelos calizos, son los más eficaces en la corrección de clorosis, siendo estables incluso a valores de pH superior a 9 (**figura 15.3**). En los suelos con pH básico el Fe se encuentra inmovilizado y, al no pasar a formar parte de la solución del suelo, la planta no es capaz de absorberlo. Sin embargo, los mencionados quelatos son también los más caros.

En la síntesis de la molécula **EDDHA** se producen tres diferentes isómeros ópticos: **orto-orto** (o,o), **para-orto** (p,o) y **para-para** (p,p). Los isómeros con grupos ***para*** hidroxi-fenil no forman quelatos tan estables en el suelo como los ***orto*** hidroxi-fenil, siendo este último el único reconocido por la normativa española y comunitaria como fertilizante (Cadahía, 2000). Es por esta razón por la que en suelos con altos valores de pH y bicarbonatos el **o,o- EDDHA,** por su mayor eficacia, es el más recomendable.

En función de las condiciones de fabricación del EDDHA, las proporciones de estos tres isómeros (o,o – p,o – p,p) pueden variar, afectando estas proporciones a su estabilidad en suelo y a la eficacia del producto como fertilizante, especialmente cuando éste se utiliza en condiciones de suelo realmente adversas. Entre los productos formulados que existen en la actualidad en el mercado, el porcentaje de Fe quelatado por el isómero ***o,o Fe-EDDHA*** varía entre el 3% y el 4,8%. Los ensayos realizados (Enseñat de Carlos, 2003) demuestran que a medida que aumenta este porcentaje la persistencia del producto es mayor, y por tanto también es mayor su eficacia a largo plazo. Cuando se compre alguno de estos productos debemos comprobar que este detalle quede perfectamente clarificado en etiqueta, lo que permitirá al agricultor el empleo del producto y la dosis más adecuados a sus necesidades (ver capítulo17), y la elección del formulado en función de la relación coste eficacia que queramos obtener.

Los quelatos de hierro **EDDHMA, EDDHCA** y **EDDHSA** solo presentan isómero *orto-orto*. Quelatos como Fe-EDDHSA, más barato que EDDHA, son bastante estables en suelos calizos (ver **figura 15.3**), por lo que pueden ser tenidos en cuenta en la programación del fertirriego a la hora de corregir la clorosis.

Finalmente los quelatos **Fe-EDTA** y **Fe-HEDTA** no son efectivos en terrenos calizos por no ser estables en suelos con pH superior a 6,5 (ver **figura 15.3**).

En el capítulo 17 se da una visión de la problemática legal vigente que debe tenerse en cuenta a la hora de adquirir los quelatos de hierro en el comercio. La **tabla 15.3** muestra las características que nos permiten recomendar el uso de los diferentes quelatos de hierro en las diferentes condiciones del suelo en cultivos de riego.

Tabla 15.3: Quelato de hierro recomendado en función de las características de suelo y del sistema de riego empleado (Lucena, 2003).

Quelato	%Fe quelatado	Características del suelo Riego		Riego goteo	Riego inundación	Utilización por la planta
		Suelos ricos en oxFe	Suelos ricos m.o.			
Fe-EDDHA	▲▲	▲	▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲
Fe-EDDHMA	▲▲▲	▲▲	▲	▲▲	▲	▲▲
Fe-EDDHSA	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	—	▲

▲▲▲ Muy bueno; ▲▲ Bueno; ▲ Medio; — Malo

En un ensayo de campo realizado durante 6 años (Pastor *y col.*, 2000) se demostró que en olivar tradicional con riego por goteo la aplicación de *quelatos* **Fe -EDDHA** en fertirrigación a dosis entre **50-75 g/olivo** de formulado comercial con el 3,2 % ***o,o Fe-EDDHA*** proporcionó excelentes resultados en la corrección de la clorosis, lo que se tradujo (**figura 15.4**) en un

significativo aumento de la producción del olivar (20%) y por consiguiente de la rentabilidad del cultivo, a pesar del alto coste que supone esta inversión. El retorno a la inversión fue de 7 unidades monetarias por cada unidad invertida en la adquisición del quelato.

La corrección de la **clorosis férrica** es muy rápida (días) cuando se emplea ***o,o Fe-EDDHA*** en fertirrigación. Sin embargo, en olivares muy afectados de **clorosis** puede ser lenta y difícil su corrección, incluso aplicando este tipo de quelatos, requiriéndose tiempo y unas dosis relativamente altas para lograrlo, pero acaba consiguiéndose la recuperación, antes que por cualquier otro procedimiento.

En fertirrigación la aplicación de **la dosis total del quelato de hierro debe fraccionarse** en varias aplicaciones anuales, la primera al inicio de la primavera (30 % de la dosis total), realizando dos nuevas aplicaciones del 25% cada una de ellas a lo largo de la primavera y principio del verano, y finalmente una cuarta aplicación al inicio de otoño (20%). El excesivo fraccionamiento en el tiempo de las aplicaciones del quelato parece que no mejora los resultados (Lucena, comunicación personal). En olivares afectados de clorosis la aplicación del quelato debe realizarse anualmente, aunque en el transcurso de los años normalmente pueden reducirse las dosis.

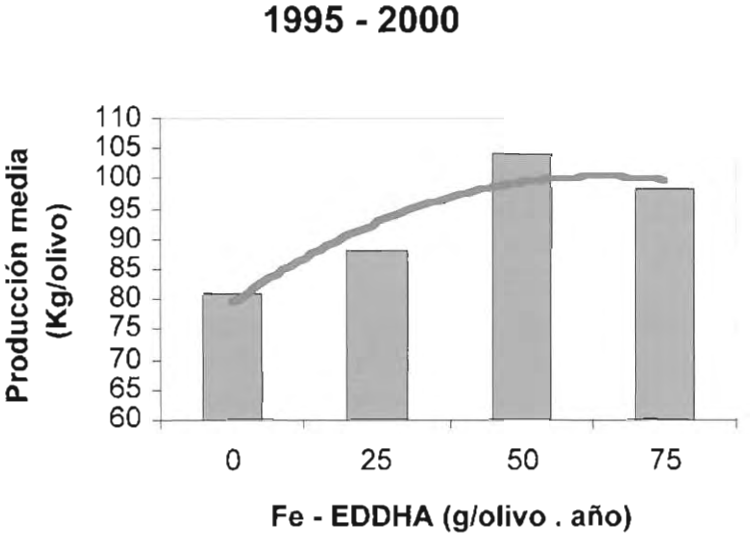


Figura 15.4: Respuesta de olivos adultos de riego a aportaciones anuales de Fe-EDDHA (Sequestrene = 3,2 % o,o Fe-EDDHA) en fertirrigación, tras 6 años consecutivos de realización sistemática de los tratamientos al suelo con quelato.

Por último debemos recordar que los quelatos de hierro son productos orgánicos de síntesis, muy estables en las condiciones para las que están diseñados, pero no en otros medios (por ejemplo pH < 4). Así pues, para un buen uso de los quelatos conviene mantener ciertas normas:

- No mezclar nunca con ácidos, lo que es especialmente importante en fertirriego localizado, donde es frecuente que se empleen soluciones nutritivas muy ácidas.
- No mezclar con elevadas concentraciones de fosfato, como puede ocurrir por descuido en las cubas donde se preparan las disoluciones de fertirriego.
- No mezclar con funguicidas cúpricos, ya que el Cu es el principal competidor con el Fe por los agentes quelantes, por lo que si el Cu está en concentraciones elevadas producirá la inactivación del quelato y la precipitación del Fe.
- No dejar que le degrade la luz, aplicándolo foliarmente o dejándolo en la superficie del terreno cuando se aplica. En este sentido el fertirriego permite una fácil incorporación del quelato en profundidad, mostrándose como una técnica muy adecuada de aplicación.
- Utilizar depósitos muy opacos cuando la solución fertilizante de microelementos que contiene el quelato va a almacenarse a la intemperie durante un cierto periodo de tiempo.

La **vivianita (fosfato ferroso hidratado)**, que es un abono de lenta liberación, inyectado en el suelo en solución acuosa a presión, alrededor del olivo, puede igualmente solucionar los problemas de clorosis en olivar (Del Campillo *y col.*, 2000), aunque su acción suele ser más lenta que la del Fe-EDDHA, pero con una duración de su efecto de al menos 4 – 5 años. Los árboles cloróticos tratados con **vivianita** no acaban por adquirir la tonalidad verde oscura que se observa en los árboles totalmente sanos o tratados con el mencionado quelato de hierro. Trabajos recientes (Cobo *y col.*, 2003) confirman la duración en el tiempo del efecto de la aplicación de **vivianita** al suelo, efecto remanente que se manifiesta en una mayor producción del olivar tratado, así como en unos mayores valores del contenido de clorofila en hojas (mayor índice SPAD) que los árboles control.

La **vivianita** puede obtenerse (Cobo *y col.*, 2003) mezclando en un depósito con 100 litros de agua 2,5 kg **fosfato diamónico** (agitar hasta disolución), y 7,5 kg de **sulfato ferroso**. Se obtienen de este modo 5 kgs de vivianita / 100 litros.

Las **aplicaciones foliares** con compuestos de hierro proporcionan unos resultados **poco satisfactorios** en general, debido probablemente a que son muy poco persistentes en el tiempo (decomposición por la luz), exigiendo continuas aplicaciones para mantener el árbol permanentemente verde, por lo que no son en general recomendables.

5.3.- Calcio.

El olivo tiene una marcada preferencia por los terrenos moderadamente calizos, siendo más sensible a la deficiencia de calcio (**Ca**) que otros cultivos. Este elemento es inmóvil dentro de la planta (**tabla 15.1**), por lo que debe ser suministrado de forma continuada a lo largo de la campaña. El agua de riego normalmente aporta cantidades adecuadas de Ca, y a veces excesivas. Las carencias en **Ca** (**fotografía 15.3**) no suelen presentarse en olivares cultivados sobre suelos calizos, aunque en suelos ácidos y en los arenosos, con unas reducidas cantidades de este elemento en el complejo de cambio, si pueden ser frecuentes los estados de deficiencia,

determinados estos mediante el análisis foliar (*<1.0 % sobre materia seca* en hojas tomadas en el mes de julio), deficiencia que incluso puede llegar a diagnosticarse visualmente si el estado nutritivo es bastante deficitario. En estos casos es necesario realizar su corrección, pudiendo ser recomendable la **práctica del *encalado* del suelo**. A veces pueden observarse niveles relativamente bajos de **Ca** cuando se abusa del abonado con **K**.

En **suelos muy ácidos**, considerados como tales los que tienen un pH inferior a 6, es posible el correcto desarrollo del olivo siempre que se corrijan algunas propiedades indeseables, propias de este tipo de suelos, en los que es frecuente una elevada actividad química del **aluminio** y de sus hidróxidos, así como una carencia de bases en el complejo de cambio. **Encalados** con **carbonato cálcico** (caliza finamente triturada) que reduzcan la actividad del aluminio a niveles tolerables para el olivo se consiguen con elevaciones del pH hasta 6,0 – 6,3. En caso de suelos con bajo contenido de magnesio disponible, se recomienda aplicar una enmienda cálcico-magnésica (dolomía finamente triturada); y de acuerdo con los niveles de potasio, será a veces aconsejable acompañar a las enmiendas con un abonado potásico.

En olivares de riego por goteo, la aportación de **nitrato de calcio** (15 %N + 26,5 CaO) en fertirrigación puede proporcionar los resultados más interesantes en la corrección de las deficiencias en calcio, aunque en plantaciones que han manifestado esta deficiencia siempre debería programarse la fertirrigación con **Ca**, junto con NPK, siguiendo las recomendaciones que se hacen en el capítulo 16. Recuérdese que en este caso es necesario disponer de un depósito independiente para almacenar la solución nutritiva que contiene el calcio, ya que el nitrato cálcico es incompatible con los formulados fertilizantes que contienen fosfatos y/o sulfatos (ver **tabla 17.3** del capítulo 17). La aplicación al bulbo bajo el gotero de piedra caliza (carbonato cálcico) o dolomía (carbonato cálcico magnésico) muy finamente molturadas puede ser igualmente interesante en algunos casos, y de hecho lo hemos recomendado para solucionar algún problema puntual, pero nos inclinamos siempre en estos caso por la programación de la fertilización con **Ca** a lo largo de toda la campaña.

5.4.- Magnesio.

Son raros los casos en los que se ha descrito la carencia de magnesio (**Mg**) en el olivo, manifestándose síntomas visuales para contenidos en hoja **inferiores al 0.07 %** en muestras tomadas en el mes de julio. La deficiencia en magnesio puede ser inducida por altas concentraciones de potasio, calcio y amonio en suelo, al ser el **Mg** peor competidor que el resto de iones. Este elemento es igualmente poco móvil dentro de la planta (**tabla 15.1**), por lo que su suministro en fertirrigación debe ser continuo a lo largo de la campaña. Muchas aguas de riego lo contienen en cantidades más que suficientes como para asegurar la nutrición del olivar (ver capítulo 16).

La corrección de la deficiencia en **Mg** puede realizarse también mediante pulverización foliar con sulfato de magnesio (*epsonita del 25%*), por ejemplo a la dosis de 0,5 – 0,7 %. El

Referencias bibliográficas

Álvarez-Fernández, A., Abadía, A., Abadía, J., Lucena, J.J.,2003. Diagnóstico y corrección de la clorosis férrica. Memorias del I[er] Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 158 – 166.

Álvarez-Fernández, A., 2003. Calidad y eficacia de los quelatos férricos sintéticos como fertilizantes. Memorias del I[er] Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 180 – 181.

Benitez, M.L., Pedrajas, V.M., Del Campillo, M.C., Torrent, J., 2002. Iron clorosis in olive in relation to soil properties. Nutr. Cyc. In Agroecosyst. 62: 47-52.

Cadahía, C., 2000. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Cobo, E., Barrón, V., del Campillo, M.C., Torrent, J., 2003. La persistencia de vivianita en la prevención de la clorosis férrica en el olivo. Memorias del I[er] Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 172 – 173.

Del Campillo, M.C., Barron,V., Torrent, J., Pastor, M., Castro,J., Hidalgo, J., Camacho, L., 2000. Clorosis ferrica del olivo y técnicas de corrección más adecuadas. Vida Rural, 108: 54-60.

Enseñat de Carlos, L., 2003. Quelatos Ciba. Memorias del I[er] Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 206 – 210.

Enseñat de Carlos, L., 2003. Fertilización, rentabilidad y medio ambiente: el caso de los quelatos. Memorias del I[er] Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 168 – 170.

Fernández-Escobar, R., 1999. Fertilización. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. El cultivo del olivo. Ed. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid. 265.245.

Ferreira, J., García-Ortiz, A., Frías, L., Fernández, A., 1986. Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. Olea, 17: 141-152.

Freeman, M., Uriu, K., Hartmann, H.T., 1994. Diagnosing and correcting nutrient problems. En: Olive Production Manual. L. Ferguson, G.S. Sibbett and G.C. Martin (Eds). Publication 3353. Ed. University of California.

Hartmann, H.T., Opitz, K.W., Bentel, J.A., 1986. La producción oleícola en California. Olivae, 11, 24-66.

Lucena, J.J., 2003. Clorosis férrica y su corrección. Quelatos de hierro. Documentación Técnica del Curso *Principios de la fertirrigación de cultivos leñosos y su aplicación al cultivo del olivar.* Universidad Internacional de Andalucía. Baeza (Jaén).

Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Ed. Academic Press. Londres

Navarro, C., 2003. Estrategias de fertilización en el olivar compatibles con el medio ambiente. Actas XI Simposium Internacional del Aceite de Oliva. Foro del Olivar y el Medio Ambiente. Jaén.

Ordóñez, R., Giráldez, J.V., González, P., 1992. Evolución temporal y estacional del nitrógeno depositado por la lluvia en el Valle del Guadalquivir. Actas de las X Jornadas Técnicas sobre Riegos. Asociación Española de Riegos y Drenajes. Albacete. 11-16.

Ortega Nieto, M.., 1964. Valor fertilizante del abono mineral y orgánico y sus relaciones con el agua en el olivo. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid.

Pastor, M., Vega, V., Suárez, R., 2000. El abonado potásico en olivar: fertilización foliar. Vida Rural, 115: 50-55.

Pastor,M., Castro,J., Hidalgo,J., Camacho,L, Del Campillo,M.C., 2000. Corrección de clorosis férrica en olivar mediante la utilización de quelatos Fe-EDDHA en fertirrigación. Edafología, 7-2:197-204.

Polo, M.J., Ordóñez, R., Giráldez, J.V., González, P., 1997. Aporte de nitrógeno efectuado por el agua de lluvia en el área de Córdoba. Actas XV Congreso Nacional de Riegos. Lleida. 94-101.

Soria, L., 2002. Fertilización y riego en el olivar de la provincia de Jaén: comarcas de La Loma y Sierra Morena. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén.

Troncoso, A., 1994 . Fertirrigación del olivo. Fruticultura Profesional. Suplemento del nº 2: 65 - 68.

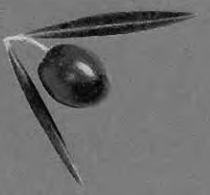
Troncoso, A., Liñán, J., Cantos, M., Zárate, R., Lavee, S., 1997. Influencia de la fertirrigación con urea sobre la disponibilidad de N-NO3Fruticultura Profesional



CAPÍTULO 16

LA FERTILIZACIÓN EN EL OLIVAR DE RIEGO

Miguel Pastor Muñoz-Cobo
Victorino Vega Macías
Juan Carlos Hidalgo Moya
Juana Nieto Carricondo





1.- INTRODUCCIÓN

2.- FACTORES A CONSIDERAR EN LA PROGRAMACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN DEL OLIVAR REGADO POR GOTEO
- 2.1.- Características agronómicas del suelo, de la plantación y de las prácticas de cultivo empleadas
- 2.2.- Estudio de los suelos
- 2.3.- Análisis del agua de riego
- 2.4.- Análisis foliar

3.- DINÁMICA EN EL SUELO DE LOS MACROELEMENTOS APORTADOS EN FERTIRRIGACIÓN.
- 3.1.- Nitrógeno
- 3.2.- Fósforo
- 3.3.- Potasio
- 3.4.- Magnesio

4.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN EN UN OLIVAR CON RIEGO LOCALIZADO

5.- CÁLCULO DE LAS DOSIS ANUALES DE ABONADO
- 5.1.- Necesidades nutritivas anuales
- 5.2.- Eficiencia de utilización de los fertilizantes
- 5.3.- Determinación de las dosis de abonado.
- 5.4.- Estimación de la capacidad productiva de un olivar
- 5.5.- Necesidades de abonado de diferentes tipos de olivar.
- 5.6.- Fertilizantes a emplear mensualmente a lo largo del ciclo de riego

6.- EL ANÁLISIS FOLIAR

7.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN OLIVAR DE REGADÍO

8.- PASOS A SEGUIR EN LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN UNA PLANTACIÓN DE OLIVAR DE RIEGO
8.1.- Cálculo de las aportaciones de nutrientes por el agua de riego
8.2.- Factores de corrección de las dosis de abonado a emplear
8.3.- Cálculo de la cantidad de fertilizantes a aportar anualmente.
8.4.- Programación de los fertilizantes a emplear mensualmente a lo largo del ciclo de riegos.

9.- MICROELEMENTOS

10.- APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES EN FERTIRRIGACIÓN

Referencias Bibliográficas

1.- INTRODUCCIÓN

Siguiendo el esquema propuesto por (Legaz Paredes y Primo Millo (2.000) el objetivo del abonado es incrementar la fertilidad natural del suelo, y por tanto, obtener:

- un aumento de la producción del cultivo y
- mejora de la calidad del fruto.

Sin embargo, la productividad es el resultado de la interacción de una serie de factores:

- los dependientes de la propia planta,
- los ambientales,
- los de cultivo.

Por tanto, para que la fertilización sea eficaz no debe existir otro factor que limite la productividad por debajo de los requerimientos nutricionales, ya que en tal caso la producción será muy escasa o nula, y no cabrá esperar respuesta a las aportaciones de fertilizantes. La **disponibilidad de agua a lo largo del ciclo de cultivo** es el principal factor limitante de la producción del olivar, lo que en muchas ocasiones limita la respuesta a la fertilización (Ortega Nieto, 1964).

Para efectuar un abonado racional es esencial :

- el conocimiento de las necesidades nutritivas de las plantas para:
    - el crecimiento vegetativo (fundamentalmente brotaciones que portarán la cosecha al año siguiente),
    - la producción (aceitunas en el caso del olivar),
    - el desarrollo de nuevos órganos.
- el conocimiento de los momentos en los que se producen éstas necesidades.

Para dosificar el abonado se ha de tener también en cuenta que el aporte de nutrientes siempre **será superior al consumo anual por las plantas**, ya que al aplicar los fertilizantes, por diversas causas, se origina un cierto **porcentaje de pérdidas.**

El desarrollo vegetativo y las cosechas extraen los principios nutritivos contenidos en el suelo y ocasionan una considerable disminución de su fertilidad. Por tanto, el abonado debe tratar de restituir al suelo, al menos en parte, las **extracciones de elementos que anualmente se realizan.**

En muchos casos los suelos contienen los elementos que las plantas necesitan para su desarrollo y en cantidad suficiente como para abastecerlas durante mucho tiempo. Sin embargo, muchas veces éstos nutrientes se encuentran en forma no asimilable, y la velocidad con que pasan a formas utilizables por las plantas es lenta y generalmente insuficiente.

Para **planificar la fertilización** es conveniente disponer de datos fiables correspondientes a:

- los **suelos**, a fin de evaluar:
  - la riqueza en elementos asimilables
  - aquellas características que pueden ser desfavorables o limitantes para el desarrollo del cultivo,

- al **agua de riego**, con objeto de conocer :
  - el contenido en **elementos nutritivos,**
  - presencia de **iones tóxicos** para la planta
    presencia de iones que puedan llegar a **producir precipitados** que puedan obstruir los emisores cuando se riega por goteo

- el **análisis foliar** nos proporcionará información sobre el **estado nutritivo de la plantación** y la respuesta al programa de fertilización que estamos aplicando.

2.- FACTORES A CONSIDERAR EN LA PROGRAMACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN DEL OLIVAR REGADO POR GOTEO

Los aspectos indicados anteriormente sugieren que en la determinación de la **dosis de abonado** deberán estar implicados los siguientes factores:

2.1.- Características agronómicas del suelo, de la plantación y de las prácticas de cultivo empleadas

La variedad, el porte del arbolado (edad, densidad de plantación, volumen de la copa), el desarrollo vegetativo y su frondosidad, etc., son parámetros que se utilizan para evaluar

la **capacidad productiva** de la plantación, y a partir de aquí sus **necesidades nutritivas anuales**. Más adelante se mostrará una sencilla metodología para la evaluación de dichas necesidades.

Además se evaluará:

- el **tipo de suelo**
  - ¬ profundidad,
  - ¬ drenaje,
  - ¬ análisis de suelos,
- las **prácticas de cultivo**
  - ¬ laboreo, no-laboreo, cultivo con cubierta vegetal (en este caso deben evaluarse por separado las necesidades del olivo y las de la cubierta),
  - ¬ sistema de riego
- la **modalidad de abonado**
  - ¬ tradicional
  - ¬ fertirrigación (cuando se dispone de instalaciones de riego por goteo),

ya que todas ellas influyen en la eficiencia en la utilización de los fertilizantes, así como en la forma de programar la aplicación de los mismos.

2.2.- Estudio de los suelos

El análisis de suelo aporta valiosa información sobre:

- la **disponibilidad** de elementos que pueden ser asimilados por la planta,
- características del suelo que inciden en el **comportamiento** de los abonos (capacidad de retrogradación a formas no asimilables de los elementos aplicados (interacción suelo-nutrientes)).

En fertirrigación en riego por goteo localizado la **fertilidad del suelo pierde**, en términos relativos, **la importancia que tiene en los métodos tradicionales de abonado**. Mientras que en éstos últimos el abonado es un **complemento de aporte** de nutrientes, en **fertirrigación** se trata de un **suministro continuo** de éstos.

Aunque el **análisis de la fertilidad del suelo no es un parámetro a tener muy en cuenta en la fertirrigación**, es conveniente conocer aquellas características del suelo que pueden

ser desfavorables o limitantes de la disponibilidad de los nutrientes, lo que puede llegar a afectar al desarrollo del cultivo:

- el pH,
- el contenido de carbonato cálcico,
- el contenido en arcilla,
- el contenido en sales (CE).

2.3.- Análisis del agua de riego

Los **datos analíticos del agua de riego** permiten evaluar su **calidad** y el **contenido en sales minerales,** que una vez incorporadas al suelo durante el riego pueden actuar como **fuente de elementos nutritivos para la planta.** La calidad del agua de riego es un factor muy a tener en cuenta en cualquier tipo de riego, y en especial en riego por goteo. Por ello, debe mantenerse un **control** de la misma, tanto más riguroso cuanto peor sean las características del agua, debido a la toxicidad de ciertos iones para el cultivo, o porque estos pueden afectar a las propiedades físicas de los suelos. Ese control es especialmente necesario en fertirrigación, ya que pueden producirse **insolubilizaciones de sales** (fundamentalmente las de calcio) que pueden **obturar los goteros** o producir **incrustaciones** en las tuberías que acabarán afectando negativamente al funcionamiento de la instalación.

2.4.- Análisis foliar

Por el momento es el método más adecuado para diagnosticar **el estado nutritivo de la plantación**, ya que además nos informa sobre:

- la **absorción real de nutrientes por la planta**,
- la existencia de **estados carenciales** o **excesos nutricionales**,
- la existencia de **antagonismos entre nutrientes**.
- permite evaluar las **reservas** disponibles de aquellos elementos que son móviles en la planta.

3.- DINÁMICA EN EL SUELO DE LOS MACROELEMENTOS APORTADOS EN FERTIRRIGACIÓN.

La aportación puntual (gota a gota) y en superficie de **N**, **P**, **K** y **Mg** junto con el agua de riego determina una distribución espacial característica de cada nutriente en el bulbo, que depende de:

- cada elemento en particular
- del tipo de fertilizante empleado,
- del tipo de suelo,
- del manejo de la instalación de fertirriego,
- de la aportación involuntaria de nutrientes junto con el agua de riego.

Por tanto, es necesario conocer el comportamiento y movimiento de los nutrientes en el bulbo, lo que permitirá determinar su aplicación en la forma más adecuada, de modo que la absorción por la planta sea óptima.

Tabla 16.1: Contenido en NO_3^- en bulbo y fuera del bulbo en un olivar que vegeta en un suelo muy calizo en el que se ha aplicado durante dos años consecutivos un programa de fertirriego de 100 kg N/ha y año.

Profundidad	DENTRO DEL BULBO Distancia al emisor			FUERA DEL BULBO
	0 cm	25 cm	50 cm	
0-20 cm	2,7	43,4	73,8	5,9
20-40 cm	3,3	24,9	70,8	3,4
40-60 cm	3,1	19,4	53,0	2,1

3.1.- Nitrógeno

Distintas fórmulas aplicadas pueden producir en el suelo diferentes reacciones y comportamientos que deben ser tenidos en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de fertilizante **N** a emplear.

Cuando se fertirriega con **fórmulas amoniacales**, la aportación reiterada de dosis bajas de este fertilizante concentra el catión NH_4^+ (amonio) a poca distancia del punto de aplicación, siendo adsorbido por los coloides del suelo. Cuando la concentración de NH_4^+ debajo del punto de aplicación llega a ser elevada, subsiguientes aportaciones podrían saturar la capacidad de intercambio catiónico del suelo y el amonio podría ser arrastrado en profundidad por el agua. Sin embargo, parte de este amonio puede ser tomado directamente por la planta, y otra parte puede ser transformado en nitrato (NO_3^-) por los microorganismos del suelo, cuya velocidad de transformación y puesta a disposición por las raíces de la planta depende de la temperatura del suelo. Además del NO_3^- absorbido por las raíces, otra parte se solubiliza y se mueve en el suelo con el agua de riego, siendo arrastrado hacia la periferia del bulbo (movimiento horizontal) y en profundidad, tal como podemos ver en los datos presentados en la **tabla 16.1**, que muestra como queda empobrecida por el lavado la zona inmediatamente debajo del gotero, que presenta niveles de **N** incluso más bajos que la zona fuera del bulbo, zona no afectada por el riego y el abonado.

Si se realizaran fuertes aportaciones de **N** en forma nítrica y con baja frecuencia de aportación, probablemente se producirían grandes acumulaciones de NO_3^- en la periferia del bulbo, por lo que si se produjeran lluvias de cierta intensidad o se dan riegos excedentarios se lixiviará **N** en profundidad lejos de la zona explorada por las raíces (**pérdidas**), por lo que solamente una parte del **N** aportado quedaría a disposición de la planta, disminuyendo la eficacia del fertilizante. La siguiente tabla (Baena *y col.*, 2004)muestra los contenidos de N en la solución del suelo cuando la fertirrigación se realiza con idéntica cantidad de N pero empleando dos modalidades de aplicación diferentes: una vez a la semana, y durante una fracción relativamente pequeña del tiempo total de riego (práctica habitual en la mayoría de las explotaciones olivareras); o disuelto en el agua de riego, con aplicación continuada del N a lo largo de todo el tiempo de riego y en todos y cada uno de los riegos:

Distribución del contenido (mg/kg) en NO_3^- en la solución del suelo mojado por los goteros en función de la forma de aplicación del N en fertirrigación. En las dos modalidades de aplicación se ha utilizado idéntica cantidad de N en el periodo de tiempo considerado. (Fuente: Baena, *y col.* 2004)

Distancia al emisor (cm)	Profundidad (cm)	Modalidad	
		Aplicación puntual del N	Aplicación contínua del N
10	10	155	633
10	25	371	671
25	10	162	837
25	25	21	1.336

Vemos como el contenido de **N** en la solución del suelo (disponible para la planta) es muchísimo mayor en la segunda de las alternativas (fertirrigación continua con N = riego con solución nutritiva) que en la primera alternativa (= riego con agua sin fertilizante durante la mayoría del tiempo), debido a que se producen unas grandes pérdidas por lavado del NO_3^- en profundidad fuera del alzance de las raíces cuando se riega unicamente con agua.

El manejo ideal del abonado **N** en fertirrigación podría ser el siguiente:

- fraccionar la dosis total anual de **N** a aportar a lo largo de toda la campaña de riegos,
- **aplicar el N en todos los riegos y durante la mayor parte del tiempo que dura el riego**, asegurado a final de cada riego un correcto lavado de la instalación utilizando solamente agua durante el menor período de tiempo posible, con ello evitaremos que queden restos de fertilizante en las tuberías, lo que deterioraría la instalación.
- usar preferentemente **nitrato amónico** soluble como fuente de **N**.

- aunque en ocasiones hay que recurrir a la **urea** para obtener soluciones fertilizantes con una baja temperatura de cristalización (**soluciones invierno**), en este caso debemos procurar que la proporción de urea utilizada sea la mínima imprescindible para conseguir dicho fin, otra posibilidad es emplear soluciones comerciales muy diluidas. Esta segunda opción siempre es la más aconsejable.

- en el riego con **aguas con un alto contenido en cloruros** es frecuente la recomendación de que se utilice **urea** como fuente de **N**, argumentándose que con ello no aumentará la salinidad del agua de riego; esta recomendación no es correcta. Con este tipo de agua siempre es recomendable **aumentar la concentración de nitrato** de la solución nutritiva, aumentando así la cantidad aportada por olivo, lo que reducirá la absorción de cloruros por el cultivo.

Tratando de conseguir una máxima eficacia, se recomienda aportar el **N** en función de las necesidades estacionales del cultivo, según el estado fenológico en que se encuentra. En el apartado 5.6 de este capítulo se da una recomendación sobre el porcentaje mensual a aplicar en función de la dosis total anual prevista.

3.2.- Fósforo

Los iones **fosfatos** difieren totalmente de los nitratos en cuanto a su comportamiento en el suelo, no estando los primeros sometidos a excesivos riesgos de pérdidas por lixiviación fuera del bulbo humedecido por el gotero.

El **P** es un nutriente muchísimo menos móvil en el suelo que el **N**, por lo que aportaciones puntuales en superficie producen acumulaciones elevadas en zonas cercanas al punto de aplicación. En fertirrigación el movimiento en profundidad es mucho mayor que en fertilización convencional, habiéndose comprobado en trabajos experimentales descensos de hasta 50 cm. Después de 2-3 años de fertirrigación **P** son normales movimientos de más de 30 cm, tanto en sentido vertical como horizontal, lo que hace que este elemento pueda ser bastante bien asimilado por el cultivo. El reducido movimiento de **P** en suelos calizos es debido a su inmovilización por precipitación, por lo que se produce una reducción de la cantidad de **P** disponible para la planta, aspecto este que debe ser tenido en cuenta a la hora de programar el abonado, aplicando los correspondientes índices correctores, así como su adecuado fraccionamiento.

La **tabla 16.2** muestra el contenido de **P** asimilable en un bulbo después de la aplicación de un programa de fertirrigación empleando ácido fosfórico como fuente de **P** durante las dos campañas anteriores. Vemos como el bulbo se ha enriquecido en **P**, fundamentalmente en la zona inmediatamente debajo del gotero (0-60 cm de profundidad), observándose igualmente un desplazamiento lateral del fertilizante, que ha sido detectado hasta 50 cm del emisor, aunque a esta distancia los aumentos de concentración ya son mínimos.

Los anteriores datos permiten aconsejar el abonado **K** en fertirrigación, y aunque a corto plazo, en ocasiones, pueda no encontrarse respuesta productiva al abonado, ya que el árbol puede explotar la reserva de K en el suelo durante un cierto período de tiempo. Cuando se fertirriega evitaremos que se produzca una reducción de la fertilidad del bulbo, lo que a medio y largo plazo puede llegar a ocasionar problemas de deficiencias nutritivas al olivar, especialmente cuando se producen años secos, años en los que el olivo debe extraer del bulbo la mayoría de los nutrientes que necesita, y en las cantidades adecuadas, lo que no es posible si la aportación del fertilizante no se ha realizado, y el bulbo se encuentra esquilmado en ese momento.

En el apartado 5.6 de este capítulo se da una recomendación sobre el porcentaje mensual a aplicar en función de la dosis total anual prevista.

3.4.- Magnesio

El magnesio (**Mg**) es bastante móvil en los bulbos. Los datos disponibles sobre el movimiento de **Mg** en bulbos son los correspondientes a aportaciones involuntarias de **Mg** al regar durante dos años empleando aguas con un contenido de 2,6 meq/l (= 31 mg/l Mg). La **tabla 16.4** muestra el contenido de **Mg** en el bulbo a distintas profundidades y a distintas distancias al emisor. En ella se puede observar que se ha producido un aumento muy significativo del **Mg** en todas las profundidades (0 a 80 centímetros) y para las diferentes distancias al emisor (0 a 60 cm), con relación a los valores observados en la zona de suelo no afectada por el riego. Estos datos muestran igualmente que cuando se riega con aguas que contienen **Mg**, esta aportación puede ser suficiente como para asegurar que se cubran las necesidades del cultivo, a pesar de que en terrenos calizos una parte importante del nutriente aportado precipitará en el suelo (40-60 %).

Tabla 16.4: Valores medios de Mg extraíble con acetato amónico (ppm) en bulbos de olivar regado durante dos años con un agua que contiene 2,6 meq/l de Mg.

Profundidad	DENTRO DEL BULBO Distancia al emisor (cm)				FUERA DEL BULBO
	0	20	40	60	
0-20 cm	131	152	149	128	63
20-40 cm	161	165	147	125	71
40-60 cm	146	117	126	103	75
60-80	130	103	94	80	71

En casos como el presentado habrá que vigilar las cantidades de **K** a aportar con la finalidad de evitar los antagonismos K/Mg , ya que a medio o largo plazo podría inducirse deficiencias en la nutrición potásica.

4.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN EN UN OLIVAR CON RIEGO LOCALIZADO.

En un **olivar de regadío** con instalación de riego localizado la aplicación de los nutrientes disueltos en el agua de riego (**fertirrigación**) parece la forma más lógica de aplicar los fertilizantes, teniendo en cuenta las indudables ventajas que además esta práctica proporciona, fundamentalmente el ahorro de mano de obra, así como la asimilación más eficiente de los nutrientes por la planta.



Fotografía 16.1: En un olivar de regadío los clásicos métodos de aplicar los fertilizantes no parecen los más adecuados, todo lo contrario. Cuando se dispone de una instalación de riego localizado, la aplicación de los nutrientes disueltos en el agua de riego (fertirrigación) parece la forma más lógica de aplicar los fertilizantes, teniendo en cuenta las indudables ventajas que además esta práctica proporciona.

Aunque ya se han iniciado estudios para poner a punto la técnica de **fertirrigación en olivar**, ésta es en estos momentos **la gran desconocida**. Pero teniendo en cuenta la importante superficie de olivar regado, hemos preferido, con todas las reservas, dar unas recomendaciones básicas teniendo en cuenta: las tendencias observadas en otros cultivos leñosos de

hoja perenne, fundamentalmente los cítricos por su gran analogía, cultivo en el que existe una gran experiencia; y las orientaciones de algunos de los autores que han trabajado en este tema en olivar. Debemos tener en cuenta que se trata de una primera aproximación, que aparentemente puede mostrar cierta discordancia, en algunos aspectos, con relación a nuestras anteriores publicaciones. Debemos decir también que la aplicación de la metodología de programación del abonado, que en este capítulo presentamos, ha proporcionado resultados espectaculares en las fincas y comunidades de regantes en las que se ha aplicado, por lo que hemos creído que podría ser conveniente su publicación, en ausencia de otra información para olivar de riego.

Debemos decir también que aunque se haya estado recomendando la **aplicación discontinua de los fertilizantes en fertirrigación**, con aportaciones en un solo día a la semana o cada quincena, e incluso en el último tercio de cada riego, recientes estudios parecen demostrar la **conveniencia de aplicar la solución nutritiva durante la totalidad del tiempo de riego**, especialmente el N, debido a su gran solubilidad. Ello sin duda mejora la eficiencia del abonado. Si aplicáramos solamente agua después de haber inyectado la solución nutritiva probablemente conseguiríamos acelerar el proceso de **lavado** de los nutrientes, fundamentalmente el N, desplazándolos fuera del alcance de las raíces. Teniendo en cuenta que normalmente se riega con soluciones nutritivas muy ácidas, la aportación continuada de este tipo de soluciones durante la totalidad del tiempo de riego permitirá mantener en el bulbo un **pH** algo más bajo, lo que probablemente aumentará la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta, además de evitar la **obturación** de los goteros y la formación de **incrustaciones** en tuberías.

Finalmente queremos decir también que la práctica del **abonado foliar** debe ser tenida en cuenta en muchas ocasiones en los programas de abonado en olivar de regadío, en especial para corregir problemas específicos, debido a la rápida respuesta que se obtiene a este tipo de aplicaciones. Es el caso del **potasio** y el **nitrógeno**, elementos con los que hemos obtenido muy buenos resultados. En el capítulo 18 se tratará este tema con mucho mayor detenimiento.

5.- CÁLCULO DE LAS DOSIS ANUALES DE ABONADO

Para aportar una dosis adecuada de abono a una plantación de olivar tenemos que considerar:

1. la **cantidad de nutrientes que estimamos consume el cultivo anualmente**,
2. la **eficiencia** o proporción de elementos que aprovecha el cultivo cuando se aplican los fertilizantes, teniendo en cuenta la capacidad del suelo para adsorber y bloquear nutrientes.

5.1.- Necesidades nutritivas anuales

Estas necesidades se definen como la cantidad de elementos nutritivos que la planta consume durante el ciclo vegetativo anual. En la determinación de las necesidades se incluye el consumo en:

- producir la cosecha
- el desarrollo de nuevos órganos vegetativos (raíces, hojas, tallos, y brotes)
- el crecimiento de los órganos viejos permanentes (tronco y ramas de diverso orden).

A efectos de considerar los **órganos viejos** que participan en el balance global de exportación de nutrientes hacia los órganos en crecimiento y la posterior recuperación de los elementos exportados a partir de los fertilizantes aplicados, es preciso distinguir entre hojas viejas y los órganos viejos permanentes (troncos, ramas y raíces). Éstos últimos, durante la brotación y floración de primavera, exportan una porción muy considerable de su contenido en nutrientes móviles y en condiciones favorables para la absorción. Posteriormente deben recuperar del suelo su nivel inicial de nutrientes, por lo que no se tendrán en cuenta éstos órganos en el balance general de nutrientes. Sin embargo, las hojas de ciclos anteriores (**hojas viejas**), sí que deben considerarse como fuente de nutrientes, ya que al principio del ciclo vegetativo retranslocan hacia los nuevos órganos una proporción muy considerable de su contenido en elementos móviles, y que cuando las condiciones del medio y de la planta les permitirían recuperar parte de los elementos exportados, una proporción muy considerable de estas hojas ya se ha desprendido del árbol.

El proceso **brotación-fructificación** consume una cantidad muy considerable de nutrientes. De éstos, una parte es extraída por la **cosecha** y el resto es restituido al suelo por la caída de inflorescencias, botones florales y frutos pequeños recién cuajados. Los elementos contenidos en éstos órganos y en la hojas viejas desprendidas se reincorporan lentamente al suelo, y a medio y largo plazo pueden ser de nuevo reabsorbidos por los olivos.

Para establecer las cantidades de fertilizantes (N, P, K, y Mg) que habría que aportar anualmente al olivar, habría que determinar:

- el **consumo anual de nutrientes** por los árboles, y
- los porcentajes de éstos **nutrientes** que son **aportados por las reservas contenidas en tallos y hojas viejas.**

Las diferencias entre ambos valores constituyen las necesidades anuales de éstos elementos, que habría que restituir mediante el abonado.

5.2.- Eficiencia de utilización de los fertilizantes

El concepto de **eficiencia de utilización de los fertilizantes** se define como la proporción de un elemento que es aprovechado por el árbol cuando se aplica una dosis determinada del mismo. El porcentaje de eficiencia de un nutriente determinado aplicado a una plantación de olivar se expresa:

Eficiencia (%) = Nutriente absorbido (kg) x 100 / Nutriente aplicado (kg)

Generalmente la relación existente entre la cantidad de elemento aplicado y la cantidad de elemento aprovechado no es lineal, de modo que conforme se aplican dosis mayores de abonado la eficacia disminuye. Por ello sería necesario calcular la eficacia para la dosis de nutriente considerada como óptima para cada cultivo, y en particular, en este caso para el cultivo del olivo, dato que en este momento se desconoce para las prácticas de fertirrigación en olivar.

5.3.- Determinación de las dosis de abonado.

En una primera aproximación, y tratando de obtener una buena producción y mantener simultáneamente los niveles de fertilidad del suelo, teniendo en cuenta asimismo la eficiencia en la utilización de los fertilizantes, las aportaciones de nutrientes a un olivar **por cada 1.000 kg (t) de capacidad productiva** podrían cifrarse en:

Nutriente	kg / t
N	15
P_2O_5	4
K_2O	15
MgO	3
CaO	20

Estas cifras se han propuesto teniendo en cuenta Domínguez Vivancos (1993) y los datos publicados por la Estación de Olivicultura de Jaén (Ferreira *y col.*, 1986), por el CEBAS de Sevilla (citados por Ferreira *y col.*, 1986) y por la Universidad de Perugía (Tombesi *y col.*, 2002).

Por tanto, a un olivar con una capacidad de producción de 5.000 Kg/ha de aceitunas (50 Kg/olivo para una densidad de plantación de 100 árboles por hectárea) habría que aportarle:

Nutriente	kg / ha	g / olivo
N	75(1)	750
P_2O_5	20	200
K_2O	75	750
MgO	15	150
CaO	100	1.000

(1) 5 t/ha x 15 kg N / t = 75 kg N /ha

Teniendo en cuenta que en el olivar de aceituna de mesa la recolección es mucho más temprana, podríamos considerar una cierta reducción de la dosis de potasio a aplicar, teniendo en cuenta una menor exportación de este elemento por la cosecha, por lo que proponemos una aportación de **10 -12 Kg** de **K_2O** por tonelada de producción, que en este caso podría ser suficiente.

También deberíamos plantearnos la posibilidad de establecer correcciones a las dosis de abonado a emplear, teniendo en cuenta la capacidad de determinados tipos de suelo para la adsorción de determinados nutrientes o el bloqueo de nutrientes en suelos calizos. Igualmente deberíamos establecer correcciones teniendo en cuenta el estado nutritivo de la plantación a abonar.

Teniendo en cuenta los resultados que nos proporciona el análisis de suelos: contenido en **arcilla** (que nos evalúa el riesgo de lixiviación del **N** aportado y la capacidad de adsorción del **K**) y del contenido en **carbonato cálcico** (bloqueo del **P**), de forma orientativa las cantidades a aportar, expresadas en kg de **N**, **P_2O_5** y **K_2O** por cada tonelada de capacidad productiva de la plantación, serán las siguientes:

	Aportaciones (Kg de nutriente /t) Contenido de arcilla del suelo (%)		
	Menor que 10%	20%	Mayor que 40%
N	17	15	13
K_2O	20	15	20

	Aportaciones (Kg de nutriente /t) Contenido de carbonato cálcico del suelo (%)	
	Menor que 20%	Mayor que 40%
P_2O_5	4	6

Proponemos igualmente correcciones de la cantidad de fertilizante a utilizar en función de los resultados obtenidos en el análisis foliar de la parcela (ver **tabla 16.6**). Teniendo en cuenta que este aspecto está poco estudiado en el cultivo del olivo, tanto para el **N** como para el

P y **K**, proponemos los siguientes **factores de corrección (Fc)**, que multiplicados por la dosis de fertilizante calculada en función de la capacidad productiva y del tipo de suelo nos dará la cantidad de fertilizante a aplicar ese año:

Estado nutritivo de la plantación	Factor de corrección (fc)
Deficiente	x 1,2
Bajo	x 1,1
Adecuado	x 1,0
Alto	x 0,9

Como consideración final debemos decir que en muchas ocasiones el olivarero llega a plantearse, por diferentes circunstancias, restringir la cantidad de dinero que quiere emplear en fertilización. Aunque esta decisión es muy poco recomendable en un olivar muy productivo, en este caso la prioridad es suministrar siempre el /los nutriente/s que puedan encontrarse en la planta en niveles bajos o en deficiencia (**ley de los mínimos**). En situaciones de normalidad nutritiva para todos los nutrientes, el **nitrógeno** es el elemento que generalmente suele ser más rentable en regadío. En los suelos arcillosos y calizos debemos **siempre** recomendar la aplicación de **potasio**. El **abonado foliar**, práctica habitual en Andalucía, puede cubrir una fracción de las necesidades totales de potasio (Pastor *y col.*, 2000) cuando en fertirrigación no se realizan aportaciones de este nutriente. La fertilización foliar tiene un coste económico razonable cuando se emplean abonos potásicos baratos y se aprovechan los tres tratamientos fitosanitarios clásicos para aportarlo (repilo primavera y otoño y prais a final de la primavera). Estas aplicaciones foliares deben realizarse teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones (ver capítulo 18):

- aplicar cuando existan hojas jóvenes desarrolladas, preferible cuando el árbol esté en activo crecimiento
- evitar los tratamientos en las horas centrales del día, ya que la evaporación del pulverizado es inmediata, restando eficacia a la aplicación.
- añadir urea al 1 % e incluso un mojante.

Cuando se fertirriega con una dósis adecuada de K no está suficientemente claro que sea necesario realizar aportaciones foliares complementarias al fertirriego.

5.4.- Estimación de la capacidad productiva de un olivar

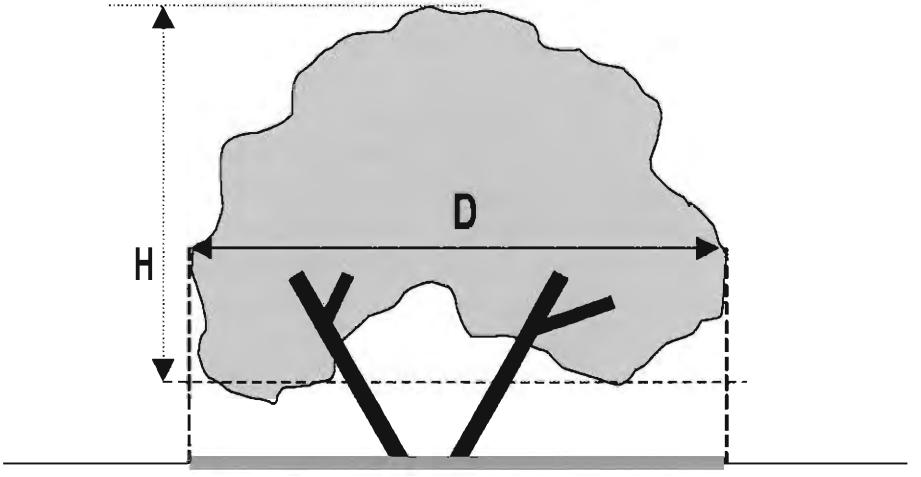
Cuando el agua no es el factor limitante, la producción del olivar depende directamente de la cantidad de radiación solar interceptada por la copa de los árboles. La superficie exter-

na del árbol (envolvente de la copa de los olivos) puede ser un estimador de la cantidad de radiación interceptada.

Tal como se ha señalado anteriormente, la cantidad de abono a aportar debe ser función de la capacidad productiva de la plantación a abonar. Esta capacidad productiva, en una primera aproximación, podría estimarse empleando la expresión:

$$P = S \times i$$

siendo **P** la **producción de aceitunas** con un 20 % de rendimiento graso, expresado en kg/hectárea; **S** la **superficie exterior iluminada** de la copa del árbol, en m^2/olivo; mientras que **i** es el **índice de cosecha**, en kg aceitunas / m^2 de superficie de copa, que en olivares adultos de riego tiene un valor medio de **0,80 kg / m^2** (0,70 – 1,00 kg / m^2), mientras que en olivar joven (3 a 8 años < > volumen de copa inferior a 4.000 m^3/ha) tiene un valor medio de **1,30 kg / m^2** (1,10 – 1,50 kg / m^2), datos que han sido obtenidos experimentalmente por los autores en los últimos años.



El valor de la superficie exterior iluminada del árbol (**S**) o superficie de fructificación puede estimarse conociendo las dimensiones medias de la copa de los árboles, altura (**H**) y diámetro medio (**D**), y la densidad de plantación (**N**) en árboles por hectárea:

$$S = \pi \times D \times H \times N$$

La estimación de **H** y **D** debe hacerse en campo, midiendo directamente un número suficiente de olivos representativos del olivar que vamos a abonar. Estos parámetros son igualmente necesarios en programación de riegos (ver capítulo 5) para el cálculo de las necesidades de agua de la plantación.

Aunque en los últimos años se han puesto a punto modelos más complejos de predicción de la capacidad productiva de las plantaciones, modelos basados en la estimación de la radiación interceptada por la copa de los árboles (Mariscal, 1998), a efectos de programación de la fertirrigación el modelo empírico que hemos propuesto, que relaciona la capacidad productiva con la superficie de la copa (estimador igualmente de la radiación solar interceptada por los árboles), nos parece adecuado por su sencillez para el rango de densidades de plantación y tamaños de copa en los que nos movemos en las plantaciones comerciales.

Ejemplo:

Si conocemos que el olivar adulto a abonar tiene una densidad de plantación de N = 100 olivos/ha y que las dimensiones medias de los olivos que integran la plantación son D = 6,49 m y H = 5,00 m, la producción media esperada sería de:

$$\mathbf{P = \pi \times D \times H \times N \times i} = 3{,}14 \times 6{,}49 \times 5{,}00 \times 100 \times 0{,}80 = \mathbf{8.151\ kg\ /\ ha = 81{,}5\ kg/olivo}$$

5.5.- Necesidades de abonado de diferentes tipos de olivar.

Utilizando el modelo de estimación de la capacidad productiva del olivar, presentado en el apartado anterior, podemos calcular las cantidades de fertilizantes que habría que aportar a diferentes olivares tipo (diferentes densidades de plantación y volúmenes de copa), en función de las restituciones que habría que realizar por cada tonelada de cosecha que esperamos producir. En la **tabla 16.5** presentamos las cantidades (kg/olivo) de **N**, **P_2O_5**, **K_2O**, **CaO** y **MgO** que habría que aportar anualmente a olivares con densidades de plantación de 100, 200 y 300 olivos/ha en función del volumen de copa de la plantación, definido este volumen por el diámetro medio de la copa de los árboles que componen la plantación. En la mayoría de los olivares andaluces no es necesario aportar el **Ca** en los programas de fertirrigación ya que es suministrado por el agua de riego y por el propio suelo (recordamos que se trabaja casi siempre en suelos calizos en los que el calcio satura el complejo de cambio en muchas ocasiones). Si esto no fuese así (suelos arenosos, suelos ácidos y en cualquier caso los que tienen un bajo contenido en Ca^{2+}), este elemento debería ser tenido en cuenta en la programación de la fertirrigación, aportándolo en este caso como nitrato cálcico (ver capítulo 17), no descartando en muchas ocasiones la realización de una enmienda caliza (encalado).

Teniendo en cuenta que la superficie de la copa de un árbol está relacionado con su volumen (**S = 6 x V / D**) y que la producción depende de dicha superficie, es fácil comprender los datos presentados en la **tabla 16.5**, en la que se observa que para una misma densidad de plantación las necesidades de fertilizantes aumentan al aumentar el volumen de copa de los olivos, mientras que para un mismo volumen de copa por hectárea las necesidades de abonado aumentan al aumentar la densidad de plantación, ya que, como se vio anteriormente, la capacidad productiva de un determinado olivar depende de la de la radiación solar interceptada y por tanto de la superficie de copa de la plantación. Por ejemplo, en un olivar de rega-

Tabla 16.5: Necesidades de fertilizantes por olivo para diferentes olivares de riego en función del diámetro de copa de los árboles y la densidad de plantación, en suelos que no restringen de una forma importante la absorción por la planta de los nutrientes aportados.

Densidad olivos/ha	Volumen copa m^3/ha	Diámetro copa (m)	CAPACIDAD PRODUCTIVA t / ha	N kg/ha	P_2O_5 kg/ha	K_2O kg/ha	CaO kg/ha	MgO kg/ha
100	8.000	5,8	5,7	86	23	86	114	17
	10.000	6,3	6,7	101	27	101	134	20
	12.000	6,7	7,5	113	30	113	150	23
200	8.000	4,5	7,5	113	30	113	150	23
	10.000	4,9	8,6	129	34	129	172	26
	12.000	5,2	9,7	146	39	146	194	29
300	8.000	3,9	8,7	131	35	131	174	26
	10.000	4,1	10,1	152	40	152	202	30
	12.000	4,4	11,5	173	46	173	230	35

día con 100 olivos/ha y un volumen de copa de 8.000 m^3/ha habría que aportar anualmente 86 kg N /ha; mientras que si el volumen de copa fuese de 12.000 m^3/ha la aportación sería de 113 kg N /ha. Para un volumen de copa de 10.000 m^3/ha si la densidad fuese de 100 olivos/ha habría que aportar 101 kg N /ha, mientras que para una densidad de 300 olivos/ha la aportación debería ser de 152 kg N /ha.

5.6.- Fraccionamiento de los fertilizantes a lo largo del ciclo de riego

Las cantidades de nutrientes **N, P_2O_5** y **K_2O** a aportar mensualmente por olivo a lo largo de la campaña de riegos no debe ser homogénea, dependiendo esta dosificación del momento del ciclo vegetativo en que se encuentren los árboles. Deberíamos aportar el **N** en mayor proporción en el periodo primavera-verano (mayo a julio), época en la que se produce una mayor demanda de este nutriente como consecuencia del gran crecimiento vegetativo y del cuajado y crecimiento inicial del fruto, recomendándose reducir la dosis de este nutriente a partir de principio del mes de agosto tras el endurecimiento del hueso. El **K** lo aportaremos en mayor proporción a partir del endurecimiento del hueso hasta el final de verano y especialmente durante el otoño, para así poder atender la gran demanda que supone la extracción de este nutriente por los frutos en esta época del año (efecto sumidero), demanda que puede dejar desabastecido el árbol a final del ciclo (necrosis en hojas y defoliación), lo que afectará al desarrollo vegetativo y productivo en la campaña siguiente, haciéndo al árbol más sensible a ciertas enfermedades (como repilo y vivillo). Finalmente el **P** se podrá aportar en cantidades mensuales prácticamente iguales a lo largo de la campaña, teniendo en cuenta el escaso movimiento del P en el bulbo, lo que hace pensar que se producirán escasas pérdidas de este elemento por lixiviación, aunque sí bloqueos, lo que aconseja el fraccionamiento.

Por las razones dadas anteriormente proponemos, de modo orientativo, unos **porcentajes mensuales de reparto de la dosis anual de fertilizantes** (**figura 16.2**), cifras basadas en datos experimentales bastante coincidentes con lo que pensamos puede ser ideal para que el cultivo disponga de los nutrientes necesarios en cada uno de los momentos críticos del ciclo vegetativo, evitando pérdidas por inmovilización y lixiviación. El fraccionamiento propuesto permitirá un correcto suministro de nutrientes durante todo el ciclo, lo que se traducirá en un adecuado crecimiento vegetativo, en una buena fructificación y llenado de los frutos, así como en una adecuada maduración de las aceitunas durante el otoño.

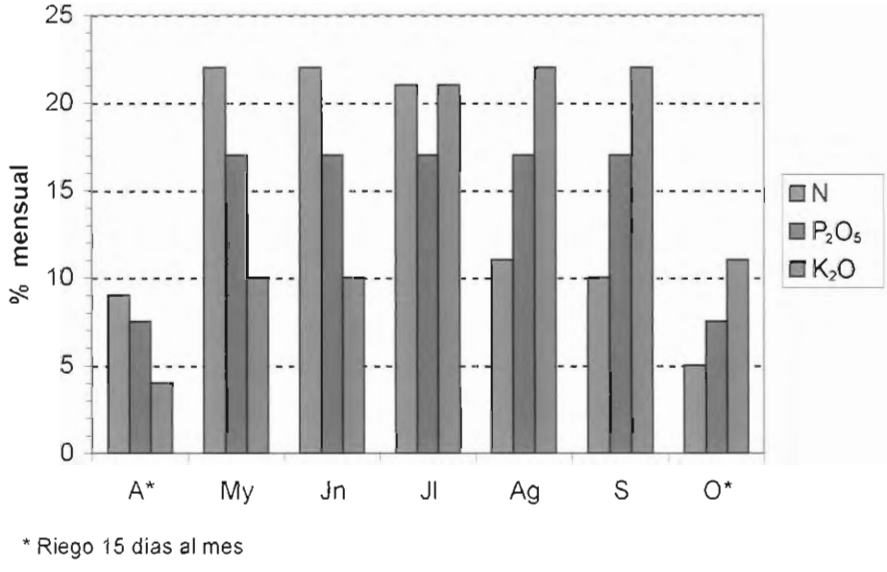


Figura 16.2: Fraccionamiento de la aportación anual de nutrientes. Aportaciones mensuales de N – P – K a lo largo de la campaña anual de fertirrigación (15 abril – 15 octubre), expresados en porcentaje de la dosis total anual.

6.- EL ANÁLISIS FOLIAR

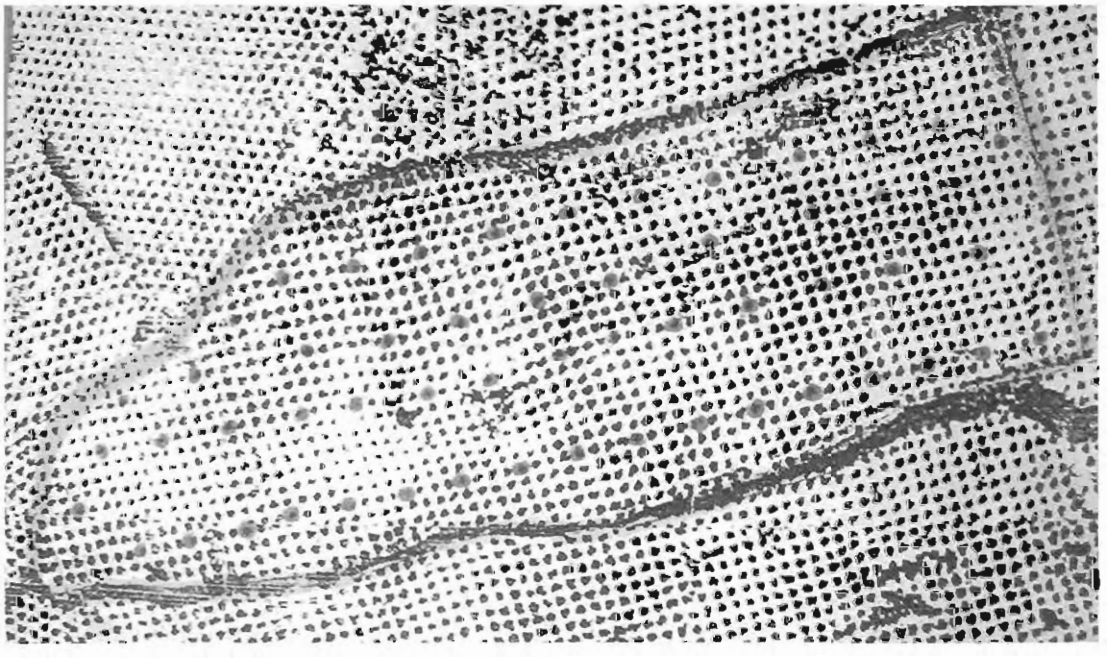
El análisis de las hojas de olivo, recogidas en unas condiciones estandarizadas, es una técnica que:

- permite el seguimiento de la respuesta del olivar al abonado realizado en años anteriores.
- informa de la posible existencia de deficiencias nutritivas.
- teniendo en cuenta los resultados del análisis foliar realizado en el verano anterior sugie-

re correcciones (+ ó -) a realizar sobre las necesidades de nutrientes calculadas en función de la capacidad productiva de la plantación.

Los contenidos en hoja de los distintos elementos nutritivos presentan variaciones en el tiempo y según la posición en el brote y en el árbol de la hoja muestreada. Para que los datos proporcionados por el análisis foliar sean fiables deben seguirse las normas que damos a continuación:

- Dentro de una determinada finca determinar parcelas que sean homogéneas (**fotografía 16.2**) en cuanto a tipo de suelo, variedad, tipo de árboles, técnicas de cultivo empleada, etc.
- La muestra debe estar compuesta de unas 250 hojas tomadas al azar de unos 60-70 olivos representativos de la parcela muestreada, siguiendo un itinerario previamente establecido. La fotografía aérea puede ayudar a realizar dicho itinerario y a delimitar, dentro de la zona o finca, parcelas relativamente homogéneas. Se procurará muestrear todos los años los mismos árboles.



Fotografía 16.2: Para un correcto diagnóstico del estado nutritivo de una finca de olivar el primer paso es seleccionar, dentro de la propia finca, parcelas homogéneas en cuanto a suelo, tipo de olivar, edad, variedad, etc. Una vez seleccionada la parcela (en la imagen fotografía aérea y parcela seleccionada enmarcada en amarillo) y antes de tomar la muestra de hojas en el campo, de una forma aleatoria se fijará el itinerario a seguir, y en el itinerario los árboles de los que vamos a tomar las hojas (señalados en rojo), árboles que también serán muestreados en años sucesivos, lo que mejorará la fiabilidad del seguimiento a largo plazo de la parcela. La muestra de hojas tomada de los árboles seleccionados representará la media de la parcela.

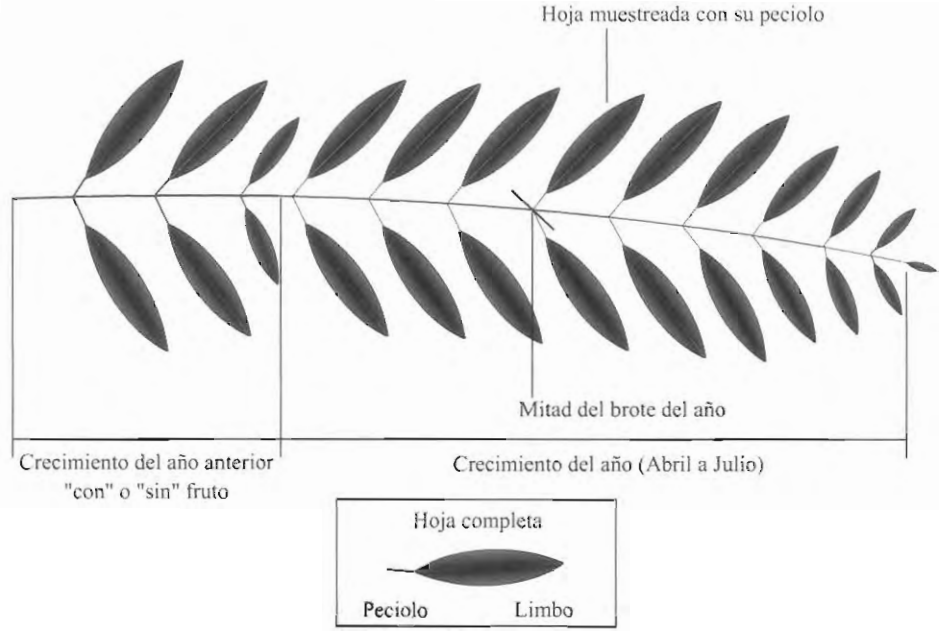


Figura 16.3: Tipo de hojas del crecimiento del año empleadas para el análisis foliar. Dentro de un brote se tendrá en cuenta el tramo correspondiente al crecimiento del año, tomando solamente hojas de la mitad de este tramo, bien desarrolladas y expandidas, que no presenten ninguna anormalidad. Se tomará la hoja completa, incluyendo el pecíolo, y sin la yema axilar.

- La muestra se tomará durante el mes de julio, ya que solo en esta época existe suficiente constancia analítica y contamos con una tabla de valores de referencia (**tabla 16.6**) para la interpretación de los resultados que nos muestra el análisis foliar.
- Las hojas se tomarán alrededor del olivo y en las cuatro orientaciones (N – S – E – O), a la altura de la cara de la persona que toma las muestra, en brotes tomados al azar (desechando los brotes vigorosos de crecimiento vertical) y que no tengan aceitunas. Dentro de un brote se tendrá en cuenta el tramo correspondiente al crecimiento del año (**figura 16.3**), tomando solamente hojas de la mitad de este tramo, bien desarrolladas y expandidas, que no presenten ninguna anormalidad (ataque de plagas o enfermedades, necrosis, etc.). Se tomará la hoja completa, incluyendo el pecíolo, y sin la yema axilar.
- Las hojas tomadas en el campo se almacenarán inmediatamente en un sobre de papel dentro de en una nevera portátil, hasta el envío al laboratorio. Si no son entregadas inmediatamente, se almacenarán en frigorífico a una temperatura de 4ºC.
- Es muy importante que a la llegada al laboratorio y antes de realizar el análisis se laven las hojas con agua bidestilada para eliminar contaminaciones y restos de abono foliar. La eficacia en el lavado se mejora adicionando un mojante no iónico (Triton-X por ejem-

plo), frotándolas con la yema de los dedos. Si esta operación no la hiciese el laboratorio, debemos hacerla nosotros. No observar esta práctica puede llevar a resultados analíticos que no muestren el estado nutritivo real de la plantación.



Fotografía 16.3: El laboratorio de análisis de las muestras de hoja es el pilar básico del diagnóstico del estado nutritivo de las plantaciones de olivar. De una correcta manipulación de las hojas (recepción, lavado, secado y conservación hasta su análisis) unido al estricto seguimiento de los métodos analíticos, dependerá la fiabilidad de las determinaciones analíticas que se le encomienden. En la imagen espectrofotómetro de absorción atómica en el laboratorio del Servicio de Asesoramiento al Regante de Caja Rural de Jaén.

Para que las recomendaciones que se hagan apoyándonos en los resultados proporcionados por el análisis sean fiables, es necesario tener en cuenta que:

- el análisis debe estar hecho por un laboratorio de garantía, que haya contrastado con otros laboratorios los resultados obtenidos,
- siempre debe tenerse en cuenta los programas de abonado realizados ese año o en años anteriores, así como los resultados de los análisis de suelos y el seguimiento visual de la parcela sobre la que hacemos las recomendaciones.

Aceptando como momento más adecuado para la toma de muestras de hojas para análisis foliar la segunda decena del mes de julio, queda por conocer si los valores de referencia mos-

trados en la **tabla 16,6** son adecuados para todos los tipos de olivar. Conviene recordar que estos valores fueron propuestos por Freeman *y col.* (1994) a partir de estudios realizados en el olivar de regadio de California (USA). Actualmente se trabaja en la determinación de valores estandar de referencia para diversas zonas de regadio andaluzas (campiñas de la provincia de Jaén y comarca de Estepa en la provincia de Sevilla), estudiando estos estándares para las variedades 'Picual', 'Hojiblanca' y 'Arbequina'.

Tabla 16.6: Tabla de referencia para la interpretación de los resultados del análisis foliar en muestras tomadas en el mes de julio (Reglamento Andaluz de Producción Integrada de Olivar. BOJA nº 88. 18 julio 2002). Adaptado de Freeman *y col.*, 1994.

ELEMENTO	DEFICIENTE	BAJO	ADECUADO	ALTO
N (%)	Menor 1,40	1,40-1,49	1,50-2,00	Mayor 2,00
P (%)	Menor 0,06	0,06-0,09	Mayor 0,10	
K (%)	Menor 0,40	0,40-0,79	Mayor 0,80	Mayor 1,0
Ca (%)	Menor 0,30	0,31-0,99	Mayor 1,00	
Mg (%)	Menor 0,08	0,08-0,10	Mayor 0,10	
Mn (ppm)			Mayor 20	
Zn (ppm)			Mayor 10	
Cu (ppm)			Mayor 4	
B (ppm)	Menor 14	15-18	19-150	

7.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN OLIVAR

En base a lo expresado en apartados anteriores, vamos a resolver un caso práctico, y simultáneamente presentaremos las herramientas básicas para llevar a cabo la programación del fertirriego.

El esquema a seguir es el siguiente:

1.- Evaluar las **aportaciones de fertilizantes** en función de la **capacidad productiva** de la plantación.

2.-Estudiar los **análisis de suelo**, especialmente los contenidos en:

- **arcilla**
- **carbonato cálcico**

Como ya se ha dicho, en riego localizado el análisis de suelo tiene escasa relevancia desde el punto de vista de la programación de la fertirrigación (Legaz y Primo Millo, 2000). En la práctica solo en el caso de suelos muy arcillosos o con un contenido muy alto en carbonato cálcico debemos considerar que pueden producirse interacciones suelo-solución nutritiva que aconsejen aumentar las cantidades de nutriente a aportar para asegurar la correcta nutrición del cultivo. Este aspecto es especialmente importante en el caso de la programación del abonado **P** y **K**, y lo hemos tenido en cuenta a la hora de hacer las recomendaciones para el cálculo de las aportaciones a realizar en olivares de riego de Andalucía (apartado 5.3 de este capítulo). Este aspecto podría resolverse de una forma más precisa en cada caso en función de los resultados del estudio de la **interacción suelo del bulbo - solución fertilizante**, aspecto muy a tener en cuenta en la toma de decisiones, que siempre debería considerarse a la hora de programar la fertirrigación, ya que este análisis nos mostraría la proporción de nutriente disponible para la planta en función de la cantidad total aportada.

El **contenido en arcilla** del suelo tiene gran importancia a la hora de proyectar la instalación de riego localizado, fundamentalmente en lo que respecta a la determinación del número de emisores a instalar por olivo (ver capítulo 10). Si la instalación está correctamente diseñada y aseguramos la ausencia de pérdidas de agua y nutrientes por lixiviación, en terrenos arcillosos podríamos plantearnos una reducción de la cantidad de **N** a aplicar, dependiendo la cuantía de esta reducción del porcentaje de arcilla del suelo y del manejo que hagamos de nuestra instalación.

3.- Estudiar los **análisis de agua de riego**, ya que esta puede aportar, en ocasiones, una parte importante de las exigencias nutritivas (**N, Ca, Mg, K**). Por otro lado el agua puede necesitar la aportación de correctores de pH para evitar obturaciones de los emisores, **ácido nítrico** y/o **fosfórico**, en cuyo caso hay que evaluar las aportaciones de **N** y **P** respectivamente.

4.- Conocer el **estado nutritivo** de la plantación (**análisis foliar**), con la finalidad de corregir al alza o a la baja la aportación de fertilizantes con respecto a las teóricas necesidades. Si el contenido en hoja de un determinado nutriente resultara ser **deficiente** o **bajo** habría que aumentar la dosis de abono a aportar anualmente, hasta corregir dichos desarreglos; mientras que si el análisis mostrara un nivel **alto**, habría que plantear reducciones de dicha dosis.

5.- En base a los anteriores puntos 1, 3 y 4 calcular finalmente las **necesidades totales** de **N, P, K** y **Mg** a aportar anualmente y su distribución mensual fraccionada a lo largo del período de riegos (**Programa de Fertilización**). Cuando trabajamos en olivares asentados en suelos calizos, las necesidades de calcio normalmente quedarán cubiertas por el contenido de calcio en el propio suelo y las aportaciones del agua de riego. Por esta razón no lo vamos a tener en cuenta en la programación. Como es natural, en otro tipo de suelos sí que habrá que tenerlo en cuenta; el análisis de aguas y suelo nos alertará sobre esta necesidad.

6.- Elegir los **fertilizantes más apropiados para fertirriego** (abonos solubles simples o soluciones líquidas complejas ácidas), para cubrir las necesidades de la plantación a abonar.

7.- Vigilar finalmente el **pH del agua a la salida de los goteros** con el fertilizante disuelto a la dosis adecuada, lo que permitirá evaluar la necesidad de adicionar algo de ácido nítrico para acondicionar el agua y evitar obturaciones, así como para mantener el pH de la solución del suelo en un valor adecuado, que permita una buena asimilación de los nutrientes aportados.

8.- PASOS A SEGUIR EN LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN UNA PLANTACIÓN DE OLIVAR DE RIEGO

A continuación, y a través de la resolución de un **ejemplo**, vamos a realizar un programa de abonado para un olivar tradicional dedicado a la producción de aceituna de almazara. Las características de la plantación a fertirrigar son las siguientes:

- marco de plantación 100 olivos/ha (10 x 10 m),
- capacidad productiva 7.100 kg aceituna por hectárea,
- parámetros climáticos y tipología de suelos: demanda evaporativa y pluviometría media en la provincia de Jaén (ETo= 1.200 mm, pluviometría media 500 mm/año, y suelos profundos y arcillosos (**tabla 16.7**)).
- volumen anual de agua de riego de 1.500 m^3/ha con riegos en el período 15 de abril a 15 de octubre (6 meses) con cantidades fijas mensuales de 250 m^3/ha, programa de contrastada eficacia (Pastor *y col., 1999)* para el citado tipo de suelos (ver **tabla 16.7**) y climatología.

Tabla 16.7 : Análisis de suelo de la plantación para la que vamos a programar el riego

	VALORES OBSERVADOS	INTERPRETACIÓN del ANÁLISIS
pH (1 : 2,5)	7,93	Alto
Materia orgánica oxidable (%)	1,09	Bajo
Fósforo asimilable (Olsen) (ppm)	8	Muy bajo
Potasio asimilable (ppm)	545	Alto
Carbonatos totales (%)	41,3	Alto
Calcio asimilable (meq/kg)	32,6	Muy alto
Magnesio asimilable (meq/kg)	2,76	Normal
Análisis granulométrico:		
Arena total (%)	19	
Limo (%)	36	
Arcilla (%)	4	
Clasificación textural (FAO): ARCILLA		

En la **tabla 16.7** se muestran los resultados del **análisis de suelos** realizado en la parcela a fertirrigar, así como la interpretación de los resultados. La **tabla 16.8** muestra los resultados del **análisis foliar,** en muestreo realizado en el mes de julio, presentándose igualmente en la misma tabla la interpretación de dichos resultados analíticos, teniendo en cuenta los **valores de referencia (tabla 16.6)**. Finalmente la **tabla 16.9** muestra los valores medios anuales de los **análisis del agua** utilizada para el riego de este olivar, correspondientes a diferentes muestreos realizados a lo largo del año.

Tabla 16.8: Análisis foliar del mes de julio de la plantación que vamos a abonar

Elemento	Valor obtenido	Interpretación (*)
N (%)	1,38	Deficiente
P (%)	0,08	Bajo
K (%)	0,65	Bajo
Ca (%)	2,48	Adecuado
Mg (%)	0,13	Adecuado
Mn (ppm)	27	Adecuado
Zn (ppm)	12	Adecuado
Cu (ppm)	47	Adecuado
B (ppm)	31	Adecuado

(*) Reglamento Andaluz de Producción Integrada de Olivar. BOJA nº 88. 18 julio 2002 (tabla 16.6)

8.1.- Cálculo de las aportaciones de nutrientes por el agua de riego

A continuación vamos a realizar una **evaluación de las aportaciones de nutrientes por el agua de riego**, teniendo en cuenta el análisis de agua. Como ya se dijo anteriormente, al final del proceso se ajustará el pH de la solución nutritiva de modo que con el pH resultante en el agua de riego a la salida de goteros debe estar comprendido entre 6,5 y 7,0 , valor que debe evitar las obturaciones de los emisores por precipitados calcáreos (ver capítulo 14). Para ajustar dicho pH debemos tener en cuenta que el **ácido fosfórico** que aportaremos para cubrir las necesidades de P debe ser suficiente como para situar el pH del agua dentro de dicho rango. Si esto no se consiguiera recurriríamos a la aportación de ácido nítrico.

Las aportaciones de nutrientes por el agua de riego pueden calcularse empleando la expresión:

$$kg/ha\ NUTRIENTE = \frac{[NUTRIENTE] x\ VR\ x\ Clr}{100.000} x\ Ef$$

siendo:

[NUTRIENTE] = Concentración del nutriente en el agua de riego expresada en mg/l

VR = volumen de riego (m^3/ha), para el período de tiempo considerado: días, semanas, meses, etc;

Ctr = coeficiente de transformación (Nitrato = 22,6; MgO = 166,6; K_2O = 182)

Ef = factor que depende de la de eficiencia del riego y teniendo en cuenta además, cuando proceda, las posibles insolubilizaciones (precipitación) o pérdidas por lixiviación que pueden sufrir los distintos elementos. Los valores a aplicar dependen del nutriente analizado.

Tabla 16.9: Análisis del agua empleada para regar el olivar (valores medios anuales)

		Laboratorio	Calculado
Conductividad eléctrica (dS/m)		1.17	
pH		7,60	
Nitrógeno (mg/l)	Nitratos	74,3	
	Nitritos	0	
	Amonio	1,13	
Cationes (meq / l)			*11,54*
	Calcio	7,06	
	Magnesio	2,76	
	Sodio	1,58	
	Potasio	0,14	
Aniones (meq / l)			*11,66*
	Bicarbonatos	5,95	
	Cloruros	1,91	
	Sulfatos	3,8	
RAS			*0,76*
Sales disueltas (g / l)			*0,749*

- Cálculo del **nitrógeno aportado anualmente por el agua de riego**

Como en el análisis de agua nos dan la concentración expresada en mg/l de nitratos (NO_3^-), **tabla 16.9** , la cantidad de **N** aportada por cada metro cúbico de agua de riego será:

$[NO_3^-]$ = 74,3 mg/l
VR = 1.500 m^3 /ha y año

Ctr = 22,6
Ef = 0,9

$$N = \frac{74,3 \times 1,0\ m^3 \times 22,6}{100.000} x\, 0,90 = 0,0151\ kg / m^3 = 15,11\ g / m^3$$

La cantidad de **N** que anualmente aporta el agua de riego (1.500 m^3/ha) será:

1.500 m^3/ha x 0,0151 kg / m^3 = **22,67 kg / ha**

Si el análisis de agua nos diese el contenido en **N** expresado como N-NO_3^- en lugar de en nitratos (NO_3^-), entonces habría que multiplicar la cifra obtenida por **4,427** para obtener la cantidad de **NO_3^-**.

- Cálculo del **magnesio aportado anualmente por el agua de riego**

El **Mg** que contiene el agua de riego (**tabla 16.9**) es 2,76 **meq / l**, que antes de continuar con los cálculos debemos de transformar en **mg / l**, para ello debemos multiplicar por el **peso equivalente** del magnesio que es **12,15** :

$[Mg^{2+}]$ = 2,76 meq / l x 12,15 = 33.5 mg / l

La cantidad de **MgO** aportada por cada metro cúbico de agua de riego será:

Ctr = 166,6
Ef = 0,6

$$MgO = \frac{33,5 \times 1,0\ m^3 \times 166,6}{100.000} x\, 0,60 = 0,0335\ kg / m^3 = 33,5\ g / m^3$$

La cantidad de **MgO** que anualmente aporta el agua de riego será:

1.500 m^3/ha x 0,0335 kg/m^3 = **50,23 kg / ha**

Se emplea para el magnesio un factor de eficiencia **Ef = 0,6** teniendo en cuenta que previsiblemente una fracción importante del Mg aplicado por el agua de riego se va a insolubilizar en el suelo, teniendo en cuenta el alto valor del contenido de carbonato cálcico del suelo, información que nos ha proporcionado el correspondiente análisis de suelo (**tabla 16.3**).

- Cálculo del **potasio aportado anualmente por el agua de riego**

El **K** que contiene el agua de riego (**tabla 16.9**) es **0,14 meq / l**, que antes de continuar con los cálculos debemos de transformar en **mg / l**, para ello debemos multiplicar por el **peso equivalente** del potasio que es **39,10**

$$[K^+] = 0{,}14 \text{ meq / l} \times 39{,}10 = \mathbf{5{,}47 \text{ mg / l}}$$

La cantidad de **K_2O** aportado por cada metro cúbico de agua de riego será:

Ctr = 182
Ef = 0,8

$$K_2O = \frac{5{,}47 \times 1{,}0\ m^3 \times 182}{100.000} x\ 0{,}80 = 0{,}00796\ kg / m^3 = 7{,}96\ g / m^3$$

La cantidad de **K_2O** que anualmente aporta el agua de riego será:

1.500 m³/ha x 0,00796 Kg / m³ = **11,95 kg / ha**

8.2.- Factores de corrección de las dosis de abonado a emplear

En función de los resultados que nos proporciona el análisis de suelos, tal como se ha expuesto en el apartado **5.3** de este capítulo, debe plantearse la aplicación de índices correctores en función del análisis de suelos (contenido en **arcilla** y de **carbonato cálcico**), así como del estado nutritivo de la plantación (análisis foliar). Como es natural, a esta cifra habrá que restarle la aportación de nutrientes por el agua de riego (anteriormente calculada).

8.3.- Cálculo de la cantidad de fertilizantes a aportar anualmente.

El siguiente paso es el cálculo de las aportaciones de nutrientes a realizar en función de la cosecha media de 7,1 t/ha de aceitunas (producción media de la plantación a abonar), corregidas en función de las recomendaciones realizadas en el **apartado 5.3** y de los resultados del análisis de suelos del olivar a fertirrigar (**tabla 16.7**), son las siguientes:

N = 13 kg/t (arcilla > 40%)
P_2O_5 = 5 kg/t (carbonato cálcico > 40%)
K_2O = 20 kg/t (arcilla > 40%)
MgO = 3 kg/t

Además, y en función de los resultados del análisis foliar realizado en los olivos de la parcela, se establecerán los siguientes factores de corrección (**tabla 16.8**):

N deficiente (fc =1,2)
P bajo (fc= 1,1)
K bajo (fc= 1,1)
Mg adecuado (fc= 1,0)

Las necesidades para el abonado de una plantación con una capacidad productiva de **7,1 t/ha** serán las que se presentan en la **tabla 16.10**.

Tabla 16.10: Cálculo de las cantidades de fertilizante a aplicar anualmente al olivar.

Nutriente	Capacidad productiva (t /ha)	Extracción kg / t (1)	Factor de corrección (2)	Fertilizantes a aportar anualmente (3)	
				kg /ha	g /olivo
N	7,1	13	1,2	111	1.108
P_2O_5	7,1	5	1,1	39	391
K_2O	7,1	20	1,1	156	1.562
MgO	7,1	3	1,0	21	213

(1) Teniendo en cuenta los contenidos de arcilla y carbonato cálcico que nos proporciona el análisis de suelos (tabla 16.7)
(2) Es función de los resultados del análisis foliar (tabla 16.8)
(3) Aportación anual (kg/ha) = Capacidad productiva (t/ha) x Extracción (kg / t) x fc
aportación anual N (kg/ha) = 7,1 x 13 x 1,2 = 111 kg N / ha

Teniendo en cuenta que hay momentos del ciclo vegetativo en que no se riega porque la pluviometría es suficiente, tratando de evitar posibles desabastecimientos temporales de nutrientes, especialmente a principio de primavera y en otoño, con fines académicos vamos a resolver el ejemplo considereando que parte del **K_2O** se aporta **foliarmente**, el 20% en este caso, es decir:

(1.562 g K_2O / olivo x 20) / 100 = **312 g / olivo K_2O**

esta cantidad de **K** se puede aportar utilizando **cloruro potásico** (60 % de riqueza en K_2O) a una dosis de 2,0 kg por cada 100 litros de caldo pulverizado. Si tenemos en cuenta que en este tipo de olivar se debería consumir unos 9 -10 litros de caldo en cada uno de los tres tratamientos que anualmente se realizan, la cantidad de **K** que anualmente se aportaría por olivo es la siguiente:

3 tratamientos/año x 9 litros/olivo . tratamiento x 2/100 KCl x 60 / 100 K_2O =
= 324 g / olivo.año

Vemos que es posible aplicar foliarmente el 20 % de las necesidades anuales. En **fertirrigación** se aportaría el 80% restante, es decir :

(1.562 g K_2O / olivo x 80) / 100 = **1.248 g / olivo K_2O**

Tal como se dijo anteriormente, queremos volver a señalar que en situaciones normales no habría que aportar K vía foliar cuando se programa la fertirrigación con dosis adecuadas de fertilizante.

Para el **magnesio** tendremos en cuenta que el contenido en hoja de **Mg (tabla 16.8)** es adecuado y que el agua de riego aporta **50 kg MgO / ha**, muy superior a las necesidades (21 kg/ha), en este caso se cubren con creces la totalidad de las necesidades calculadas, por lo que **no se propone** realizar ningún tipo de aportación de abonado Mg en forma directa.

Deberíamos tener en cuenta igualmente el posible **antagonismo K/Mg**, por lo que habría que vigilar el equilibrio entre los aportes de **K** y **Mg** al bulbo. En cítricos (Legaz y Primo Millo, 2000) se recomienda **0,25** (expresados en meq/ha) como valor óptimo de esta relación.

8.4.- Programación de los fertilizantes a emplear mensualmente a lo largo del ciclo de riegos.

En este momento ya estamos en condiciones de poder calcular las aportaciones mensuales de **N, P_2O_5** y **K_2O** por olivo a realizar en fertirrigación a nuestro olivar (el del ejemplo que estamos resolviendo).

Teniendo en cuenta los datos mostrados en la **figura 16.2**, relativos a la proporción mensual de nutrientes a aportar, en la **tabla 16.11** se muestra la propuesta mensual de **N, P_2O_5 y K_2O** a aportar en fertirrigación. Estas cantidades se calculan como se indica en dicha tabla, teniendo en cuenta las extracciones que se calcularon en la **tabla 16.10.**

Tabla 16.11: Aportaciones anuales de agua y cálculo de las dosis totales mensuales de nutrientes a aportar en fertirrigación en el olivar con 100 árboles/ha y una producción media de 71 kg/olivo, equivalente a 7.100 kg/ha.

Mes	Riego (1)	Riego	% mensual			Aportación mensual (g/olivo)		
	(l.olivo/día)	(m^3/ha.mes)	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O (2)
A	82	123	9 (3)	6 (3)	4 (3)	100	23	50
My	82	254	22	17	10	244	66	125
Jn	82	246	22	17	10	244	66	125
Jl	82	254	21	17	21	233	66	262
Ag	82	254	11	17	22	122	66	275
S	82	246	10	17	22	111	66	275
O	82	123	5 (3)	9 (3)	11 (3)	55	35	137
Total		**1.501**	**100**	**100**	**100**	**1.108**	**391**	**1.250**

(1) Se riega en el periodo 15 de abril a 15 de octubre.
(2) Se considera que el 20 % del total de K_2O se aporta vía foliar, y el 80 % restante en fertirrigación.
(3) En estos dos meses solamente se riegan 15 días / mes.

A continuación, a estas cantidades mensuales hay que restarle las aportaciones mensuales de nutrientes por el agua de riego. A partir de los análisis de agua (**tabla 16.9**) en el apartado 8.1 de este capítulo se calcularon las cantidades aportadas por cada metro cúbico de agua de riego, cifra que multiplicada por el volumen mensual de metros cúbicos agua de riego, nos permite conocer las cantidades mensuales de **N** y **K_2O** aportados involuntariamente al regar:

Mes	Riego (m^3/ha.mes)	Riego l/olivo.día	Agua de riego (g/olivo.mes)		
			N(1)	P_2O_5	K_2O (2)
A (3)	123	82	19 (3)	0	10
My	254	82	38	0	20
Jn	246	82	37	0	19
Jl	254	82	38	0	20
Ag	254	82	38	0	20
S	246	82	37	0	19
O (3)	123	82	19 (3)	0	10
Total	**1.501**		**227**	**0**	**119**

Nuestra agua de riego (tabla 16.9 y apartado 8.1) aporta: (1) N = 15,11 g/m^3; (2); K_2O = 7,91 g/m^3
(3) en los meses de abril y octubre se riegan 15 días.

Finalmente, para materializar el programa de fertirriego solo queda por calcular las cantidades necesarias de fertilizante comercial a aportar al agua de riego mensualmente (**tabla 16.12**). En este momento podemos optar por dos opciones:

Tabla 16.12: Cálculo de las necesidades finales de nutrientes que deben aportarse mensualmente al olivar.

Mes	Necesidades anuales g/olivo.mes			Aportaciones agua de riego g/olivo.mes			Necesidades finales g/olivo.mes		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
A	100	23	50	19	0	10	81	23	40
My	244	66	125	38	0	20	205	66	105
Jn	244	66	125	37	0	19	207	66	106
Jl	233	66	262	38	0	20	194	66	242
Ag	122	66	275	38	0	20	83	66	255
S	111	66	275	37	0	19	74	66	255
O	55	35	137	19	0	10	37	35	128
Total	**1.108**	**391**	**1.250**	**227**	**0**	**119**	**881**	**391**	**1.131**

Opción 1: **Emplear abonos sólidos solubles** y hacer la mezcla en tanque para preparar la **solución nutritiva madre**, inmediatamente antes de inyectarla en la red de riego. Los fertilizantes más adecuados para este fin son los siguientes: **nitrato amónico** 34,5 % N (50 % forma nítrica + 50 % forma amoniacal), la **urea** (46% N) puede ser empleada igualmente en los programas de abonado, aunque no es la forma más aconsejable, aunque en determinadas circunstancias su empleo puede ser imprescindible; **ácido fosfórico** (52 % P_2O_5); y **cloruro potásico** soluble (60 % K_2O). La cantidad de **ácido fosfórico** que se aporta para suministrar el **P**, puede, en la mayoría de los casos, ser suficiente como para permitir alcanzar los valores deseados de pH en el agua de riego. En ocasiones puede ser necesario añadir una cierta cantidad de ácido nítrico.

En la **tabla 16.14** hemos calculado las cantidades mensuales de **nitrato amónico**, **ácido fosfórico** y **cloruro potásico** que habría que aportar mensualmente, distribuyendo estas cantidades entre todos y cada uno de los riegos que se realicen. Se tienen en cuenta las cifras calculadas en la **tabla 16.12,** así como la riqueza de los diferentes fertilizantes. En el capítulo 17 damos toda la información necesaria para la correcta preparación de las disoluciones madre, lo cual presenta ciertas complicaciones y riesgos al operario que las prepara.

Tabla 16.14: Cantidades de fertilizantes sólidos (g/olivo) necesarios para materializar el programa de fertirrigación propuesto.

Mes	Nitrato amónico (1)	Acido fosfórico (2)	Cl.potásico (3)
A	235	45	67
My	595	128	175
Jn	599	128	176
Jl	563	128	404
Ag	242	128	425
S	213	128	426
O	107	68	213
Total	**2.553**	**751**	**1.885**

(1) Nitrato amónico soluble 34,5 % riqueza
(2) Ácido fosfórico del 52 % P_2O_5 de riqueza (líquido)*
(3) Cloruro potásico cristalino del 60 % de K_2O de riqueza
* Para calcular la cantidad de PO_4H_3 en cm^3 /olivo.mes, se debe dividir por 1,58 (densidad g/cm^3)

Opción 2: Una segunda posibilidad de materializar el programa de fertirriego es emplear **fertilizantes líquidos ácidos**, que vienen ya preparados de fábrica listos para ser inyectados en la red de riego, lo que permite la automatización de la operación con ayuda de un progra-

mador y una bomba de inyección. Los mencionados fertilizantes líquidos presentan la ventaja de que su manipulación es mucho más fácil, evitando los problemas que plantea en la finca la disolución en agua de los abonos sólidos solubles para la preparación de las soluciones madre, lo que siempre acaba, a corto o largo plazo, por ocasionar accidentes, vertidos involuntarios, obturaciones, deterioro de los materiales, etc. Muchos fabricantes proporcionan ***formulaciones a la carta***, lo que permite disponer de la solución requerida en cada momento. En el capítulo 17 damos información sobre este tipo de fertilizantes y su manejo.

Para conocer cual es **el/los fertilizante/s líquido/s ácido/s** que mejor se adaptan a nuestras exigencias debemos calcular mensualmente la **fórmula de equilibrio** que mejor se adapta a nuestra situación. Esta fórmula de equilibrio debe darse al fabricante para que la estudie, nos avise de posibles problemas en su manejo y la valore económicamente. En la **tabla 16.15** calculamos las relaciones mensuales de equilibrio. En este caso hemos tomado como referencia el K_2O (K_2O =1), aunque igualmente podríamos haber referido los datos al N.

Tabla 16.15: Relaciones mensuales de equilibrio cuyo conocimiento es necesario para que el fabricante de fertilizantes líquidos nos de la fórmula comercial más conveniente técnica y económicamente.

Mes	Necesidades finales g/olivo.mes			Fórmula de equilibrio			Fórmula propuesta (1)
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
A	81	23	40	2,0	0,6	1	5 - 1,5 - 2,5
My	205	66	105	2,0	0,6	1	5 - 1,5 - 2,5
Jn	207	66	106	2,0	0,6	1	5 - 1,5 - 2,5
Jl	194	66	242	0,8	0,3	1	4 - 1,5 - 5
Ag	83	66	255	0,3	0,3	1	3 - 3 - 10
S	74	66	255	0,3	0,3	1	3 - 3 - 10
O	37	35	128	0,3	0,3	1	3 - 3 - 10
Total	**881**	**391**	**1.131**				

(1) Formulado empleando unicamente nitrato amónico como fuente de N

El fabricante debe valorar económicamente la fórmula propuesta y proporcionará además datos como:

- la forma en que viene formulado el nitrógeno: ureica, nítrica, o amoniacal, y las proporciones de cada una de ellas, siempre debe emplearse nitrato amónico
- el pH del formulado,
- la densidad del fertilizante (t/m³ o kg/l), y
- la temperatura de cristalización

9.- MICROELEMENTOS

En un riego cada quince días puede inyectarse en la red de riego una solución de microelementos que a salida de goteros proporcione las siguientes concentraciones (Cadahía, comunicación personal):

B = 1,00 p.p.m. (= 1 g/m^3)
Fe = 1,00 p.p.m. (formulado como o-o' Fe-EDDHA)
Mn = 1,00 p.p.m.
Zn = 0,05 p.p.m.
Mo = 0,05 p.p.m.

Debe tenerse en cuenta que el **Cu** normalmente no es necesario emplearlo porque los tratamientos foliares anticriptogámicos, que se realizan para prevenir los ataques de *repilo*, cubren con creces las necesidades del olivo en este elemento, por lo que no sería necesaria su aportación.

Esta solución nutritiva no debe mezclarse en el tanque de fertilización con N-P-K (ver capítulos 9 y 17), aunque no habría inconveniente en simultanear su inyección en la red de riego.

10.- APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES EN FERTIRRIGACIÓN

Queda finalmente por regular la inyección de la solución nutritiva en la red de riego. Para ello, y una vez conocida la cantidad de fertilizantes a inyectar mensualmente (tabla 16.17), así como el volumen de agua de riego a aplicar a lo largo de cada mes (tabla 16.11), podemos calcular el volumen de solución nutritiva (fertilizante líquido en este caso)a inyectar por cada metro cúbico de agua que circula por la tubería principal de distribución en el punto de inyección (tabla 16.18). Con este dato, junto con el del caudal de agua que circula por dicha tubería podremos elegir la bomba de inyección más adecuada a nuestras necesidades, entre la amplia gama existente en el mercado, y finalmente calibrar el inyector de modo que inyecte la cantidad deseada a lo largo del ciclo de riego y durante la totalidad del tiempo de riego. Al dosificar debe tenerse en cuenta la densidad de cada uno de los fertilizantes (dato que nos proporcionará el fabricante) para transformar las cifras de inyección, inclicadas en gramos en la tabla 16.18, en litros o centímetro cúbico de abono por cada metro cúbico de agua.

Tabla 16.18: Concentración de cada uno de los fertilizantes líquidos a aportar mensualmente disueltos en el agua de riego.

Mes	Riego m^3/olivo.mes	Concentración de cada uno de los fertilizantes a aplicar en el agua de riego (g/m^3)		
		5- 1,5- 2,5	4- 1,5- 5	3- 3- 10
A	1,230	1.309	—	—
My	2,542	1.650	—	—
Jn	2,460	1.715	—	—
Jl	2,542	—	1.906	—
Ag	2,542	—	—	1.002
S	2,460	—	—	1.038
O	1,230	—	—	1.038
Total	**15,006**			

Referencias bibliográficas

Baena, G., Ordóñez, R., Pastor, M., González, P., 2004. Comparación de niveles de nutrientes en la solución de suelo y la planta entre fertirriego continuo y fraccionado. Actas XXII Congreso Nacional de Riegos (en prensa).

Domínguez Vivancos, A., 1993. Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 150-153.

Fernández-Escobar, R., 2001. Fertilización. En: *El Cultivo del Olivo.* D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo (Editores). Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 255-284.

Ferreira, J., García-Ortiz, A., Frías, L., Fernández, A., 1.986. Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. Olea, 17: 141-152.

Freeman, M., Uriu, K., Hartmann, H.T., 1994. Diagnosing and Correcting Nutrient Problems. En: *Olive Production Manual.* L. Ferguson, G.S. Sibbett, G.C. Martin. ED.Division of Agriculture and Natural Resources. University of California. Publ. 3353. 77-86.

Hartmann, H.T., Opitz, K.W., Bentel, J.A., 1986. La producción oleícola en California. Olivae, 11.

Legaz Paredes, F., Primo Millo, E., 2000. Criterios para la fertilización de los cítricos en riego localizado por goteo. *Curso de fertirrigación de* cítricos, Giner J.F. (editor) Ed. Universitat Politécnica de Valencia – Generalitat Valenciana (Conselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentació) –Phytoma. 137- 155.

Mariscal, M.J., 1998. Interceptación de radiación solar y acumulación de biomasa por cubiertas de olivo. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

Ortega Nieto, M., 1964. Valor fertilizante del abono mineral y orgánico y sus relaciones con el agua en el olivo. INIA Ministerio de Agricultura. Madrid.

Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V., Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J., 1999. Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 14(3): 393-404.

Pastor, M., Vega, V., Suárez, R., 2.000. El abonado potásico en olivar: Fertilización foliar. Vida Rural, 115: 50-55.

Pizarro, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 295- 322.

Soria, L., Fernández, E., Menjivar, J.C., Pastor, M., Aguilar, J., 2001. Análisis estadístico de los niveles de potasio asimilable en suelos carbonatados de olivar de la comarca de la Loma (Jaén). Actas Simposio Expoliva'2001. OLI 37.

Tombesi, A., Guelfi, P., Nottiani, G., 2002. Tecniche per lo sviluppo dell'olivicoltura in Umbría. Ed. Agencia Regionale Umbra per lo Sviluppo e l'Innovazione in Agricoltura – Dipartamento di Arboricoltura e Propagazione delle Piante Universitá degli Studi di Perugia. 61-77.

Troncoso, A., 1994 . Fertirrigación del olivo. Fruticultura Profesional. Suplemento nº 2: 65-68.

Troncoso, A., Liñán, J., Cantos, M., Zárate, R., Lavee, S., 1997. Influencia de la fertirrigación con urea sobre la disponibilidad de N-NO_3 y el desarrollo del olivo. Fruticultura Profesional, 88: 83-87.



CAPÍTULO 17

LA FERTIRRIGACIÓN Y LOS FERTILIZANTES PARA LA FERTIRRIGACIÓN

Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- CONCEPTO DE FERTIRRIGACIÓN.

2.- ELECCIÓN DE LOS FERTILIZANTES A EMPLEAR EN FERTIRRIEGO.

3.- FERTILIZANTES SÓLIDOS SOLUBLES

4.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS SIMPLES.

5.- MICROELEMENTOS

6.- PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE PARA FERTIRRIGACIÓN

7.- ABONOS LÍQUIDOS PARA FERTIRRIGACIÓN

8.- UTILIZACIÓN DE INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

9.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS ESPECIALES PARA FERTIRRIGACIÓN.

10.- REGLAS PARA EL MANEJO CORRECTO DE SOLUCIONES FERTILIZANTES Y ABONOS LÍQUIDOS.

11.- INSTALACIONES PARA FERTIRRIGACIÓN

Referencias bibliográficas

1.- CONCEPTO DE FERTIRRIGACIÓN.

Las instalaciones de riego localizado no solo permiten aportar agua al olivar, sino que igualmente ofrecen la posibilidad de aportar los fertilizantes y otros productos fitosanitarios (por ejemplo herbicidas, insecticidas etc).

Fertirrigación es la técnica que permite la aplicación de los nutrientes que precisa el cultivo junto con el agua de riego, siendo el agua el vehículo que hace llegar los fertilizantes hasta las raíces de la planta, siendo aconsejable su aportación durante la totalidad del tiempo de riego, en definitiva, se trata del **riego con una solución nutritiva**.

En el olivar de regadío, en el que la producción es notablemente superior a la de secano, la aplicación de abonos junto con el agua de riego nos parece fundamental, ya que si no se fertirriega acabaremos por **empobrecer paulatinamente el suelo**, y muy probablemente ocasionando deficiencias nutritivas que pueden afectar negativamente a la producción, lo que ya se ha documentado en otros cultivos. Este hecho ya se ha comprobado en algunas fincas y en comunidades de regantes de olivar en la provincia de Jaén, especialmente en los años secos y durante el verano, periodos en los que el árbol debe extraer de un bulbo, de reducidas dimensiones, la mayoría de los nutrientes que necesita para su crecimiento y desarrollo del fruto. Por esta razón es fundamental la aplicación de los nutrientes junto con el agua de riego.

La condición indispensable para que esta técnica sea eficaz es disponer de un **sistema de riego que permita aplicar el agua con suficiente uniformidad**, lo que permitirá igualmente aplicar a todos los árboles la misma dosis de fertilizante, y cubrir así sus óptimas necesidades, por lo que disponer de una instalación bien diseñada es imprescindible para tener éxito con la fertirrigación.

Como es natural, el primer paso para poder obtener unos buenos resultados es determinar las necesidades totales anuales de fertilizantes a aportar al olivar a regar, cuyo cálculo hemos desarrollado en el capítulo 16, realizando un programa de fertirriego en el que por periodos de tiempo (semanas, quincenas o meses) y por unidades de cultivo (árbol, sector de riego o finca) se detallen al olivarero los siguientes conceptos:

- dosis de agua de riego a aplicar en el periodo de tiempo que hayamos definido;

- distribución de cada uno de los nutrientes a aportar a lo largo de la campaña de riego en cada uno de los periodos;
- la conveniencia de aplicar los nutrientes durante la totalidad del tiempo de riego,
- la forma de aportar los nutrientes (fertirriego, foliar, ambos), especificando la proporción en cada modalidad;
- tipo de fertilizantes a emplear:
  - **sólidos**, cuya utilización exige una disolución previa antes de su inyección en la red de riego.
  - **disoluciones fertilizantes líquidas ácidas**, que pueden inyectarse directamente en la red de riego.

En la elección de los fertilizantes tiene una gran importancia la **calidad del agua de riego** a emplear, ya que muchos de los abonos pueden aumentar su salinidad, lo que debe tenerse muy en cuenta para **no superar los umbrales de tolerancia del cultivo**. Además considerar que en ocasiones pueden existir incompatibilidades entre los componentes del agua y los fertilizantes, por ejemplo entre los fosfatos y sulfatos con las altas concentraciones de calcio y magnesio, circunstancias que concurren en muchas aguas de riego.

Las **ventajas** que nos proporciona la aplicación de los fertilizantes junto con el agua de riego son las siguientes:

- asimilación muy eficaz de los nutrientes (aplicación del fertilizante en la zona de máxima actividad radicular),
- interacción positiva **agua / nutrientes,**
- ahorro de mano de obra en la aportación,
- probable ahorro de fertilizantes al ser este sistema más eficiente que otros sistemas de abonado,
- posibilidad de abonar en el momento más adecuado para el cultivo,
- control riguroso de dosis y uniformidad de distribución,
- evita el empobrecimiento del bulbo, zona en la que si no se fertirriega se produce un fuerte lavado de nutrientes, así como grandes extracciones (ver capítulo 16),
- posibilita la aplicación de los micronutrientes necesarios para el cultivo (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo) en el caso en que ello fuera necesario.
- rápida corrección de los estados carenciales de los árboles,
- si además se aportan soluciones fertilizantes ácidas se podría bajar el pH de la solución del suelo en el bulbo humedecido por los goteros, y con ello mejorar la asimilación de algunos nutrientes (N, P, K, Fe, Mn, B, Cu, Zn).

Pero esta técnica tiene también algunos **inconvenientes** como:

- Aumento de la salinidad del agua de riego,
- Aumento de la salinidad del suelo afectado por el riego (bulbo),
- Obturación de los goteros:

- formación de precipitados de fertilizantes,
  mala disolución de algunos nutrientes en el agua,
- reacciones indeseables entre productos mezclados (abonos y sales disueltas en el agua de riego),
- incompatibilidad entre productos fertilizantes.

2.- ELECCIÓN DE LOS FERTILIZANTES A EMPLEAR EN FERTIRRIEGO.

Una vez que hemos decidido cuales serán las **dosis** de nutrientes a aportar por periodos (anuales, mensuales o diarias) , ha llegado el momento de decidir **como** los vamos a aportar.

Los **fertilizantes** a emplear en **fertirrigación** deben tener las siguientes características:

- Adecuada **solubilidad en el agua** de riego a las temperaturas usuales de trabajo;
- **Reacción ácida**, lo que reducirá el riesgo de obturación de los goteros y mejorará la absorción de los nutrientes;
- **Composición y densidad conocida**, en especial cuando se emplean formulaciones líquidas, lo que permitirá dosificar adecuadamente según el programa previsto.
- Que sean fertilizantes **fabricados para ser empleados en fertirriego**, con ausencia de excipientes de fabricación de naturaleza arcillosa, capaces de provocar obturaciones.
- Poseer un **bajo riesgo de salinización** del suelo.
- **Compatibilidad química** con otros fertilizantes, especialmente cuando se realizan mezclas en tanque en la propia finca, de modo que no se produzcan alteraciones con los fertilizantes con los que se mezclan.
- **Compatibilidad química con aguas de riego**, de modo que no se produzcan precipitados que puedan obturar los filtros y emisores.
- No causar **fitotoxicidad** en el **cultivo**.
- Evaluar el riesgo potencial de provocar **corrosión a los elementos de la instalación**, aunque este problema puede paliarse empleando elementos resistentes a la corrosión, especialmente en las zonas de la instalación que están en contacto directo con las disoluciones nutritivas concentradas, muy ácidas (muy corrosivas), tales como bombas inyectoras, depósitos, collarines de toma, tuberías de inyección, etc.

Abonos para fertirrigación

Existen diferentes tipos de fertilizantes aptos para ser aplicados sin problemas en fertirrigación, y que pueden aportar uno o varios elementos nutritivos, llamándose abonos **simples** a los que aportan solamente uno de los tres macroelementos (**N** o **P** o **K**), abonos **binarios**

cuando aportan cualquier combinación de ellos dos a dos (**NP**, **NK** y **PK**) , y abonos **ternarios** cuando aportan conjuntamente los tres macroelementos juntos (**NPK**).

Las **riquezas del fertilizante** se expresan como porcentaje en peso (**% p/p**), incluso en formulaciones líquidas, en el siguiente orden:

$N - P_2O_5 - K_2O$

Un **1% del nutriente en la fórmula anterior** significa que el contiene 10 Kg del nutriente en 1 tonelada de abono o formulado comercial, equivalente a 10 g de nutriente en 1 Kg de abono.

Las **unidades de nitrógeno** en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de nitrógeno puro **N**.

Las **unidades de fósforo** en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de anhídrido fosfórico P_2O_5:

1 kg de P_2O_5 = 0,437 kg de P puro
1 kg de P puro = 2,288 kg de P_2O_5

finalmente las **unidades de potasio** en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de óxido de potasio K_2O :

1 kg de K_2O = 0,83 kg de K puro
1 kg. de K puro = 1,204 kg de K_2O

Como resumen, un abono del que nos informan que su composición es **12 - 4 - 8**, debe entenderse que contiene un 12 % de **N**, un 4 % de P_2O_5 y un 8 % de K_2O.

Los abonos más aptos para ser empleados en fertirrigación para aportar **N**, **P** y **K** , y las correspondientes fórmulas de riqueza en nutrientes (**$N - P_2O_5 - K_2O$**) son los siguientes:

Fertilizantes sólidos:

Urea (46-0-0)
Nitrato amónico soluble (34,5 - 0 – 0)
Fosfato monoamónico (12 – 60 - 0)
Nitrato potásico (13 – 0 – 46)
Sulfato potásico (0 – 0- 50)
Cloruro potásico (0 - 0 – 60)

Fertilizantes líquidos:

Ácido fosfórico (0 – 52 – 0)
Ácido nítrico (13 – 0 – 0)
N – 20 (20 – 0 – 0)
N –32 (32 – 0 – 0)

Cuando se plantea la necesidad de aportar otros nutrientes al olivar, como **calcio** y **magnesio**, puede ser necesario recurrir a fertilizantes como el **sulfato de magnesio**, **nitrato de magnesio** y **nitrato de cal**.

Para que los fertilizantes sólidos puedan ser empleados en fertirriego es necesario disolverlos previamente en agua a la concentración adecuada, y si fuese necesario, una vez disueltos podrían ser mezclarlos ya con algún fertilizante líquido (ácido fósfórico, N-20, N-32, por ejemplo). Es lo que se denomina preparar una **solución madre concentrada**, en la que se mezclan los diferentes abonos hasta conseguir una solución que se adapte al programa de abonado propuesto en cuanto a cantidad y proporciones de los nutrientes a inyectar en la red de riego.

Más adelante, y en este mismo capítulo, se dan las recomendaciones necesarias para preparar correctamente las soluciones madres.

Cuando vayamos a inyectar la solución madre en el sistema de riego se regulará la velocidad de inyección de la **bomba inyectora**, de modo que la concentración de nutrientes en la disolución nutritiva a la salida de goteros no supere unos límites de conductividad eléctrica y salinidad razonables.

Debemos advertir finalmente que aunque los fertilizantes nitrogenados son muy solubles en agua, su solubilidad se reduce mucho debido al fuerte enfriamiento del agua, que se produce al realizarse su dilución, razón por la que no pueden ni deben realizarse **soluciones madre** demasiado concentradas. Cuando se disuelven varios fertilizantes, los nitrogenados deben dejarse para el final, ya que el excesivo enfriamiento del agua dificultaría la dilución de otros fertilizantes, como por ejemplo el K.

En la **tabla 17.1** damos, para los fertilizantes y dosis más usuales en fertirrigación, los valores de pH y conductividad eléctrica de la solución tras la dilución del fertilizante en el agua.

Tabla 17.1: Salinidad y pH de las soluciones fertilizantes a las concentraciones normalmente empleadas en fertirrigación (Domínguez Vivancos, 1993; Giner y col., 2000)

Abono	Concentración g / l	pH	Conductividad eléctrica (dS / m)
Nitrato amónico 33,5 % N	2	5,4	2,8
	1	5,6	0,9
	0.5	5,6	0,8
	0,25	5,9	0,5
Urea (46 % N)	3	6,3	0,1
	1	5,8	0,07
	0,5	5,7	0,07
	0,25	5,6	0,05
Solución N-20 (20 % N)	1	6,4	1,3
	0,5	6,8	0,7
	0,25	6,9	0,4
Solución N-32 (32 % N)	2	7,2	2,3
	1	7,1	1,1
	0.5	6,6	0,6
	0,25	6,1	0,3
Acido fosfórico (54% P_2O_5)	1	2,6	1,7
	0,5	2,8	1,0
	0,25	3,1	0,5
Fosfato monoamónico (12-61-0)	1	4,9	0,8
	0,5	5	0,4
	0,25	5,3	0,2
Nitrato potásico (13-0-46)	1	7,02	1,27
	0,5	6,56	0,64
	0,25	6,53	0,34
Sulfato potásico (0-0-50)	1	7.14	1.42
	0,5	6.63	0.77
	0,25	6.55	0.32
Cloruro potásico (0-0-60)	1	5.38	1.66
	0,5	5.29	0.86
	0,25	5.25	0.48

3.- FERTILIZANTES SÓLIDOS SOLUBLES

A continuación presentamos las características principales así como las ventajas e inconvenientes que presentan algunos de los abonos sólidos más empleados en fertirrigación.

Nitrato amónico soluble (34,5-0-0)

De los diferentes nitratos amónicos existentes en el mercado, sólo puede recomendarse en fertirrigación el **nitrato amónico soluble**, que es de gran pureza y está exento de aditivos y libre de productos insolubles. Tiene una riqueza del **34,5%** en **N**. Es uno de los productos con mayor solubilidad en agua (1.920 g/l a 20ºC). Su contenido en nitrógeno se encuentra el 50% en forma nítrica y el 50% restante en forma amoniacal. Es uno de los productos más apropiados y el más recomendable para el aporte de nitrógeno en fertirrigación, y por ello junto con la **urea** es el más utilizado.

Las soluciones madres de este producto se preparan en la proporción de una parte de abono por dos de agua, por ejemplo, 50 Kg/100 l de agua. Este producto al disolverlo reduce la temperatura del agua (lo que dificulta la preparación de la disolución), rebajando igualmente el pH de la disolución y aumenta su conductividad eléctrica (ver **tabla 17.1**).

Tabla 17.2: Características de alguno de los fertilizantes más empleados en fertirrigación

Fertilizante	Riqueza(%) $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	Índice de sal (1)	Solubilidad (g/l) 20ºC	Reacción	pH 0,5 g/l	Dosificación recomendada fertirriego
Nitrato amónico	34,5 -0- 0	105	1.850	ácida	5,6	1 g / l
Urea	46 – 0 – 0	75,4	1.200	ácida	5,7	1 – 2 g / l
Nitrato potásico	13 -0 - 46	73,6	316	neutra	6,6	0,25-0,50 g/ l
Nitrato cálcico	15 – 0 - 0	52,5	1.220	alcalina	6-7	1-2 g / l
Solución N-20	20 – 0 - 0	57,3	líquido	neutra	6,8	1 g / l
Solución N-32	32 – 0 - 0	70,1	líquido	neutra	6,6	1 g / l
Ácido nítrico	13 – 0 – 0	-	líquido	ácida	2-3	Variable
Ácido fosfórico 75 %	0 – 52 - 0	-	líquido	ácida	2,8	0,25-0,50 g/ l
Fosfato monoamónico	12 –61– 0	34	500	ácida	5	0,25 g / l
Sulfato potásico	0 – 0 – 50	46	110	ácida	6,6	0,25-0,50 g/ l
Cloruro potásico	0 – 0 – 60		350	alcalina	7,5	0,25-0,50 g/ l
Sulfato magnésico	16 MgO	2	500	ácida	6-7	0,4 g / l

(1) Representa el aumento de presión osmótica que produce el abono en la solución del suelo, en comparación con el que produce el nitrato sódico (índice de sal = 100).

Urea (46-0-0)

Es un abono orgánico de síntesis que tiene un contenido en nitrógeno de 46%, todo en forma ureica o amídica. La solubilidad es también muy alta (1.033 g/l a 20ºC) y como el anterior reduce la temperatura de la solución (lo que también dificulta la preparación de la disolución). Este fertilizante no saliniza el agua, por lo que puede, a primavera vista, resultar muy apropiado en el caso en que se empleen aguas salinas, aunque posteriormente, y transcurrido algún tiempo, su efecto en el suelo puede llegar a ser similar al del nitrato amónico.

Para la preparación de la solución madre de este producto se utiliza la misma relación que en el caso anterior, es decir 50 kg/100 litros de agua.

Deben tenerse en cuenta las características de este producto para lograr una fertilización eficaz. Su gran solubilidad y falta de retención inicial por el suelo si no se controlan debidamente las condiciones de aplicación con el riego, lo que puede ocasionar pérdidas importantes por lixiviación o lavado hacia capas profundas. En suelos arenosos las pérdidas pueden ser muy importantes.

Aunque el nitrógeno de la **urea** se encuentra en forma ureica, se transforma con relativa rapidez en forma amoniacal, transformación que en condiciones normales de humedad y temperatura tiene lugar en un período de 3 a 10 días. Cuando se abona con urea como única fuente de N podría producirse un exceso de ión NH_4^+ en el suelo estableciendose desequilibrios en la relación NH_4/K que no son deseables. Este fertilizante puede sufrir igualmente grandes pérdidas por volatilidad de amoníaco cuando se le deja en la superficie del suelo, en especial en los suelos alcalinos, aspecto este que es importante tener en cuenta en fertilización tradicional, pero que tiene escasa relevancia en fertirrigación, ya que su incorporación al suelo junto con el agua de riego es inmediata.

Nitrato cálcico

Es poco utilizado como fuente de N en aplicaciones tradicionales, debido a su baja riqueza en **N** que encarece su coste por unidad de **N** aplicado. Este producto, que tiene aproximadamente un 15% de N en forma nítrica, es utilizado en riegos localizados para la aportación de **calcio** (26,5 % CaO) al cultivo, cuando este lo requiera, porque su disponibilidad en el suelo sea insuficiente, por lo que en algunas ocasiones resulta necesaria su aportación (suelos ácidos o en los arenosos que tienen un bajo contenido en Ca disponible). El grado de solubilidad de este abono es muy alto (1.220 g/l a 20ºC). Este fertilizante no se puede mezclar con la mayoría de los fertilizantes (**tabla 17.3**) por lo que se recomienda almacenarlo en un tanque independiente de las demás disoluciones nutritivas, y utilizar un punto de inyección en la red de riego igualmente diferente.

Tabla 17.3: Compatibilidad de los fertilizantes en la preparación de las soluciones madre.

FERTILIZANTE	Nitrato amónico	Sulfato amónico	Sol nitrogenada	Urea	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Fosf. monoamónico	Ac. fosfórico	Sulfato potásico	Cloruro potásico
Nitrato amónico	—	C	X	X	I	X	X	X	C	C
Sulfato amónico	C	—	C	X	I	C	I	I	C	C
Sol nitrogenada	X	X	—	X	X	X	X	X	C	C
Urea	X	X	X	—	X	X	X	X	C	C
Nitrato cálcico	I	I	X	X	—	X	I	I	I	C
Nitrato potásico	C	C	C	X	C	—	C	C	C	C
Fosf. monoamónico	X	I	X	X	I	C	—	C	C	C
Ac. fosfórico	X	I	X	X	I	C	C	—	C	C
Sulfato potásico	C	C	C	C	I	C	C	C	—	C
Cloruro potásico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	—

C = compatibles, se pueden mezclar; X = se pueden mezclar en el momento de su empleo; I = incompatibles, no se pueden mezclar porque forman precipitados insolubles en tanque

Nitrato potásico (13-0-46)

Este es un producto excelente para la fertirrigación, al aportar tanto **nitrógeno** (13% de N) como **potasio** (46% K_2O), con un efecto sinérgico N – K muy interesante. Es muy utilizado en fertirrigación por su excelente composición para la absorción de ambos elementos por la planta. Aunque es totalmente soluble, el grado de solubilidad de este nitrato es mucho menor que la de los citados anteriormente (316 g/l a 20°C), lo que obliga a emplearlo a dosis relativamente bajas en las disoluciones madre.

A dosis moderadas no es de los fertilizantes que salinicen más el agua de riego, observándose una cierta tendencia a aumentar algo de pH del agua cuando se aumenta la concentración (**tabla 17.1**).

Fosfato monoamónico (MAP) (12-60-0)

El fosfato monoamónico soluble tiene una elevada riqueza de nutrientes (12% de N y 60-62% de P_2O_5) siendo uno de los productos más utilizados en fertirrigación, aunque tiene un discreto grado de solubilidad (661 g/l a 20ºC) y un precio relativamente alto por unidad de P_2O_5 aportada. Tiene un bajo efecto salinizante y su reacción es ácida (**tabla 17.1**). No obstante, si se utilizara para el riego aguas alcalinas con alto contenido en Ca y Mg, debe aconsejarse la corrección del pH con ácido nítrico, o emplear otro tipo de abono P.

La solución madre se prepara en la proporción 1 a 5, ó 1 a 4, es decir 20 ó 25 Kg/100 litros de agua. Se requiere una excelente agitación de la disolución.

Cloruro potásico (0 – 0 – 60)

Tiene una riqueza en K_2O del 60 % y es un producto tradicionalmente prohibido en fertirrigación para muchos de los cultivos, debido fundamentalmente a la presencia del anión cloruro (Cl^-) y al grado de salinización del agua de riego que puede producir. Sin embargo, y por razones de precio y teniendo en cuenta su adecuada solubilidad, su empleo es clásico en la mayoría de las formulaciones comerciales existentes en el mercado de fertilíquidos. Teniendo en cuenta la tolerancia del olivo a la salinidad y a la existencia en este cultivo de mecanismos de exclusión de Cl^-, es un fertilizante que por su precio razonable, y con las naturales precauciones, puede emplearse en los programas de fertirrigación del olivar. Es conocida la aceptable absorción de K por hoja cuando se emplea este abono en fertilización foliar. En defensa del empleo del cloruro potásico podríamos decir que un agua de riego con cierto contenido en cloruros aporta mayores cantidaes de Cl^- al suelo que un abonado K a base de este fertilizante.

En la preparación de las soluciones madre puede disolverse el cloruro potásico en agua a una dosis del 25 % obteniéndose una formulación 0-0-15. Esta disolución tiene reacción alcalina (ver **tabla 17.2**).

Sulfato potásico (0-0-50)

Tiene una riqueza en K_2O del 50 % y es un producto muy apto para fertirrigación, sin los inconvenientes del cloruro potásico. Se emplea mucho en cultivos sensibles a cloruros y en el caso de aguas ya de por sí cargadas del citado ión. Con respecto al cloruro potásico, desde el punto de vista de la preparación de las disoluciones nutritivas presenta dos desventajas: su menor solubilidad en agua (una tercera parte que la del cloruro) y su mayor precio, lo que encarece los fertilizantes líquidos formulados con sulfato. El problema de su baja solubilidad puede paliarse acidificando previamente el agua (ácido fosfórico y/o ácido nítrico) que después disolverá el fertilizante.

4.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS SIMPLES.

Solución nitrogenada N-20 (20-0-0)

Es una disolución de **nitrato amónico** en agua. Tiene una densidad de 1,26 kg / l. Este abono tiene análogas características que el **nitrato amónico** anteriormente descrito (ver **tablas 17.1** y **17.2**). Se utiliza con mucha frecuencia en fertirrigación por sus apropiadas características. Tiene un pH ligeramente ácido, que puede acidificarse aún más con la adición de ácido nítrico, lo que le hace muy apropiado en riegos localizados, y cuando lo requiera la calidad del agua de riego. Las cantidades de ácido nítrico que por cada tonelada de **N-20** pueden adicionarse para bajar su pH son las siguientes (Herogra, comunicación personal):

Acido nítrico (cm^3 / t)	160	320	390	480	630	990	1.980
pH de la N-20	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

No bajar nunca de pH = 1 porque podrían formarse cristales.

El nitrógeno total aportado por este abono se distribuye en: el 50% en forma **amoniacal**, el 50 % en forma **nítrica**.

Solución nitrogenada N-32 (32-0-0)

Esta disolución está preparada realizando una mezcla de **nitrato amónico** y de **urea** aproximadamente al 50%. Tiene una densidad de 1,32 kg / l y una baja incidencia salinizante. Su reacción es neutra o ligeramente alcalina (**Tabla 17.2**), aunque puede ser acidificada con ácido nítrico antes de su empleo . Es fácil de inyectar en la red de riego directamente o diluido previamente. Las cantidades de ácido nítrico que por cada tonelada de **N- 32** pueden adicionarse para bajar su pH son las siguientes (Herogra, comunicación personal):

Acido nítrico (cm^3 / t)	380	480	1.000	1.240	1.620	3.820	10.500
pH de la N-32	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0

No bajar nunca de pH = 1,5 porque podrían formarse cristales.

El nitrógeno total aportado por este abono se distribuye en: el 25% en forma **amoniacal**, el 25% en forma **nítrica** y el 50% en forma **uréica**, por lo que deben seguirse las recomendaciones realizadas cuando hablamos de la urea.

Ácido nítrico (13-0-0).

Este producto con una concentración del 56,5%, tiene un contenido de nitrógeno del 12% y una densidad de 1,35 kg/l. Se utiliza más como corrector del pH de las disoluciones madre, durante su preparación, que como fertilizante. El objeto es mantener un pH ligeramente ácido del agua de riego durante la aplicación de la solución fertilizante (**tabla 17.1** y **17.2**), lo que reducirá en parte los problemas de insolubilizaciones y la obturación de los emisores. También ayuda a limpiar los conductos y tuberías de los posibles precipitados que se puedan acumular, principalmente los de carbonato cálcico. De cualquier modo es un buen aditivo para lograr el equilibrio iónico adecuado, especialmente cuando se emplean aguas salinas. Como contrapartida hay que citar el riesgo que supone la manipulación de un producto tan corrosivo (más adelante se darán normas sobre su manipulación). Recordar que **al diluirlo hay que echar siempre el ácido sobre el agua**, y no al revés, lo que evitará accidentes en su manipulación.

Ácido fosfórico (0-54-0).

Es el producto que casi siempre se emplea para la aportación de fósforo en los riegos localizados. El producto que se utiliza en fertirrigación se depura, al menos mediante decantación y filtrado, con objeto de eliminar todo tipo de impurezas. La riqueza en P_2O_5 oscila entre el 40 y el 54%, dependiendo del grado de dilución. El producto más concentrado (**54% de P_2O_5**) tiene una **riqueza** de **75% de ácido fosfórico** y una **densidad** de **1,59 kg / l**. Su reacción, como es lógico, es muy acidificante, por lo que también es de gran interés para reducir el pH de las soluciones nutritivas (**tabla 17.1** y **17.2**). Presenta un mayor grado de salinización que el fosfato monoamónico.

La solución madre se prepara con facilidad dado que se trata de un líquido y sólo se requiere diluirlo para reducir el riesgo de corrosión (más adelante se darán normas sobre su manipulación). Recordar también que este caso **al diluirlo hay que echar siempre el ácido sobre el agua**, y no al revés, lo que evitará accidentes en su manipulación.

5.- MICROELEMENTOS

Para facilitar la preparación las soluciones fertilizantes de **microelementos** existe una serie de formulados comerciales que permiten aportar cada uno de ellos en función de las necesidades. Estos pueden ser de dos tipos:

- sales minerales inorgánicas (manganeso, zinc, cobre molibdeno y boro),

- productos orgánicos y quelatos (hierro, manganeso, zinc y cobre)

productos estos últimos que secuestran a los microelementos evitando en parte su bloqueo en el suelo, lo que en muchos casos puede mejorar su eficacia. Habrá que tener en cuenta su estabilidad en los diferentes tipos de suelo (ver capítulo 15).

La aplicación de **microelementos** en fertirrigación ha demostrado ser efectiva, pero no conviene mezclarlos con las soluciones madres N-P-K, especialmente cuando estas son muy ácidas. Es preferible utilizar un tanque independiente del de los macronutrientes (Cadahía, 2000), con inyección también independiente a la red de riego.

De todas formas, opinamos que el suministro de Zn, Mn y Cu a la planta podría acometerse, como ya se dijo, mediante aplicaciones foliares, en mezclas de sales inorgánicas y quelatos **EDTA** o acomplejados con **sustancias húmicas** fundamentalmente.

Por su importancia en el cultivo del olivar y por su complejidad vamos dedicar unas líneas a tratar sobre los productos que permiten la corrección de la deficiencia en hierro (**clorosis férrica**) en suelos calízos. En la literatura se citan numerosos sistemas para la corrección de la clorosis férrica en olivar (Fernández- Escobar, 1999; Pastor *y col.*, 2000), sin embargo, cuando se dispone de una instalación de riego por goteo y fertirrigación el empleo de **quelatos Fe-EDDHA** inyectados a la red de riego parece que puede ser la forma más eficaz de corregir la clorosis (Pastor *y col.*, 2000) (ver capítulo 15).

En la actualidad en el mercado existen más de 200 formulados que en su composición incluyen hierro quelatado. La legislación vigente hasta otoño de 2003 cuando se redactan estas líneas (Directiva de la Comisión 93/69/EEC, del 23 de julio de 1993, aplicada por la legislación Española en la Orden del 28 de mayo de 1998 sobre Fertilizantes y Afines) exige la declaración en etiqueta de los contenidos mínimos de pureza (mínimo contenido en hierro de estos productos deberá ser un 5 % y 80 % como hierro quelatado), aunque no fija el método oficial de análisis. Todo ello ha dado lugar una oferta comercial de productos de calidades muy diferentes bajo un mismo etiquetado. La clarificación en etiqueta de todos los detalles anteriores, así como la aprobación de un método oficial de análisis, permitirán al agricultor el empleo del producto y la dosis más adecuados a sus necesidades, y la elección de la relación **coste - eficacia** que desee. Los quelatos de hierro más idóneos para aplicación en suelos calizos son compuestos químicos pertenecientes a la familia de los ***poliamino – ortofenol- carboxílicos***, de entre los cuales la legislación contempla los ligandos **EDDHA, EDDHMA, EDDHCA,** además del **EDDHSA** que no ha estado aprobado por ninguna de la regulaciones vigentes hasta el referido otoño de 2003.

En el caso del **Fe-EDDHA** solamente se considera **"Abono CE"** el **o,o Fe-EDDHA**, pero no el resto de los isómeros, que no están contemplados. **EDDHMA, EDDHCA**, y **EDDHSA** solo presentan el isómero orto-orto. También se establece que el mínimo contenido en hierro de estos productos deberá ser un 5 %, y que la fracción quelatada del porcentaje garan-

tizado deberá ser, al menos, de 8/10. El problema es que no existen Métodos Analíticos Oficiales para determinar esta fracción quelatada. En septiembre de 2003 la Comisión Europea remitió al Parlamento una propuesta (que cuando se publiquen estas líneas puede que ya esté en vigor) que consiste en lo siguiente (Enseñat de Carlos, 2003):

- el mínimo contenido de Fe soluble deberá ser del 5%, del que al menos el 80% deberá ser fracción quelatada (Método Analítico EN 13366 aprobado por el CEN). A este porcentaje se le aplicarán las tolerancias del 0,4%.
- la lista de agentes quelantes permitidos se extenderá para incluir el isómero p,o EDDHA además del o,o-EDDHA.
- Se deberá indicar el nombre de los agentes quelantes, y se deberá garantizar en etiqueta el contenido mínimo de Fe soluble en agua, la fracción quelatada (EN 13366) y el Fe quelatado por cada agente quelante, siempre y cuando la fracción exceda el 2% (Método Analítico EN 13368-2 aprobado por el CEN)

Esto significa que en el mercado podrá haber productos indicando como agentes quelantes o,o Fe-EDDHA y o,p-EDDHA, pero sin garantizar ningún porcentaje. Lo que quiere decir que el Fe quelatado por estos isómeros será menor del 2% (o incluso del 1,6 % si se tienen en cuenta las tolerancias para este parámetro, tema que no está demasiado claro aún).

Decir finalmente que los quelatos **Fe-EDTA** en muchos casos no son efectivos por no ser estables en suelos calizos. Más información sobre este tema puede encontrarse en el capítulo 15 y en Cadahía *y col. (2000)* y Lucena (2003).

6.- PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE PARA FERTIRRIGACIÓN

Siempre que se programe la utilización de abonos sólidos solubles es necesario disolverlos previamente en agua para su posterior inyección en la red de riego. Para ello debe disponerse de un depósito apropiado, de capacidad variable, según el tipo de abono a disolver, teniendo en cuenta las necesidades de cada finca, dotado de un agitador para facilitar y agilizar la disolución de los abonos y la mezcla de los productos. En comunidades de regantes y explotaciones de ciertas dimensiones pensamos que siempre es preferible el empleo de **formulaciones líquidas especiales para fertirrigación.**

La preparación de las **soluciones madre** es una tarea que requiere mucho cuidado y atención, y sobretodo conocer perfectamente algunos datos como :

- calidad del agua;
- concentración de iones que se debe obtener;

- solubilidad de los diferentes abonos que vamos a utilizar (recordar que depende de la temperatura del agua (**tablas 17.4**, **17.5** y **17.6**);
- compatibilidad de los abonos a mezclar (**tabla 17.3**);
- pH de la disolución que queremos o debemos obtener;
- período de tiempo que puede almacenarse la mezcla obtenida.

Tabla 17.4: Kilogramos de abono solubles en 100 litros de agua en función de la temperatura (Giner Gonzálbez *y col.*, 2000).

Temperatura °C	Nitrato amónico	Urea	Fosfato monoamónico	Nitrato potásico	Sulfato potásico	Cloruro potásico
0	118	64	22	12	7	28
5	138	75	26	17	8	30
10	157	85	30	22	10	31
15	177	96	34	27	11	33
20	197	106	38	32	12	34
25	217	116	42	38	14	35
30	237	127	45	43	15	37

Tabla 17.5: Variación de la temperatura del agua al preparar las soluciones madres de diversos fertilizantes (Giner Gonzálbez *y col.*, 2000).

FERTILIZANTE	CONCENTRACIÓN (%)	Tª INICIAL	Tª FINAL
Nitrato amónico 33,5 %	1	26	24.0
	5	26	22.4
	10	26	18.8
	25	26	8.3
	50	26	-3.0
Urea 46 %	1	24.7	24.1
	5	24.7	21.8
	10	24.7	18.8
	25	24.7	11.2
	50	24.7	5.0
Ácido fosfórico 52%	1	24	24.1
	5	24	25.0
	10	24	25.7
	25	24	30.7
	50	24	34.3

Tabla 17.6: Descenso o aumento de la temperatura del agua al disolver en agua diferentes disoluciones de fertilizantes (Giner Gonzálbez *y col.*, 2000).

FERTILIZANTE	CONCENTRACIÓN (%)	Tª INICIAL	Tª FINAL
Solución N-32	0,25	25	25
	0,50	25	25
	1,00	25	25
	2,00	25	25
	3,00	25	24,5
Solución N-20	0,25	25	25
	0,50	25	25
	1,00	25	25
	2,00	25	25
	3,00	25	25
Ácido fosfórico 52%	0,25	23,3	24,1
	0,50	23,3	25,0
	1,00	23,3	25,7
	2,50	23,9	30,7
	5,00	23,9	34,3

Dada la complejidad de alguno de los parámetros anteriores, es deseable que la preparación de esta disolución madre esté dirigida, al menos las primeras veces, por una persona experta que haya determinado las fórmulas, proporciones y abonos a utilizar en cada caso. Las siguientes preparaciones es cuestión de seguir la receta al pie de la letra.

Reiteramos que siempre debe tenerse en cuenta que los datos de solubilidad en agua que se muestran en la **tabla 17.2** se refieren a solubilidad a una temperatura del agua de 20°C. Sin embargo, en muchas ocasiones al disolver un fertilizante en agua baja enormemente la temperatura (es el caso del nitrato amónico y urea, por ejemplo), por lo que al disolver inmediatamente después otro fertilizante nos encontraremos que la solubilidad de este es mucho menor que la prevista. Por esta razón, en la práctica, se aconseja **emplear como referencia la mitad de las solubilidades medias presentadas en dicha tabla.**

En las **Tablas 17.3 a 17.8** mostramos datos que son muy necesarios para la preparación de las disoluciones madre, tablas que muestran los parámetros de cada uno de los abonos más recomendables en ferrirrigación como son:

- pH en agua,
- solubilidad,
- capacidad para producir precipitados,
- miscibilidad,

- corrosividad,
- tendencia a que se produzcan pérdidas por volatilización.

7.- ABONOS LÍQUIDOS PARA FERTIRRIGACIÓN

Son fertilizantes líquidos que pueden comprarse ya preparados y listos para ser inyectados en la red de riego. Cada solución de abonos líquidos tiene una serie de características que la identifican. Los **factores que permiten distinguir una disolución** de otras son los siguientes:

- contenido en nutrientes **N** - P_2O_5 - K_2O (% en peso);
- composición química, es decir la forma en que se ha formulado el **N** (ureico, nítrico o amoniacal) o el **K** (cloruro, sulfato o nitrato). El **P** normalmente se formula a base de ácido fosfórico;
- peso específico o densidad (kg / litro ó t / m^3);
- pH;
- corrosividad;
- condiciones de almacenamiento requeridas;
- temperatura de cristalización.



Fotografía 17.1: Panorámica de fábrica de abonos líquidos donde se preparan las soluciones concentradas para fertirrigación. Factoría de la empresa GATT en la provincia de Huelva.

Como en el caso de los abonos sólidos, estas disoluciones contienen uno o más de los siguientes **macroelementos:** nitrógeno (**N**), fósforo (**P**), potasio (**K**), calcio (**Ca**), magnesio (**Mg**) y azufre (**S**). Algunas disoluciones contienen también **microelementos**: hierro, (**Fe**), zinc (**Zn**), manganeso (**Mn**), molibdeno (**Mo**), cobre (**Cu**) y boro (**B**), lo que debe ser indicado claramente por el fabricante en la etiqueta.

Las **riquezas de un fertilizante líquido** que además contiene **Ca** y **Mg** se expresan en este caso como porcentaje en peso (% p/p) en el siguiente orden:

$N - P_2O_5 - K_2O - CaO - MgO$

También, como en el caso de los abonos sólidos:

1% del nutriente en la fórmula = 10 Kg del nutriente por cada tonelada de abono

Los abonos líquidos siempre se venden en peso y nunca en volumen.

La composición química del fertilizante depende de las materias primas que contiene:

a) El **nitrógeno** se encuentra en el abono líquido principalmente en tres formas:

1. **Nitrógeno amoniacal** (NH_4^+). Se preparan a base de nitrato amónico, amoniaco, fosfato monoamónico.

2. **Nitrógeno nítrico** (NO_3^-). Se preparan a base de nitrato amónico, nitrato potásico, nitrato de calcio.

3. **Nitrógeno ureico** ($-NH_2$). Se preparan a base de urea

Es imprescindible que el fabricante del **abono N líquido** certifique la riqueza en cada una de estas formas, ya que ello incide en el precio del abono líquido y en su utilización. Cuando todo el **N** proviene del nitrato amónico el formulado resulta algo más caro que cuando procede de la urea o de urea+nitrato amónico.

b) El **fósforo** se encuentra en el abono líquido en forma de fosfatos (PO_4^{3-}, HPO_4^{2-} y $H_2PO_4^-$). La fuente que los suministra es fundamentalmente el **ácido fosfórico.** En ocasiones también se emplea fosfato monopotásico y polifosfato de amónico, pero las formulaciones resultan más caras al consumidor.

c) El **potasio** se encuentra en el abono líquido en forma de K^+. Las fuentes que lo pueden suministrar son:

- nitrato potásico
- fosfato monopotásico
- sulfato potásico
  cloruro de potasio
- hidróxido de potasio

Por razones de precio, el **cloruro potásico** es el más empleado en las formulaciones para olivar, debido fundamentalmente a que el formulado resulta más barato que cuando procede del **sulfato potásico**, que a la vez proporciona fertilizantes más baratos que los formulados a base de **nitrato potásico**.

El **peso específico** o **densidad** de un abono líquido es el peso en kilogramos de un litro de la solución fertilizante (= el peso en toneladas métricas de un metro cúbico de la disolución). La densidad del abono se puede medir fácilmente pesando un litro de fertilizante o utilizando un densímetro. El conocimiento de la densidad del fertilizante es de suma importancia para llevar a cabo los cálculos de dosificación, ya que el cálculo del abono necesario se hace en base a peso, pero a la hora de aplicar el abono en el campo se manejan los litros de disolución nutritiva, que son más fáciles de medir. Teniendo en cuenta que el cálculo del abono necesario se hace en base a peso, dividiendo esta cifra por la densidad obtendremos la dosis a aportar expresada en volumen (litros) de producto.

Por **ejemplo**, si sabemos que la densidad de un abono es 1,2 (lo que significa que cada litro de abono pesa 1,2 kg) y queremos calcular cuántos litros necesitamos para aplicar 300 kg del abono, procederemos de la siguiente forma:

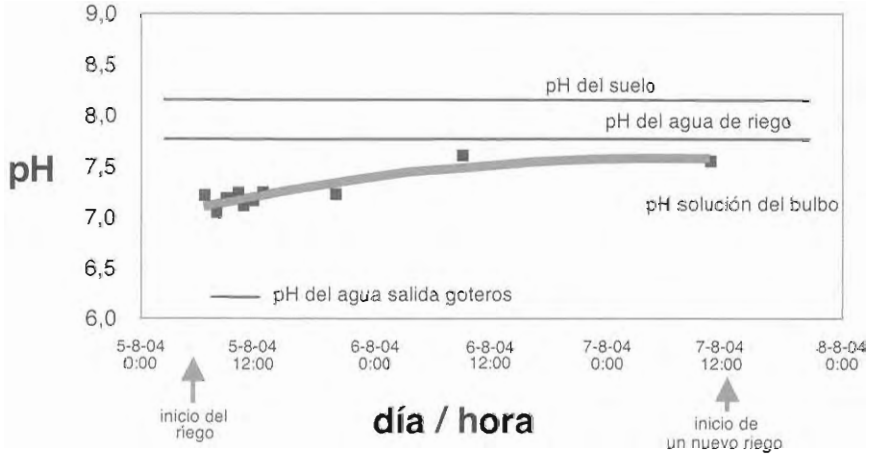
$$\frac{\text{cantidad en kg a aplicar}}{\text{densidad del abono}} = \frac{300 \text{ kg}}{1{,}2} = 250 \text{ litros de abono}$$

El **pH** (**tabla 17.2**) es un parámetro que **indica el grado de acidez del abono líquido** que vamos a utilizar. Fertilizantes con **pH** por debajo de 3,5 se consideran fuertemente ácidos y aquellos que tienen un **pH** por encima de 3,5 se considera débilmente ácidos.

El **pH** del fertilizante líquido debe adaptarse al uso al que está destinado. Las **disoluciones comerciales para goteo** deben tener, y generalmente tienen, un **pH** muy bajo (normalmente menor que 1,5), lo que ayuda a mantener limpios los emisores del sistema de riego, evitando las obturaciones por precipitación de carbonato cálcico. Las precipitaciones de este tipo se producen cuando se usan aguas con **pH** alto y con alto contenido de calcio y bicarbonato. Un agua con **pH** 6 puede solubilizar 36.8 meq/l (737.5 mg/l) de calcio, pero un agua con **pH** 7 puede solubilizar sólo 7 meq/l (140.3 mg/l), por lo que el riesgo de que se produzcan precipitados y obturación de los emisores será más alto.

La **acidez del abono líquido** utilizado en fertirrigación (ver tabla 17.2) influye sobre el pH de la solución del suelo de los bulbos humedecidos por los goteros (zona de la que las raíces del olivo van a extraer los nutrientes), incluso en el caso de suelos calizos. En la **figura 17.1** mostramos los datos observados en los bulbos en un olivar que vegeta en suelo calizo que venía siendo fertirrigado desde hacía 4 años. Al inyectarse el fertilizante ácido en el agua de riego (pH = 7,88) se observó un descenso en el pH de dicha agua (solución que sale por los goteros) hasta un valor de 6,25 (valor que va a depender de las características del fertilizante utilizado y de las del agua de riego). Debido a la **capacidad tampón** de los suelos calizos, es decir de la capacidad del suelo para mantener el pH más o menos estable a lo largo del tiempo, cuando regamos con la solución ácida, la solución del suelo del bulbo alcanzó valores de pH comprendidos en el rango 7 – 7,5 , superiores al de la solución aplicada a través de los goteros, pero notablemente inferior a 8,26, pH del suelo sin fertirrigar. La solución del suelo en los bulbos se mantuvo en valores de pH comprendidos entre los mencionados valores durante el período de tiempo comprendido entre dos riegos consecutivos (2 días en este caso). Este hecho, que a primera vista puede parecer intrascendente, tiene una gran importancia práctica, ya que del pH de la solución del suelo depende la disponibilidad de nutrientes por la planta (P, K, Mn, Cu, Zn, B). En un suelo habitualmente no fertirrigado el tamponamiento del suelo (datos no mostrados) se produce de forma casi inmediata, de aquí la importancia de no alterar la posición de los goteros a lo largo de la campaña de riegos.

Evolución del pH en la solución de un bulbo



La **corrosividad** (**tabla 17.7**) es una característica que define en qué medida el fertilizante ataca los diferentes metales. La corrosividad del abono líquido está determinada por las materias primas que se utilizan en su fabricación. Una **disolución muy corrosiva** ataca a todo tipo de metales, incluso al acero inoxidable. Una disolución **medianamente corrosiva** ataca al hierro, pero no al acero inoxidable, y una solución **no corrosiva** no ataca al hierro ni al acero inoxidable.

Tabla 17.7: Corrosividad de algunos fertilizantes sobre los metales (Torrecillas *y col.*, 1991)

Metal	Nitrato amónico	Urea	Ácido fosfórico
Hierro galvanizado	4	1	4
Aluminio	1	0	2
Latón	3	0	2
Acero inoxidable	0	0	1

Nivel de corrosión: 0 = ninguno; 1 = débil; 2 = moderado; 3 = considerable; 4 = severo.
Condiciones: 5 kg de fertilizante en 100 litros de agua y 4 días de duración de la inmersión.

Como regla general se puede decir que todos los abonos con un pH menor a 3.5 son muy corrosivos, abonos con un pH mayor que 3,5 se consideran generalmente medianamente corrosivos. En todos los casos en los que el abono contiene **cloro en un medio ácido**, la solución es muy corrosiva.

Tabla 8: Principales criterios para evaluar algunos de los fertilizantes de uso frecuente en fertirrigación

Características del fertilizante	Fertilizante					
	Urea	N - 32	Nitrato amónico	Nitrato potásico	Acido fosfórico	Fosfato monoamónico
Solubilidad	3	3	3	2	3	2
Formación precipitados	2	2	1	1	1	3
Miscibilidad	3	3	3	2	2	3
Corrosividad	1	2	2	1	3	2
Pérdidas por volatilidad	3	3	3	1	1	1
Daños a plantas	2	2	2	1	3	2

Evaluación: 1 = baja; 2 = intermedia ; 3 = alta.

Tal como se especifica en el **capítulo 9**, en el que se describen los elementos de la instalación de riego localizado, los abonos líquidos **deben almacenarse en depósitos** apropiados, preferentemente **de polietileno de alta densidad**. Los depósitos deben instalarse en una superficie horizontal plana y sin ningún resalte. El **periodo de almacenamiento** difiere según los componentes y la concentración del abono. Para asegurar una buena gestión del abonado

es importante que en el momento de mayor consumo de la campaña aseguremos la capacidad necesaria de almacenamiento para una semana, lo que evitará desabastecimientos, ya que normalmente en este momento las fábricas de fertilizantes tienen un exceso de demanda.

Cada disolución fertilizante tiene una **temperatura de cristalización** que la caracteriza, temperatura que se determina en laboratorio y que siempre debe suministrar el fabricante, existiendo **formulados invierno** y **formulados verano** en función de la mencionada temperatura de cristalización. Esta **depende de los componentes del abono** y **de la concentración**. Uno de los problemas más frecuentes de almacenamiento es la cristalización del abono cuando bajan las temperaturas, por lo que se debe evitar en lo posible guardar para el invierno soluciones con alta temperatura de cristalización. En caso de tener almacenado un resto de formulación verano, para acometer las bajas temperaturas de invierno se debe proceder a la dilución de dicho producto. Los abonos líquidos en el **invierno deben ser al menos un 20% menos concentrados.**

Cuando hayamos terminado el cálculo del programa de abonado, por lo que ya disponemos de la información mensual de las unidades fertilizantes a aportar, debemos hacérselo llegar al fabricante, tanto de las cantidades como de las proporciones de **N – P_2O_5 – K_2O**, así como las posibles necesidades de aportación de **Ca**, **Mg** y **microelementos**. Ello es necesario para que se estudie la composición óptima del fertilizante líquido a emplear en cada caso, teniendo en cuenta todas las circunstancias expuestas anteriormente, así como el coste final, considerando asimismo el coste de transporte del fertilizante, que en muchos casos es decisivo, ya que las plantas de formulación se encuentran frecuentemente a muchos kilómetros del punto de consumo.

Tabla 17.9: características básicas de algunos formulados líquidos que podrían emplearse en programas de fertirrigación de olivar.

Fórmula	Equilibrio	Formas de N			P_2O_5	K_2O	Temperatura cristalización (ºC)	Densidad g /cm³	pH
		Nítrico	Amoniacal	Ureico					
12-4-8	3-1-2	0	0	12	4	8	0	1.18	1.7
7,5-2,5-5	3-1-2	3.8	3.7	0	2.5	5	3	1.13	0.3
9-3-6	3-1-2	2.3	2.2	4.5	3	6	11	1.17	0.7
9-3-7,5	3-1-2,5	0	0	9	3	7.5	0	1.12	1.4
6-2-5	3-1-2,5	3	3	0	2	5	5	1.12	0.8
6-2-5	3-1-2,5	1.5	1.5	3	2	5	2	1.10	1.2
9-3-9	3-1-3	0	0	9	3	9	0	1.13	1.0
6-2-6	3-1-3	3	3	0	2	6	12	1.13	0.5
9-3-9	3-1-3	2.3	2.2	4.5	3	9	15	1.22	0.8
6-2-10	3-1-5	0	0	6	2	10	0	1.13	1.4
4,5-1,5-7,5	3-1-5	2.3	2.2	0	1.5	7.5	10	1.12	0.9
6-2-10	3-1-5	1.5	1.5	3	2	10	11	1.15	1.2

En la **tabla 17.9** damos, como **ejemplo**, las características básicas de algunos de los distintos formulados líquidos que podrían emplearse en programas de fertirrigación de olivar, tabla en la que se detallan las **formas de N** empleadas en cada formulación, las concentraciones de **N-P_2O_5-K_2O**, el **pH**, **CE**, **densidad** y las **temperaturas de cristalización**.

8.- UTILIZACIÓN DE INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

La forma tradicionalmente utilizada para reducir las pérdidas de nitrógeno por lixiviación hacia zonas no exploradas por las raíces del cultivo es la aplicación del N de forma muy fraccionada durante todo el tiempo de riego y durante todo el ciclo de cultivo. Esta práctica asegura la administración de continuada de N a la planta y optimiza la eficiencia de la fertilización, y dicha eficiencia aumenta en la medida en que la frecuencia de aplicación aumenta. Sin embargo, el hecho de aplicar una fertirrigación fraccionada no implica una ausencia total de pérdidas de N por lixiviación.

Otra de las posibilidades de mejorar la eficiencia de la utilización del N (Carbó *y col.*, 2002) es la mejora de los propios fertilizantes aplicados mediante la aplicación, por ejemplo, de **inhibidores de la nitrificación** (**INs**). Estas sustancias retrasan la transformación del NH_4^+ a NO_2^- en el suelo durante un período de tiempo (primer paso de la nitrificación), mediante la inhibición de las bacterias del género *Nitrosomonas*. La utilización de **INs** en la fertilización de los cultivos provoca que el N en el suelo permanezca en forma de NH_4^+ duran-



Fotografía 12.2: Instalaciones de una gran comunidad de regantes de olivar donde se recepciona una cisterna de 24 toneladas de fertilizante líquido para fertirrigación. Debe disponerse de la capacidad de almacenamiento suficiente como para almacenar al menos la capacidad de transporte de un camión.

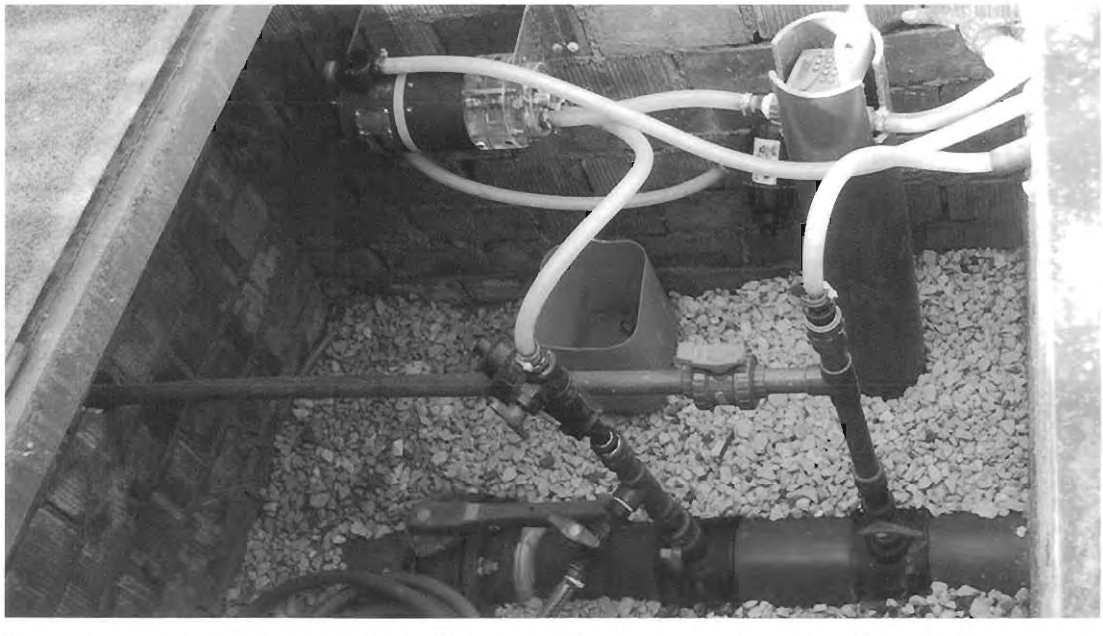
te un cierto período de tiempo. El NH_4^+, debido a su carga positiva, queda fijado en el complejo arcillo-húmico del suelo y se evitan las pérdidas de N en forma de NO_3^-. En la actualidad el **IN** más utilizado es el **3,4-dimetilpirazol fosfato** (DMPP).

La utilización de **DMPP** en fertirrigación podría proporcionar las siguientes ventajas (Lezana y Carrasco, 2002):

- reducción del riesgo de pérdidas de NO_3^- por lixiviación y de emisión de óxidos de N a la atmósfera, en comparación con la fertirrigación convencional.
- es una manera de conseguir que realmente el cultivo disponga de una nutrición N mixta, disponiendo de ambas formas de N, nítrica y amoniacal.
- una disminución de las pérdidas y una nutrición NH_4^+ temporal podría contribuir a incrementar el rendimiento del cultivo.

9.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS ESPECIALES PARA FERTIRRIGACIÓN.

Una de las últimas novedades del mercado de fertilizantes líquidos para fertirrigación son las suspensiones y disoluciones saturadas con **ácido acético**, que reportan una serie de ventajas:



Fotografía 17.3: Bomba inyectora de fertilizantes líquidos de accionamiento hidráulico instalada en pleno campo en una ubicación en la que no existe energía eléctrica disponible. La arqueta se encuentra junto a los tanques contenedores de los abonos líquidos. Un programador de jardín de bajo coste permite automatizar la puesta en marcha de la bomba así como el tiempo de funcionamiento del inyector.

1.- El ácido acético tiene un alto poder secuestrante, por lo que los elementos nutritivos pueden estar más protegidos de la inmovilización que sufren en el suelo, y por tanto, una mayor cantidad de nutrientes pueden ser asimilados por la planta. De ahí su interés agronómico.

2.-El producto tiene una alta estabilidad física, no hay decantaciones, se trata de un líquido muy homogéneo, con olor característico.

4.-El efecto acidificante va muy bien para la mayoría de los suelos de naturaleza caliza, donde tienen un efecto desbloqueante.

5.-El ácido acético es un fulvato y como tal en cierta proporción es asimilado por la planta, mejorando la actividad de la misma.

10.- REGLAS PARA EL MANEJO CORRECTO DE SOLUCIONES FERTILIZANTES Y ABONOS LÍQUIDOS.

Los fertilizantes líquidos, y especialmente los muy ácidos, presentan una manipulación complicada y peligrosa para el operario. Tratando de evitar percances y de conseguir la **MÁXIMA SEGURIDAD DEL TRABAJADOR**, es necesario seguir algunas reglas para el empleo de los abonos líquidos:

1. En el **momento de descarga del abono,** desde el camión que lo ha transportado a los depósitos de almacenamiento, o en cualquier manipulación del fertilizante en finca, hay que usar guantes y gafas de seguridad. Si alguna parte del cuerpo se moja con abono, debe lavarse con abundante agua. Si entra en los ojos, éstos deben lavarse durante 10-15 minutos con agua limpia y dirigirse a la asistencia médica más cercana.

2. Cerciorarse del buen funcionamiento del **sistema de fertirrigación** y comprobar si el **tipo de abono** que se va a utilizar es el apropiado. El **equipo de inyección** y los elementos que estén en contacto con el abono concentrado deben ser de **materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable, polipropileno, PE, PVC)**.

3. El **depósito** en donde se almacena el abono debe estar fabricado de materiales resistentes al tipo de abono que se almacena (los abonos son corrosivos y tienen una densidad muy superior a la del agua). Debe estar debidamente cerrado, asegurando una mínima entrada de aire para facilitar su vaciado.

4. En la salida del depósito debe haber un **filtro de control** que se limpiará antes de cada aplicación.

5. Antes de la **descarga** del abono hay que asegurarse que el **depósito esté limpio** y que no contenga otro producto que pueda reaccionar con el abono líquido que vamos a verter.

6. Los abonos **sobrantes de la campaña de verano** deben ser **diluidos antes de la llegada del frío otoñal**, lo que evitará que se formen cristales y precipitados en las noches frías.

7. La **instalación de los depósitos** debe hacerse sobre una base firme y nivelada. Se recomienda hacer alrededor una fosa, de tal manera que si se vuelca accidentalmente el contenido, no se dañe el cultivo vecino.

8. En todo cabezal de riego deben instalarse **válvulas de retención** para evitar el flujo inverso del agua hacia el depósito del abono.
9. En las llaves de paso y válvulas del sistema de riego deben colocarse carteles de advertencia para **evitar que alguna persona beba accidentalmente agua con abono**.

10. Al finalizar el riego **no debe quedar en la red de riego nada de abono**. Para esto es necesario interrumpir el abonado con tiempo suficiente para el lavado completo de todo el sistema. Se calcula que para asegurar este lavado debería pasar por el sistema de riego un volumen de agua que sea 5-6 veces mayor que la capacidad de la tubería.

11. Se debe proceder a la **limpieza periódica del equipo.**

12. Si un tanque tiene un determinado producto, aunque sea en poca cantidad, por ejemplo, un 5% de la capacidad del tanque, **nunca debe añadirse ningún otro producto**, sin antes haber sacado lo que había dentro de dicho tanque y haber procedido a su lavado con agua. Tener muy en cuenta que muchas de las formulaciones de abonos líquidos se fabrican al límite de concentración, de acuerdo con la fórmula solicitada en cada caso por el cliente, con objeto de obtener un producto más barato (fundamentalmente economía en el transporte). La mezcla con otro fertilizante con toda probabilidad rompe el equilibrio del sistema y produce precipitados de cristales en el fondo del tanque.

11.- INSTALACIONES PARA FERTIRRIGACIÓN

En el capítulo 9 se ha dado una amplia información sobre los materiales e instalaciones necesarias para inyectar los fertilizantes en la red de riego: tanques, bombas de inyección, agitadores, automatismos, etc.

Referencias bibliográficas

Cadahía, C., Eymar, E., Lucena, J.J., 2000. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. En: Cadahía, C. Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 83-122.

Carbó, J., Pagés, J.M., Carrasco, I., 2002. Mejora de la fertirrigación de perales Conference en la provincia de Girona mediante la utilización del inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazol fosfato (DNP, ENTEC®). Fruticultura Profesional, nº 131, 9-15.

Del Campillo, M.C., Barron, V., Torrent, J., Pastor, M., Castro, J. Hidalgo, J., Camacho, L., 2000. Clorosis férrica del olivo y técnicas de corrección más adecuadas. Vida Rural, 108: 54-60.

Enseñat de Carlos, L., 2003. Fertilización, rentabilidad y medio ambiente: el caso de los quelatos. Memorias del Iº Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Ed. Agrolatino. Barcelona. 168 – 170.

Domínguez Vivancos, A., 1993. Fertirrigación. Ed, Mundi-Prensa. Madrid.

Fernández-Escobar, R., 1999. Fertilización. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. El cultivo del olivo. Ed. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid. 265.245-

FERTIBERIA, 1996. Catálogo de productos.

GAT Fertilíquidos España. 1999. Abonos líquidos 'a medida'. Información Técnica.

Giner Gonzálbez, J.F., Jiménez Montesinos, M., Oltra Cámara, M.A., 2000. Fertilizantes para riego localizado. En: Giner, J.F. Curso de Fertirrigación de Cítricos. Ed. Universitat Politécnica de Valencia y Coselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentació. Generalitat Valenciana. 197-216.

HEROGRA FERTILIZANTES, 1999. Catálogo de productos.

Lezana, J.R., Carrasco, I., 2002. 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) el nuevo inhibidor de la nitrificación para fertilizantes. Experiencias en sistemas de fertirrigación. Vida Rural, nº 143.

Lucena, J.J., 2003. Clorosis férrica y su corrección. Quelatos de hierro. Documentación Técnica del Curso *Principios de la fertirrigación de cultivos leñosos y su aplicación al cultivo del olivar.* Universidad Internacional de Andalucía. Baeza (Jaén).

Pastor,M., Castro,J., Hidalgo,J., Camacho,L, Del Campillo,M.C., 2000. Corrección de clorosis férrica en olivar mediante la utilización de quelatos Fe-EDDHA en fertirrigación. Edafología, 7-2:197-204.

Pizarro, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

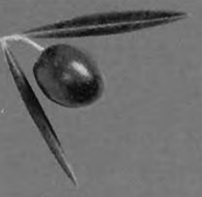
Torrecillas, A., Sánchez-Blanco, M.J., Hernansáez, A., Gómez, J., 1991.Consideraciones sobre algunos aspectos relativos al uso combinado del agua y los fertilizantes. En: *El agua y los fertilizantes. Fertirrigación Localizada.* R. Madrid (editor). Ed. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Región de Murcia. Serie Congresos nº 3. 241-250.



CAPÍTULO 18

FERTILIZACIÓN FOLIAR EN OLIVAR

Miguel Pastor Muñoz-Cobo



1.- ABONADO FOLIAR EN OLIVAR

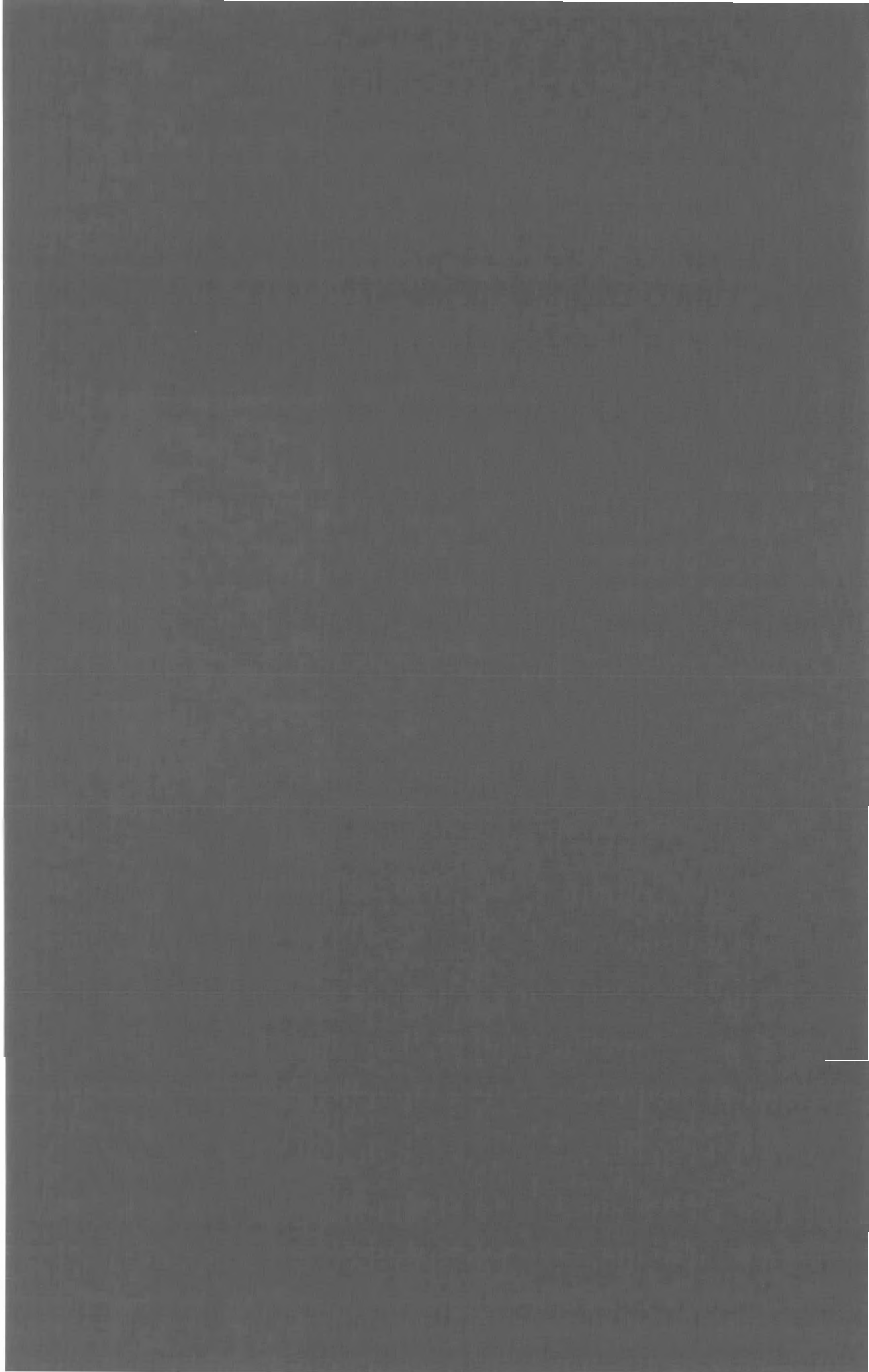
2.- ENSAYOS DE EFICACIA DE TRATAMIENTOS FOLIARES FERTILIZANTES

3.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ABSORCIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES

4.- RECOMENDACIONES SOBRE LA APLICACIÓN FOLIAR DE LOS FERTILIZANTES

Referencias bibliográficas





1.- ABONADO FOLIAR EN OLIVAR

La mayor parte de los nutrientes que precisan las plantas (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cl, B, Mn, Zn, Cu, Fe, Mo) son suministrados por vía radicular. Además, la mayoría de los órganos son capaces de absorber nutrientes en forma iónica de las soluciones aplicadas. En general la capacidad de absorción de nutrientes a través de las hojas es relativamente baja, por ello la práctica de la fertilización foliar en la gran mayoría de los cultivos leñosos debería emplearse como complemento y no como sustitución de la fertilización vía suelo.

Aunque en el **olivar de secano** evidencias experimentales (Ferreira *y col.*, 1978; Navarro, 2003) muestran que en muchas situaciones (años secos, suelos muy calizos, etc.) el abonado foliar puede ser el sistema muy eficaz para el suministro de nutrientes a la planta, en **olivar de riego** pensamos que la práctica de la fertilización foliar debería emplearse como un complemento a las aplicaciones de abonos que de forma programada se realizan junto con el agua de riego.

Bañuls *y col.* (2003) citan una serie de casos en los que el empleo de la fertilización foliar ofrece una serie de **ventajas**:

- Cuando la planta requiere elementos que pueden ser inmovilizados por el suelo.
- Cuando las deficiencias se detectan en estados avanzados del crecimiento y se precisa una rápida respuesta.
- Cuando la planta no dispone de suficientes nutrientes en momentos críticos de su ciclo vegetativo, debido a que la actividad de la raíz se ve afectada por factores adversos (baja temperatura del suelo, pobre aireación, encharcamiento, patógenos del suelo, etc.).

Como **inconvenientes** (Parra *y col.*, 2003) podríamos citar:

- Lavado del producto si se producen lluvias inmediatamente después de la realización del tratamiento, lo que puede lavar una parte o la totalidad del producto aplicado.
- Riesgo de causar fitotoxicidad en hojas cuando no se emplean las dosis adecuadas.
- Baja absorción de algunos nutrientes, lo que puede resolverse con la adición de ciertos aditivos (agentes quelantes, sustancias húmicas, etc.) o empleando determinados productos comerciales de más fácil absorción foliar.
- Contaminación del suelo por el fertilizante no interceptado por la copa de los árboles.

No todos los nutrientes son bien absorbidos por las hojas, la siguiente tabla establece una serie de rangos de absorción foliar:

Absorción foliar	Elemento nutritivo
Muy alta	N – K – Na
Alta	P – Cl - S
Media / escasa	Mg – Zn – Cu – Mn – Mo - B
Muy escasa	Ca - Fe

Vemos como de los tres macroelementos más importantes desde el punto de vista de la nutrición del olivar, el **N** y el **K** son muy bien absorbidos foliarmente, y como el **P** tiene una absorción muy aceptable. Hay que destacar la alta o muy alta absorción de **Na** y **Cl**, lo que es una llamada de atención para que seamos muy cuidadosos a la hora de seleccionar el agua a utilizar en las aplicaciones foliares, ya que si se emplean aguas cargadas de sales (alto contenido en **NaCl**), correríamos el riesgo de causar toxicidades.

Por el contrario, tanto **Ca** como **Fe** son muy mal absorbidos foliarmente, especialmente el hierro, por lo que tendremos que recurrir, sin más remedio, a las aportaciones al suelo para corregir las deficiencias nutritivas.

2.- ENSAYOS DE EFICACIA DE TRATAMIENTOS FOLIARES FERTILIZANTES

El primer ensayo realizado en Andalucía sobre la utilización del abonado foliar en olivar fue realizado en la Estación de Olivicultura de Jaén a principio de los años setenta (Ferreira *y col.*, 1978), trabajando con **urea** como fuente de aplicación de nitrógeno, ya que en ensayos previos se habían obtenido unos excelentes resultados, mejores que empleando sulfato amónico o nitrato amónico. En este primer ensayo (**figura 18.1**) y durante tres años, a un olivar adulto de la variedad 'Picual' cuyo suelo no había sido abonado con N, se le aplicó **urea** al 5% (10 litros de caldo por olivo) en dos fechas alternativas: floración o endurecimiento del hueso, comparando ambos tratamientos con un testigo sin tratar. En ambas fechas el tratamiento con **urea** aumentó significativamente la producción con respecto al control, tanto anualmente como para la media de los tres años. En árboles con una producción media de unos 30 kg se obtuvo un aumento significativo de producción, superior a 5 kg/olivo (17 %), lo que hizo muy rentable la aplicación foliar de urea.

La citada estación de Olivicultura de Jaén (datos no publicados) hizo igualmente otros experimentos con aplicación foliar de N en forma de nitrato amónico o de sulfato amónico. Los resultados fueron peores que cuando se empleó la urea como fuente de N.

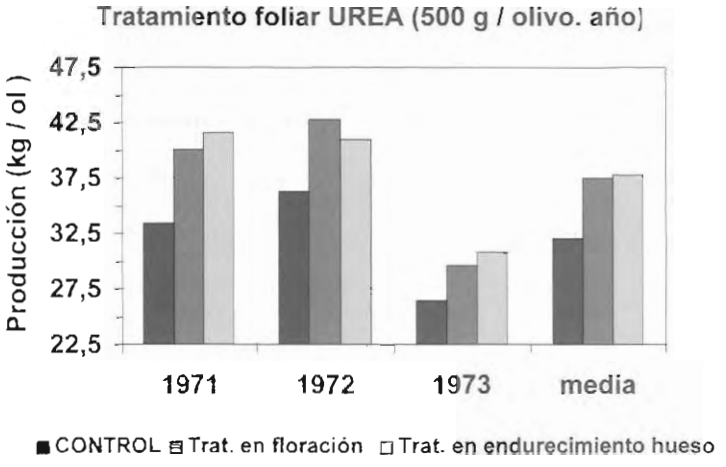


Figura 18.1: Resultados de un ensayo en el que por primera vez se aplicó urea en tratamiento foliar. El ensayo se realizó en Jaén en olivar adulto de la variedad 'Picual' al que se aportó anualmente urea (500 g/árbol, disuelta en 10 litros de agua), bien en floración o en endurecimiento del hueso.

Tratando de ilustrar la rápida y eficiente absorción de **N** por hoja cuando se realizan pulverizaciones foliares con **urea**, mostramos los resultados de un ensayo realizado en Córdoba en1976 (Ferreira *y col.*, 1978) en el que en olivos jóvenes de riego de la variedad 'Morrut' se realizaron 3 aplicaciones de 100 g / olivo de **urea** en el periodo floración-endurecimiento del hueso. Se observa (**figura 18.2**) que con relación al testigo no tratado, los árboles a los que se aplicó la urea mantuvieron un contenido de **N** en hoja mucho mayor, contenido que aumen-

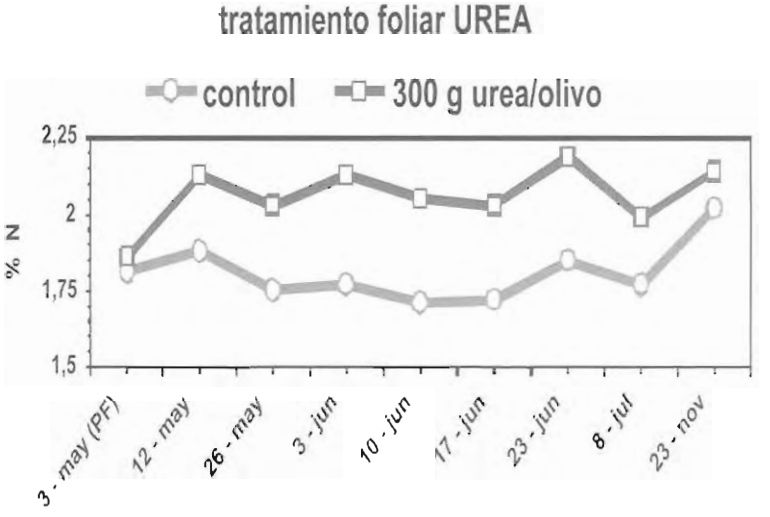


Figura 18.2: Evolución del contenido de N en hojas de olivo, en un ensayo realizado en el año 1977 en Córdoba en olivar de riego de 7 años de edad, variedad 'Morrut'. En el ensayo se compara un control no tratado con árboles en los que se realizaron tres aplicaciones de urea (100 g/olivo.aplicación) en fechas 5 y 16 de mayo y 17 junio. El tratamiento con urea permitió mantener un mayor contenido de N en hoja a lo largo de toda la campaña, así como obtener un aumento de producción del 20%.

taba inmediatamente después de realizarse cada una de las aplicaciones. La producción en los árboles tratados aumentó aquel año un 20%. Esta mayor producción es debida a un mayor índice de cuajado de frutos y a la reducción de la caída de aceitunas después del cuajado (Cimato *y col.*, 1990), al reducirse la competencia entre frutos por N.

Estos datos están en consonancia con los obtenidos por Klein y Weinbaum (1984) que trabajando con urea con N marcado radiactivamente comprobaron que muy pocos días después de realizar el tratamiento con **urea**, el N marcado se encontraba en puntos de consumo (yemas, flores, frutos) alejados de lugar en el que se había realizado la aplicación, lo que prueba la excelente absorción y traslocación dentro de la planta del N procedente del tratamiento con urea.



Fotografía 18.1: La urea utilizada a una dosis adecuada es el fertilizante nitrogenado que proporciona una mejor absorción foliar de N en olivar; numerosos experimentos realizados bajo supervisión oficial así lo han demostrado. La urea mejora asimismo la absorción foliar de otros nutrientes como el potasio. El hecho de que se trate o no de una urea baja en biuret parece poco relevante en olivar si se manejan las dosis adecuadas.

En un ensayo de larga duración realizado en Córdoba, también en olivar intensivo de regadío, ensayo del que se hace referencia en otros capítulos (Pastor *y col.*, 2000), durante siete años se trató de estudiar la respuesta a largo plazo de la aplicación foliar de diferentes **fertilizantes potásicos** (nitrato potásico, sulfato potásico y cloruro potásico). Las producciones medias anuales se muestran en la **figura 18.3**. Vemos que anualmente los árboles tratados con K tuvieron una mayor producción que el control no abonado con K, no observándose dife-

rencias significativas entre las producciones obtenidas utilizando los diferentes fertilizantes potásicos. Se obtuvo un aumento medio de producción comprendido entre el 25 y el 30 % según los fertilizantes empleados. Los tratamientos aumentaron anualmente los niveles de **K** en hoja muy por encima de los niveles observados en el control no abonado.

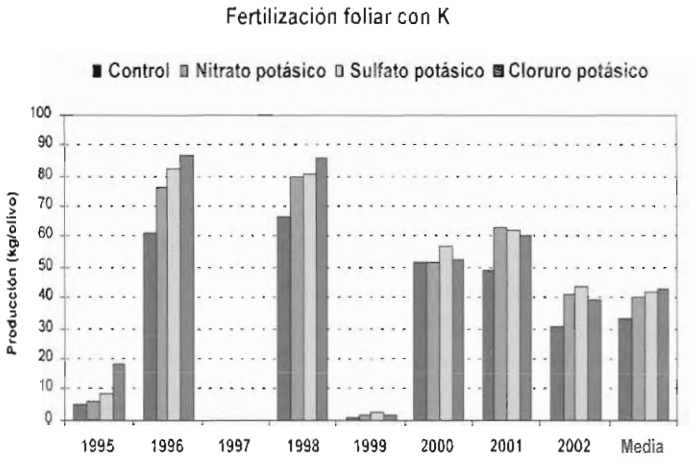


Figura 18.3: Resultados de un ensayo de fertilización foliar con K en el que se emplearon 3 fertilizantes potásicos diferentes, aportándose en todos los casos 350 g K2O por olivo y año, fraccionándose la cantidad total en 3 ó 4 aplicaciones. Los resultados muestran una respuesta muy rentable a la aplicación de los diferentes fertilizantes

Los tratamientos de **sulfato** y **cloruro potásico** (datos no presentados) en los que el **N** se aportó en forma de **urea** proporcionaron un estado nutritivo en N y K mejor que el de los olivos tratados con nitrato potásico, lo que parece demostrar la mejor absorción foliar del **N uréico** que la del **N nítrico** y la sinergia **urea - K**.

3.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ABSORCIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES

Una serie de factores influyen en la absorción foliar de nutrientes por las hojas (Navarro, 2003):

- Edad de la hoja.
- Concentración del nutriente empleada en el caldo de tratamiento.
- Repetición de las aplicaciones en intervalo de tiempo relativamente corto.
- Hora diaria de aplicación.

- Adición de urea cuando se abona con otros nutrientes.
- Utilización de mojantes.
- Tipo de fórmula empleada.

Con respecto a la **edad de la hoja** se ha puesto de manifiesto que la absorción es mayor en **hoja nueva** que en hoja vieja, con aumentos de absorción contrastados de hasta del 50%. La hoja vieja tiene un mayor espesor de la cutícula y una actividad metabólica menor, lo que puede explicar esa baja absorción.

Somos siempre partidarios de emplear **bajas concentraciones de nutrientes** en el caldo de tratamiento, ya que un aumento de dicha concentración no hace más que reducir la absorción, llegando a causar, en la mayoría de los casos, ciertos problemas de fitotoxicidad, síntomas de los que después se suelen recuperar los árboles con cierta rapidez. Las concentraciones idóneas, y para los diferentes macronutrientes, se encuentran en el rango 1 - 3 %. La siguiente tabla muestra nuestras recomendaciones:

Nutriente	Abono foliar	Concentración en caldo de tratamiento (%)
N	Urea	2 - 3 %
P	Fosfato monoamónico	2 %
	Fosfato monopotásico	2 %
K	Nitrato potásico	2,5 %
	Sulfato potásico	2,5 %
	Cloruro potásico	2,0 %
	Carbonato potásico	0,5 – 1,0 %
Mg	Sulfato de magnesio	0,5 – 0,7 %

La absorción foliar de nutrientes depende directamente de las **condiciones ambientales**, fundamentalmente de la humedad y temperatura (Parra *y col.*, 2003). Por esta razón la **aplicación nocturna** o en las **primeras horas de la mañana** (valores relativamente bajos de temperatura y alta humedad del aire) mejoran la absorción foliar de los nutrientes, mientras que la pulverización en las horas centrales del día (valores relativamente altos de temperatura y baja humedad ambiental), y especialmente en días calurosos del verano o final de primavera, reduce la efectividad del tratamiento.

La absorción de nutrientes tiene lugar mientras que la hoja se mantiene húmeda, y cesa cuando ésta se ha secado. Si aún queda fertilizante sobre la hoja sin haber sido absorbido, la absorción puede reanudarse si la hoja de nuevo se humedeciese con agua en cantidades que no provoquen el lavado. Por esta razón tanto la repetición de las aplicaciones en un periodo breve de tiempo (lo que en la práctica no es demasiado viable), como el mojado de las hojas

por el rocío o lluvias de pequeña intensidad, que no laven el producto aplicado, mejoran la absorción foliar de los nutrientes.

La adición de **urea (1%)** al caldo de tratamiento mejora notablemente la absorción de nutrientes, en especial la de **P** y **K,** ya que las cutículas de las hojas se hacen más permeables en presencia de urea. Asimismo el empleo de **mojante** a la dosis recomendada por el fabricante mejora la absorción, ya que el mojante, al disminuir la tensión superficial, aumenta la superficie mojada por cada una de las gotas pulverizadas que entran en contacto con la hoja.

La **figura 18.4** muestra los resultados de un experimento en el que se estudió el efecto de la adición de **urea** o **aminoácidos** al caldo de tratamiento en las aplicaciones foliares de **cloruro potásico** (ClK). El efecto del aditivo se midió estudiando el contenido de potasio en hojas que fueron muy bien lavadas en laboratorio antes de realizar el análisis foliar. Vemos que el ClK aumentó de una forma significativa el contenido de K en hoja con respecto al control no tratado, y como la adición de urea (1%) o aminoácidos (0,25 l de producto comercial / 100 litros de caldo) aumentaron el contenido foliar de K con respecto al de olivos a los que solamente se aplicó ClK. Los resultados obtenidos adicionando urea no son significativamente diferentes a los obtenidos adicionando los aminoácidos.

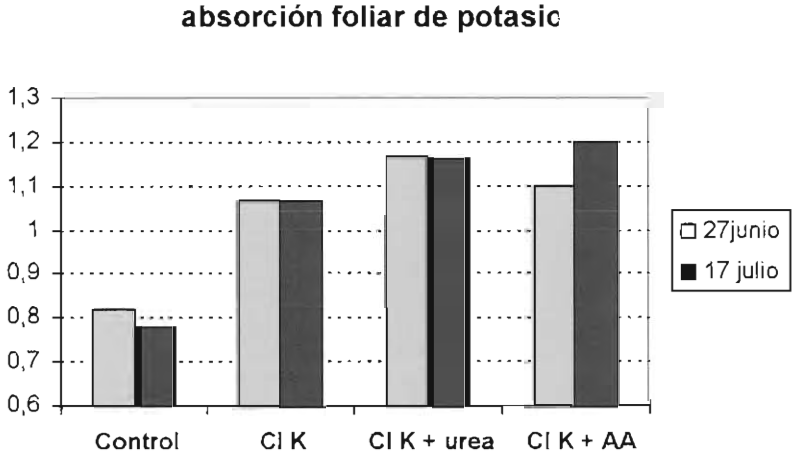


Figura 18.4 : Resultados obtenidos en un experimento realizado en Córdoba con olivos de riego de la variedad 'Picual', a los que se aplicaron foliarmente diferentes tratamientos de abonado potásico: control sin K, ClK (2%), ClK (2%) + urea (1%) y ClK (2%) + aminoácidos. Se realizaron dos aplicaciones (abril y principio de junio), tomándose muestras de hoja el 27 de junio y 17 julio.

En el **Capítulo 16** damos algunas indicaciones sobre la aplicación de micronutrientes vía foliar.

4.- RECOMENDACIONES SOBRE LA APLICACIÓN FOLIAR DE LOS FERTILIZANTES

En abonado foliar es fundamental realizar las **aplicaciones** con abundante cantidad de agua (800 - 1.000 l/ha para olivares con un buen desarrollo), que asegure un completo mojado de la copa del olivo, así como que las hojas estén húmedas durante el máximo tiempo posible; además el tamaño de gota debe permitir que se quede sobre las hojas de olivo la mayor proporción posible del caldo aplicado. Igualmente es importante ajustar las aplicaciones de modo que una mínima cantidad de caldo vaya a parar al suelo en el trayecto entre olivos, por esta razón el empleo de sensores y mecanismos de regulación automática (ultrasonido) de los tratamientos nos parece fundamental.



Fotografía 18.2: De una correcta técnica de aplicación depende la eficacia de los tratamientos fitosanitarios, así como la de la fertilización foliar en olivar. El atomizador, bien regulado, nos proporcionará la mejor calidad de pulverización, mejor mojado de la hoja, especialmente cuando se realizan aplicaciones en olivares frondosos de regadío.

Con relación a las **máquinas de aplicación de productos fitosanitarios**, el **atomizador** bien regulado nos parece que proporciona la mejor calidad de pulverización, siendo poco recomendables los tratamientos con **pistolas** con ayuda de operarios, o incluso ciertos **meca-**

nismos con boquillas oscilantes (tipo *casotti*, por ejemplo), incluso los que incluyen varios grupos de boquillas, aunque, por su aceptable precio, a muchos olivareros les parecen ideales.

La **regulación del atomizador** debe realizarse antes de iniciar el tratamiento, para asegurar el correcto mojado de la copa. Por ello se utilizarán las boquillas más adecuadas, regulándose la presión de trabajo y la velocidad de avance del tractor, teniendo en cuenta que el transporte del caldo fertilizante desde la cuba del atomizador hasta el árbol debe hacerlo el aire del ventilador, y no supeditarlo a la presión con que la bomba lo impulsa. El caudal de aire del ventilador debe ser el adecuado, siempre en consonancia con el marco de plantación, con el tamaño de los árboles y con la densidad de la copa, lo que asegurará el correcto mojado de todas las hojas del olivo, esencial para una adecuada eficacia del tratamiento.

El mantenimiento y cambio periódico de las **boquillas** nos parece fundamental, aunque aparentemente parezcan que están en buen estado. Las boquillas fabricadas en cerámica endurecida nos parecen las ideales. Existen para cada modelo diferentes diámetros de orificio, cada uno se adapta mejor al tipo de trabajo que vamos a realizar. Por su bajo coste merece la pena dispones de varios modelos, lo que permitirá hacer los cambios oportunos antes de iniciar la pulverización.

Referencias bibliográficas

Bañuls, J., Quiñónez, B., Martín, E., Primo-Millo, E., Legaz, F., 2003. Aplicación foliar de nitrato potásico como complemento a la fertilización vía suelo en Clementina de Nules. Fruticultura Profesional, 135: 13- 22.

Cimato, A., Marranci, M., Tattini, M. , 1990. The use foliar fertilization to modify sinks competition and to increase yield in olive (*Olea europaea* cv. Frantoio. Acta Horticulturae. 286: 175-178.

Ferreira, J., Pastor, M., Magallanes, M., 1978. Ensayos de fertilización foliar nitrogenada en el olivo. Actas Seminaire sur l'Olivier et autres Plantes Oleagineuses cultives en Tunisie . Mahdia (Tunisie). 93 – 100.

Klein, I., Weinbaum, S.A., 1984. Foliar application of Urea to Olive: translocation of urea nitrogen as influenced by sink demand and nitrogen deficiency. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 109 (3): 356-360.

Navarro, C., 2003. Estrategias de fertilización en el olivar compatibles con el medio ambiente. Actas XI Simposium Internacional del Aceite de Oliva. Foro del Olivar y el Medio Ambiente. Jaén.

Parra, M.A., Fernández-Escobar, R., Navarro, C., Arquero, O., 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Ed. Mundi- Prensa. Madrid. 238-240.

Pastor, M., Vega, V., Suárez, R., 2.000. El abonado potásico en olivar: Fertilización foliar. Vida Rural, 115: 50-55.



CAPÍTULO 19

MANTENIMIENTO DEL SUELO EN OLIVAR DE REGADÍO: MANEJO DEL SUELO Y HERBICIDAS

Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- INTRODUCCIÓN

2.- HERBICIDAS EN EL OLIVAR

3.- BUENAS PRÁCTICAS EN EL EMPLEO DE HERBICIDAS

4.- MANEJO DEL SUELO EN OLIVARES REGADOS POR GOTEO
- 4.1.- Aspectos técnicos: tuberías portagoteros enterradas o superficiales
- 4.2.- Problemas de control de las hierbas en dos zonas bien diferenciadas: bulbos húmedos y zona no afectada por el riego.
- 4.3.- Sistemas de cultivo
- 4.4.- Forma de aplicar los herbicidas: convencional y/o a través de la red de riego

5.- LA HERBIRRIGACIÓN
- 5.1.-Ventajas e Inconvenientes
- 5.2.- Movimiento de herbicidas en el bulbo húmedo
- 5.3.- Control de malas hierbas en herbirrigación

6.- ESTRATEGIAS DE CONTROL DE MALAS HIERBAS EN OLIVAR REGADO POR GOTEO
- 6.1.- Estrategias de control en el centro de las calles de la plantación.
- 6.2.- Estrategias de control en la zona seca de la línea de tuberías portagoteros.
- *6.3.- Estrategias de control en los bulbos*
  - 6.3.1.- Plantaciones adultas
  - 6.3.2.- Plantaciones jóvenes
- 6.4.- Estrategias de control malas hierbas perennes
- 6.5.- Elección de herbicidas para herbirrigación en olivar
- 6.6.- Práctica de la herbirrigación en olivar y cálculo de la dosis de herbicida

Referencias bibliográficas

1.- INTRODUCCIÓN

La mayoría de los principios de manejo del suelo utilizados en secano (Saavedra y Pastor, 2002) podrían extrapolarse al **olivar de riego**, ya que en la gran mayoría de la superficie regada se emplea el riego por goteo, sistema que poco altera los hábitos culturales de los olivareros. Sin embargo, existen una serie de peculiaridades de manejo que queremos presentar en este capítulo.

Un aspecto que siempre debe ser tenido en cuenta es el **balance de agua en el suelo**:

- cuando con el riego se cubren las **necesidades hídricas del cultivo**, el agua ya no va a ser el factor limitante de su producción como ocurre en los olivares de secano.

- en los olivares en los que se aplican **riegos deficitarios** (en la mayoría de los casos), los árboles pueden llegar a sufrir **déficit hídrico** en determinados momentos de su ciclo. En esta situación los planteamientos para la correcta elección del sistema de cultivo pueden ser los mismos que en el secano, ya que la reserva de agua almacenada en el suelo puede cubrir, también en este caso, una parte importante de la demanda anual del cultivo (50 ó 60 %), por lo que cualquier ahorro de agua repercutirá positivamente en la producción.

- tener hierba **en determinados momentos del ciclo** no significa disponer de menor cantidad de agua en el momento que lo demande el cultivo.

- en situaciones de **déficit hídrico** la reducción / supresión del laboreo contribuye a economizar el agua almacenada en el suelo y a aumentar la eficiencia del agua de lluvia.

Tratando de verificar estas hipótesis, en 1985 se planteó en Puente Genil (Córdoba) un ensayo de sistemas de cultivo en olivar con riego por goteo deficitario, en el que se compararon tres sistemas:

(1) **laboreo (L)**,
(2) **no-laboreo con suelo desnudo (NLD)**
(3) **laboreo mínimo (LM)**.

Se trabajó en un olivar adulto con más de 20 años de edad plantado con marco 7,8 x 4,5 m (285 olivos/ha), que vegeta en un suelo bastante llano. Cada fila de árboles estaba equipada con una tubería de PE portadora de dos emisores autocompensantes de 4 l/h por olivo. Se regó en el periodo marzo-octubre, y la dotación anual fue de 1.500 m^3/ha. Las producciones de aceitunas se controlaron durante un periodo de 7 años, de 1987 a 1993, ambos inclusive.

Tabla 19.1. Producción de aceitunas en un ensayo de sistemas de cultivo en olivar con riego por goteo. Finca San Francisco (Puente Genil, Córdoba). L = laboreo convencional; NLD = no laboreo con suelo desnudo; y LM = laboreo mínimo

Año	Producción de aceituna (kg/ha)			Rendimiento graso (%)		
	L	NLD	LM	L	NLD	LM
1987	24.88	24.68	25.62	22.9	23.8	23.4
1988	33.77	36.23	40.13	20.4	20.3	20.1
1989	16.84	19.13	11.96	23.5	20.2	23.9
1990	43.31	49.18	51.89	24.5	23.8	23.6
1991	28.91	32.11	26.88	21.4	23.5	24.4
1992	44.99	50.97	54.84	17.1	17.7	18.8
1993	27.47	28.41	23.48	19.7	18.6	19.6
Media	**31.45**	**34.39**	**33.54**	**21.1**	**21.1**	**21.6**

En la **tabla 19.1** presentamos las producciones de aceitunas y rendimientos grasos obtenidos anualmente en el ensayo. Observamos que en los sistemas de laboreo reducido (**no-laboreo** y **mínimo laboreo**) se obtuvo una producción mayor que en **laboreo**, con rendimientos grasos muy similares en los tres sistemas de cultivo, lo que evidencia que cuando se reducen / suprimen labores se optimiza el uso del agua de lluvia.

Considerando los resultados presentados, podemos decir que también en regadío **los sistemas de laboreo reducido (NLD y LM) pueden ser los más interesantes,** ya que facilitan el manejo de la plantación y del riego, proporcionando unos interesantes aumentos de la producción de aceite con respecto al laboreo.

	Producción media de aceite (kg/ha)		
Sistema de cultivo	L	NLD	LM
1987 a 1993	1.891	2.068	2.065

En nuestro ensayo, el aumento medio de producción fue de un 9 %, equivalente a **177 kg aceite / ha y año**, lo que al precio actual del aceite (libres de coste de recolección y molturación) supone un aumento en el beneficio de unos 280 €/ha (= 45.000 pta/ha). Sin embargo, cuando se trabajó en olivares en los que se cubrían mediante el riego la totalidad de las necesidades hídricas del cultivo, no se observaron diferencias de producción entre los diferentes sistemas de manejo del suelo ensayados (Saavedra y Pastor, 2002), por lo que en estos casos en la elección del sistema de cultivo deben imperar criterios como la conservación de suelos o los costes de mantenimiento.

2.- HERBICIDAS EN EL OLIVAR

La **tabla 19.2** presentan las formulaciones de herbicidas autorizadas al día de hoy en el olivar, información que estimamos es de interés para el olivarero en este momento. Por razones obvias remitimos al lector a un Vademécum (por ejemplo De Liñan, 2003) que le permitirá identificar los nombres comerciales de los formulados, de la compañía que los comercializa, y las dosis de empleo recomendadas. Igualmente pueden acudir a los Servicios Oficiales de Protección Vegetal para que les informe.

La **tabla 19.3** muestra información sobre dosis de aplicación y restricciones de uso de los herbicidas que pueden emplearse en olivar, mientras que la **tabla 19.4** muestra una completa información sobre el modo de acción sobre la mala hierba, comportamiento del herbicida en el suelo y forma de empleo de los herbicidas con mayor posibilidad de ser empleados en olivar. A continuación vamos a intentar presentar cuales son, entre los autorizados, los herbicidas más interesantes en olivar de regadío, así como sus ventajas e inconvenientes. Además advertir que de dichas tabla hemos excluido los formulados que pensamos están ya en desuso, tratando, de esta forma, de hacer una exposición más clara para el lector.

Advertir que probablemente y en un futuro próximo, por cuestiones agroambientales y/o por seguridad alimentaria se prohiba la utilización de algunos herbicidad (por ejemplo terbutilazina, MCPA) o se limite la cantidad a emplear, lo cual está previsto cuando se redactan estas líneas.

Los herbicidas clásicos empleados en **preemergencia de las malas hierbas** en olivar han sido **simazina** y **diurón**, o la mezcla de ambos. En la actualidad, y tras la prohibición de simazina en olivar, parece que **terbutilazina** (solo o en mezcla con diurón), parece que puede ser el herbicida más interesante dentro de la gama de los de preemergencia (si la futura legislación comunitaria no restringe/prohibe su empleo). Otros candidatos probablemente serán **flazasulfurón, diflufenican, oxifluorfen**, etc. Muchas de estas materias activas son complementarias entre ellas, permitiendo controles de especies de malas hierbas que otras moléculas

no son capaces de controlar adecuadamente. **Oxifluorfen** en plantaciones muy jóvenes es el herbicida más interesante.

Terbutilazina es una molécula muy parecida a simazina en su espectro de acción, con la ventaja de tener una cierta eficacia en postemergencia sobre malas hierbas recién germinadas y/o con muy pequeño desarrollo.

Teniendo en cuenta la relativamente baja persistencia en suelo de los herbicidas residuales, insuficiente en muchos casos para mantener limpio el terreno en el periodo otoño-primavera, se mejoran los resultados cuando se retrasa la aplicación al momento en el que ya se han producido las primeras lluvias de otoño, y con ello las emergencias de las malas hierbas. A partir de este momento (**postemergencia temprana**) se deberán hacer las aplicaciones, empleando en este caso alguna de las formulaciones o mezclas en tanque que contengan, por un lado, un **herbicida residual** (ver párrafos anteriores), añadiendo además un **herbicida de postemergencia** (para controlar las hierbas ya emergidas). Entre los herbicidas de postemergencia citamos **paraquat, glifosato / sulfosato, glufosinato de amonio, aminotriazol + tiocianato** o **glifosato + MCPA, oxifluorfen** . Hacer las aplicaciones siempre en ausencia de aceitunas caídas al suelo, en cuyo caso reiteramos que se debe consultar previamente con los Servicios Provinciales de Sanidad Vegetal, que informarán sobre la autorizaciones en ese momento. Solamente una formulación de **glifosato** con una riqueza del 12% i.a. está autorizada para ser aplicada incluso cuando existen aceitunas caídas al suelo.

Advertir, que en la idea de realizar aplicaciones de postemergencia temprana existen formulados comerciales que combinan un herbicida residual y uno de postemergencia (ver **tabla 19.2**), esta alternativa siempre es preferible por diversos motivos. Es el caso, por ejemplo, de mezclas como **diflufenican + glifosato, terbutilazina + glifosato**, etc. La mezcla **terbutilazina + diurón**, bastante efectiva, empleada en **postemergencia temprana** no suele necesitar la adición de un herbicida de postemergencia.

3.- BUENAS PRÁCTICAS EN EL EMPLEO DE HERBICIDAS

3.1.- Buenas prácticas relativas a los herbicidas

Debemos tener en cuenta que el **Registro Oficial de Productos y Material Fitosanitarios** limita el uso de cada herbicida al cultivo sobre el que se han realizado los estudios pertinentes que garantizan que su aplicación (siguiendo las instrucciones de uso expuestas en la etiqueta de cada producto) no supone peligro, y además resulta eficaz. Aplicar un herbicida haciendo caso omiso de estas restricciones puede acarrear peligro para el cultivo, el agricultor, medio ambiente y los propios consumidores.

Cuando vayamos a realizar un determinado tratamiento herbicida, debemos de contemplar globalmente una serie de factores, todos ellos de gran importancia, lo que al final nos conducirá a un **tratamiento económico**, **efectivo** y con un **mínimo impacto ambiental** (Saavedra y Pastor, 2002):

(1) Es necesario **identificar correctamente el problema**: malas hierbas a combatir, cuantificación de la densidad de la población así como el estado de desarrollo y fenología en que se encuentran las hierbas. La localización de la hierba en la parcela (bajo copa o centro de la calle) es igualmente importantísimo.
(2) **Seleccionar la materia activa** o mezcla de materias activas que puede resultar eficaz a mínima dosis para controlar la población de malas hierbas en el estado fenológico o desarrollo de las plantas en el momento en el que se va a realizar la aplicación.
(3) Comprobar que la **materia activa seleccionada** está incluida en la **lista de las autorizadas en olivar** (ver **tabla 19.2**), así como su autorización en el estado fenológico en que se encuentra el olivar en el momento de realizar el tratamiento.
(4) Elegir entre todas las posibles alternativas la que permita un **mínimo impacto ambiental** y un **mínimo coste**.
(5) Localizar el formulado en el comercio y **leer detenidamente la etiqueta**, en la que el fabricante instruye al usuario sobre el empleo del producto (el fabricante es quien mejor lo conoce), recomendando, entre otros, la dosis más adecuada de empleo, su forma de aplicación, y detalles importantes como datos ecotoxicológicos, y normas a seguir en caso de intoxicación del aplicador.
(6) Elegir el **equipo idóneo para realizar la aplicación** (ver Saavedra y Pastor, 2002), cuidando que la presión de trabajo sea la adecuada (2-4 kg/cm^2), y que las **boquillas** estén en buen estado (no hayan sufrido desgaste después de una serie de horas de funcionamiento del equipo). Cada tratamiento puede requerir un gasto de agua diferente (boquillas diferentes), así como una aplicación que permita siempre aplicar la misma dosis en toda la superficie tratada.
(7) Durante la aplicación debe conseguirse que se **mantenga siempre constante la velocidad del tractor**, lo que es indispensable para poder aplicar la misma dosis a toda la superficie del terreno.
(8) Realizar la **aplicación cuando las condiciones atmosféricas sean las adecuadas**, teniendo en cuenta el **riesgo de lluvia**, y especialmente el **viento**, fenómeno este que afecta no solo a la uniformidad de la distribución del herbicida sobre la superficie tratada, sino que puede transportar las gotas de pequeño tamaño a grandes distancias (**deriva**), lo que puede afectar a cultivos colindantes, o incluso al propio cultivo cuando la materia activa empleada no tiene selectividad total por contacto para el propio cultivo. Para paliar en parte este problema se recomienda el empleo de las denominadas **boquillas antideriva**, que permiten aplicar gotas más gruesas que las boquillas normales, lo que reduce el transporte de herbicida por el viento. Es igualmente recomendable emplear **presiones de trabajo relativamente bajas**, insistimos en que entre 2,0 - 3,0 kg/cm^2 es suficiente. Grandes presiones agravan el problema de la deriva.





Fotografía 19.1: Arriba barra acoplada al tractor realizando una aplicación en bandas de herbicida residual. Cuando vayamos realizar una aplicación de herbicidas debemos asegurarnos que hemos calibrado adecuadamente la máquina de aplicación, eligiendo correctamente las boquillas. Dicha elección viene condicionada por el gasto de agua de las mismas a la presión de pulverización recomendada y al ancho de trabajo que proporcionan. El dispositivo hidráulico con el que va dotada la barra de aplicación permite al tractorista, sin bajarse del tractor, regular la altura de las boquillas sobre el suelo, lo que asegurará una óptima uniformidad de distribución del herbicida. Debajo dos operarios realizando una aplicación de herbicidas al suelo utilizando pistolas, este tipo de aplicaciones es muy poco recomendable debido al riesgo para el aplicador, a la deficiente homogeneidad de aplicación, y al gran riesgo de contaminación ambiental.

(9) Antes de realizar una aplicación debemos asegurarnos que hemos **calibrado adecuadamente la máquina de aplicación**, eligiendo correctamente **las boquillas** (tener muy en cuenta las condiciones de trabajo expuestas por el fabricante en su catálogo y realizar las oportunas comprobaciones). Dicha elección viene condicionada por el gasto de agua de las mismas a la presión de pulverización recomendada, por el ancho de trabajo que proporcionan, considerando además la ubicación de las boquillas en la barra de aplicación (distancia entre boquillas) y altura a la que estas se deben situar sobre la superficie sobre la que hay que aplicar el herbicida (el suelo cuando vamos a aplicar un residual o la superficie de la hierba cuando vamos a aplicar uno de postergencia sobre vegetación desarrollada). Solamente cuando hayamos comprobado todos estos detalles debemos llenar el tanque y mezclar el producto formulado, previamente dosificado, con el agua. Una vez que hayamos aplicado la primera cuba, comprobar, contando los olivos tratados y calculando la superficie realmente tratada, que la dosis empleada ha sido la correcta, en caso contrario volveremos a dosificar.

(10) No llenar las cubas de tratamiento directamente de los **cauces de agua** o de **pozos**, lo que evitará la contaminación de los mismos.

(11) **Lavar el depósito** una vez realizada la aplicación. No dejar cubas con restos de producto de un día para otro.

(12) **Recoger** y **destruir los envases** de los productos utilizados. No utilizar dichos envases para otros fines (existe una normativa Real Decreto 1416/2001 de 14 de diciembre publicado para garantizar la gestión ambientalmente correcta de los residuos de envases).

(13) Los aplicadores deben ir provistos de las **prendas prescritas en las normas de seguridad**, y haber realizado el **curso de aplicador de plaguicidas**.

3.2. Buenas prácticas relativas a la programación de la lucha contra las malas hierbas

Tratando de tomar decisiones que nos permitan realizar tratamientos **económicos**, **efectivos** y con un **mínimo impacto ambiental** (Saavedra y Pastor, 2002), hacemos las siguientes recomendaciones:

(1) Cuando se ha identificado el tipo de aplicación a realizar, debe procurarse, en especial cuando se aplican herbicidas por primera vez en un olivar, **emplear siempre las dosis mínimas recomendadas**, suelen ser más que suficientes.

(2) En el transcurso del año se debe **visitar con frecuencia la parcela**, anotando las hierbas que aparecen, aunque sean meras presencias, y su abundancia relativa. Este detalle es imprescindible para que un especialista en la materia pueda en un futuro diseñar un programa de escarda química eficiente, ya que cuando se corrigen a tiempo los problemas pueden evitarse grandes gastos en un futuro. Nos referimos a la prevención de las infestaciones de las llamadas **malas hierbas difíciles** de controlar, que tras su evolución dan lugar a lo que se denomina **inversión de flora**, evitando así el innecesario empleo masivo de herbicidas en el futuro.

(3) Igualmente **no debemos empeñarnos en resolver todos los problemas recurriendo al empleo de herbicidas**, ya que determinadas prácticas de cultivo, entre las que se incluyen las labores (realizadas a tiempo y de una forma adecuada), pueden llegar a ser una herramienta muy efectiva. Las **desbrozadoras** o **segadoras** mecánicas pueden resultar igualmente muy eficaces contra determinado tipo de vegetación. La combinación y alternancia de varios sistemas de control (labores herbicidas desbrozados) siempre es interesante.

(4) Conviene **evitar emplear todos los años el mismo tipo de herbicida**. La alternancia anual, o a lo sumo bianual, de herbicidas es siempre necesaria para evitar que se produzca la selección de especies tolerantes o mal controladas por un determinado herbicida. Dicha alternancia de materias activas, a ser posible pertenecientes a **familias diferentes**, nos parece fundamental. Nunca se debe tratar de solucionar los problemas aumentando las dosis, el **empleo de otra materia activa a dosis baja** casi siempre puede resolver eficazmente los problemas de **inversión de flora**. La mezcla de materias activas, también a dosis bajas, puede resultar muy eficaz.

(5) Diseñar siempre estrategias que compatibilicen el estado fenológico de la mala hierba y el del olivar; ello evitará problemas al cultivo. **No emplear nunca herbicidas no autorizados**, aunque la experiencia pueda habernos demostrado su tolerancia por el cultivo.

(6) Existen **momentos en que las hierbas son poco susceptibles a determinados herbicidas**, así como estados del olivar en los que no está autorizada la aplicación de un determinado/s herbicida/s.

(7) Las **malas hierbas anuales se controlan mejor y a menor dosis cuando tienen un pequeño desarrollo**. Las **perennes**, en general, cuando se acercan a su **floración**, que en la mayoría de los casos es cuando pueden ser erradicadas.

(8) La **aplicación de herbicidas sobre los frutos caídos al suelo** es una práctica siempre **desaconsejable**. En casos de extrema necesidad (caída masiva de aceitunas maduras sobre un suelo con hierba desarrollada, lo que es poco frecuente en las explotaciones bien gestionadas) se debe consultar siempre y en primer lugar con los Servicios Oficiales de Sanidad Vegetal que nos informarán de las posibles autorizaciones para su aplicación en ese momento y en esas circunstancias. Estas aceitunas, que serán separadas de las recogidas directamente de los árboles, serán lavadas antes de su molturación en la almazara, y siempre se separarán los aceites producidos por dichos frutos, aceites que recibirán un tratamiento específico; y para asegurarnos que están libres de residuos serán analizados antes de ser puestos en el mercado.

(9) La **técnica de aplicación** es fundamental para obtener una adecuada eficacia de los tratamientos herbicidas y, por tanto también influye sobre la dosis de aplicación. Técnicas de aplicación que permitan una buena uniformidad de aplicación permiten utilizar dosis más bajas de herbicida. Algunos herbicidas, como por ejemplo **glifosato**, ven enormemente reducida su eficacia cuando se aumenta la cantidad de agua con la que se aplican, por lo que **técnicas** de aplicación con bajo o ultrabajo volumen pueden permitir reducir las dosis de herbicida a aplicar.

(10) Es fundamental tener en cuenta las **condiciones ambientales cuando vamos a realizar los tratamientos**, ya que bajas temperaturas pueden determinar que se obtengan resultados muy poco satisfactorios con determinados herbicidas (MCPA y fluro-

xipir, por ejemplo), y en este caso con los tratamientos no que haríamos más que contaminar. Si amenaza lluvia o existe viento abstenerse de tratar.

(11) **Nada es absoluto en el manejo y control de las malas hierbas. La experiencia del propio olivarero o mejor aún recurrir a una persona con demostrada experiencia, es fundamental en la utilización de estos productos.**

(12) Decir finalmente que **las hierbas no son siempre nuestras enemigas en el olivar**, y que determinadas especies pueden ser excelentes aliadas a la hora de luchar contra determinados problemas de erosión. **Mantener el suelo totalmente limpio de malas hierbas no es ya un síntoma de máxima eficiencia del sistema**.

4.- MANEJO DEL SUELO EN OLIVARES REGADOS POR GOTEO

La elección del sistema de mantenimiento del suelo en el caso del olivar de riego está condicionada por diferentes aspectos que es necesario considerar:



Fotografía 19.2: Muchos agricultores entierran sus tuberías de riego a gran profundidad para poder realizar las labores de forma tradicional. Esta práctica, muy extendida en Andalucía, y especialmente en la provincia de Jaén, encarece innecesariamente las instalaciones, además de causar un grave daño a las raíces y ramas de los árboles durante la operación de enterrado de las tuberías. La utilización de prácticas de mantenimiento del suelo sin laboreo o semilaboreo (no-laboreo en bandas bajo la copa de los árboles) hace innecesario el enterrado de las tuberías laterales.

4.1.- Aspectos técnicos: tuberías portagoteros ¿enterradas o en superficie?

Muchos agricultores entierran sus tuberías de riego a gran profundidad para poder realizar las labores de forma tradicional. Esta práctica, muy extendida en Andalucía, y especialmente en la provincia de Jaén, encarece innecesariamente las instalaciones, además de causar un grave daño a las raíces de los árboles durante la operación de enterrado de las tuberías (**fotografía 19.2**). Sólo se justifica esta práctica en el caso en que pudieran producirse daños por roedores a la instalación, y siempre que se entierre tubería con goteros integrados autocompensantes a una profundidad de 25 a 35 cm. La solución de enterrar la tubería de distribución, y desde ella sacar los goteros a la superficie empleando microtubos, hace a la instalación mucho más vulnerable a los roedores.

Cuando se emplean materiales de riego de buena calidad (sello AENOR, Norma UNE 53367), pueden dejarse las tuberías en la superficie del terreno durante muchos años, aplicando en este caso técnicas de no-laboreo (con suelo desnudo o mejor aún con cubierta vegetal con crecimiento controlado) o laboreo reducido, que como se vio pueden influir positivamente, incluso en regadío, sobre la producción del olivar.

4.2.- Problemas de control de las hierbas en dos zonas bien diferenciadas: bulbos húmedos y zona no afectada por el riego.

La problemática de control de las malas hierbas en los olivares con riego por goteo es diferente a la del olivar de secano, ya que existen dos zonas totalmente diferenciadas:

(1) una zona en la que no se aplica agua de riego, la mayoría de la parcela (95 – 97% del terreno), que exige un tratamiento similar al de un secano convencional; y
(2) otra zona, muy reducida en extensión (casi siempre bajo los árboles: 3 – 5 %), en la que se aplica la totalidad del agua de riego, que exige un tratamiento específico.

4.3.- Sistemas de cultivo

El **laboreo en toda la superficie** del olivar regado por goteo implicaría el paso continuado de maquinaria sobre las tuberías, que habrán de ser enterradas a bastante profundidad para impedir su deterioro por los aperos de labranza, o bien retirar las tuberías cada vez que se labre, lo que por diferentes motivos nunca es aconsejable. Si además tenemos en cuenta los datos expuestos anteriormente (**tabla 19.1**) en los que se muestra cómo en un olivar con riego deficitario el sistema de laboreo puede proporcionar una menor producción, se puede deducir que en los olivares de riego por goteo, en general, no es necesario el laboreo convencional, al menos **bajo la copa** de los árboles, recomendándose siempre **dejar sin labrar la franja a lo largo de las tuberías portagoteros**. Para controlar las malas hierbas en dicha franja se pueden aplicar herbicidas.



Fotografía 19.3: Olivar cultivado en no-laboreo, controlándose las malas hierbas utilizando herbicidas, en este caso residuales, lo que permite un mínimo de aplicaciones anuales.

En el centro de la calle las posibilidades son diversas, por ejemplo:

- Laboreo convencional,
- Laboreo mínimo,
- No laboreo, y aplicación de herbicidas de postemergencia (**siega química**) a toda la superficie,
- Cubierta vegetal con **siega química** a finales de invierno,
- Cubierta vegetal con **siega mecánica** de la hierba y sus rebrotes, reiterada a lo largo del periodo fin de invierno - primavera.

En los **olivares con pendiente**, el cultivo con cubierta y su manejo con herbicidas parece que en este caso puede ser lo agronómicamente más aconsejable (**figura 19.1**), ya que hace posible un mejor control de la erosión, con menor riesgo de competencia que en secano, al

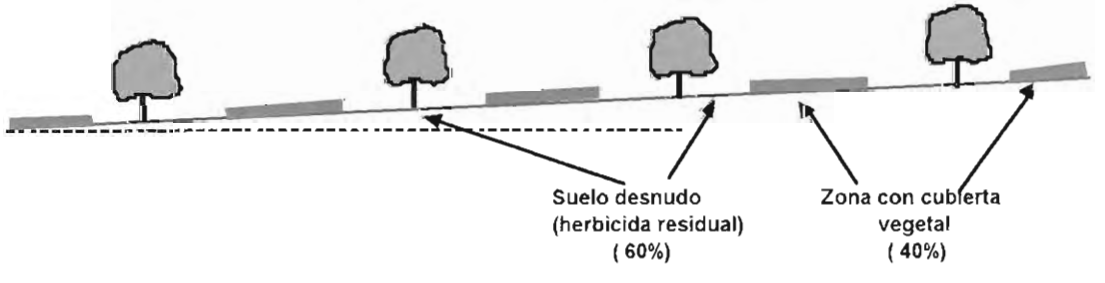


Figura 19.1: Sistema de cultivo con cubierta vegetal en el centro de las calles, y con la banda de vegetación perpendicular a la línea de máxima pendiente. Las bandas bajo la copa se tratan con herbicida residual para mantenerlas desnudas de vegetación durante todo el año.



Fotografía 19.4: Arriba olivar intensivo de riego de la variedad 'Hojiblanca' en Estepa (Sevilla) cultivado empleando una cubierta vegetal de cereal en el centro de las calles. Abajo olivar tradicional de riego de la variedad 'Picual' en Jaén. La franja bajo la copa de los olivos se mantiene libre de malas hierbas empleando un herbicida residual (terbutilazina+diuron). La cubierta será segada en primavera empleando un herbicida de traslocación (glifosato) o mediante siega mecánica.

poderse compensar con el riego la posible competencia por agua entre los olivos y la cubierta vegetal. En primavera la cubierta debe ser segada química (herbicida de postemergencia) o mecánicamente (desbrozadoras).

En **terrenos relativamente llanos** podrían emplearse los sistemas de no-laboreo con suelo desnudo y laboreo mínimo, especialmente recomendables en el caso en que el riesgo de hela-



Fotografía 19.5: Arriba, desbrozadora de martillos realizando la siega de una cubierta de malas hierbas en el centro de las calles de la plantación en un terreno muy arcilloso y gran pendiente, en el primer año de implantación, de ahí la irregularidad de la cubierta. Serán necesarias dos pasadas por calle para completar la siega. Debajo, la calle de olivar una vez realizada la siega mecánica. Joven olivar de riego en el t.m. de Úbeda en la provincia de Jaén.

das nocturnas es elevado. Cuando este riesgo es poco probable también puede utilizarse siega mecánica con **desbrozadoras** y trituradoras, pero teniendo siempre en cuenta que la demanda total de agua va a ser siempre mayor que cuando mantenemos el suelo desnudo de hierbas. Existen estrategias de manejo de la cubierta que minimizan los problemas de competencia olivar / cubierta (Saavedra y Pastor, 2002).

4.4.- Forma de aplicar los herbicidas en olivar de riego: convencional y/o a través de la red de riego

Las necesidades de **control de malas hierbas** no son las mismas en la zona no afectada por el riego que en los bulbos húmedos. En estos suelen implantarse poblaciones de malas hierbas de ciclo fin de primavera-verano que crecen mucho más rápidamente y que, al existir humedad y fertilizantes disponibles permanentemente, pueden emerger con gran vigor a lo largo de un periodo de tiempo mucho más dilatado. Por ello, los bulbos requieren un control esmerado de las hierbas con herbicidas. El **control manual** o con **siega** en los bulbos es hoy día impensable en gran parcela, por lo que generalmente se recurre a los herbicidas.

Los herbicidas se pueden aplicar de forma convencional, por pulverización localizada sobre la superficie del bulbo; pero también cabe la posibilidad de incorporarlos a través de la red de riego y disueltos en el agua de riego (**herbirrigación**). En verano la zona a tratar es muy pequeña, entre 300 y 600 puntos (0,8 a 1,2 m² por emisor) por hectárea de olivar tradicional, por lo que los tratamientos a toda la superficie no tendrían mucho sentido, pues se aplicarían herbicidas en zonas donde no se necesita. Lo ideal sería localizar el herbicida en la zona húmeda, donde se localiza el problema de malas hierbas, por lo que podría ser conveniente aplicarlo a través de la red de riego, igual que se hace con los fertilizantes.

Sin embargo, encontramos un **problema de tipo legal**, la práctica de la herbirrigación aún no está recogida en las hojas de registro de la mayoría de los herbicidas, aunque la recomienden extraoficialmente algunas compañías. En agrios se utiliza esta técnica con cierta frecuencia (Gómez de Barreda, 1994), y basándonos en esta experiencia se han hecho estudios para ponerla a punto en olivar (Pastor y Valera, 1992; Saavedra y Pastor, 2002).

5.- LA HERBIRRIGACIÓN

5.1.- Ventajas e inconvenientes de la herbirrigación

La técnica de aplicación de herbicidas a través de la red de riego presenta considerables ventajas y algunos inconvenientes:



Fotografía 19.6: En verano las malas hierbas llamadas de verano germinan y se desarrollan en los puntos de goteo, en los que existe suficiente humedad. Su control convencional mediante pulverización localizada de herbicidas puede ser engorrosa. La aplicación de la técnica de herbirrigación, bien manejada, puede resolver este tipo de problemas de una forma eficaz y económica, reduciendo la cantidad total de herbicidas empleados anualmente, así como el coste de cultivo. En la foto Amaranthus albus (bledos voladores) localizados bajo la copa de todos los árboles y en todos los puntos de goteo. El resto de la parcela se mantiene totalmente limpia debido a la aplicación de herbicidas en otoño.

Ventajas:

- **La aplicación del herbicida es muy rápida**. En pocos minutos el herbicida llega desde las bombas de inyección hasta los bulbos, siendo muy reducido el tiempo requerido para hacer la aplicación a toda la plantación.

- **La aplicación es sumamente económica**. Una vez disuelto el producto en el tanque de inyección ya no se precisa más mano de obra para realizar las aplicaciones.

- **No se requiere maquinaria o instalación específica**, ya que se emplea la misma instalación que para aportar los fertilizantes; en caso de necesitar alguna adaptación, ésta es muy sencilla y barata.

- **No es necesaria la mezcla de herbicidas de dudosa compatibilidad**, ya que el tiempo de aplicación es muy corto, lo que permite la aplicación de forma independiente los diferentes productos.

- **Independencia de la existencia de viento,** factor que en muchas épocas del año o en muchas zonas impide la realización de los tratamientos en el momento oportuno.

- **La cantidad de herbicida empleada es muy reducida**, por lo que es imprescindible ajustar muy bien las dosis y calibrar perfectamente el sistema de riego, ya que en la herbirrigación aumenta la actividad herbicida, permitiendo reducir las dosis; en este sentido esta técnica puede ser una práctica medioambientalmente aconsejable, siempre que se maneje correctamente.

Inconvenientes:

- **Se necesita una gran uniformidad de distribución del riego** (90%) y **mantener la instalación en condiciones óptimas** en el momento en el que se realiza la aplicación. Las actuales instalaciones de riego, equipadas con goteros autocompensantes, cumplen casi siempre el requisito de la uniformidad de aplicación. En el caso de una mala uniformidad tendríamos zonas en las que aplicaríamos una dosis insuficiente, y otras en las que la dosis de herbicida sería excesiva y podría ser fitotóxica para el olivo (**fotografía 2**). Asimismo roturas o problemas de funcionamiento de la instalación pueden producir daños al olivo y medioambientales, o falta de eficacia en las zonas donde las dosis fueran insuficientes. En instalaciones con una mala uniformidad de distribución no se debería aplicar la técnica de herbirrigación en tanto no se resuelvan los problemas que ocasionan esta mala uniformidad.

- **Los herbicidas pueden ser arrastrados en profundidad**, pudiendo producir daños al árbol y medioambientales. Para evitarlo, la técnica de herbirrigación debe ser depurada y aplicada estrictamente para cada materia activa de acuerdo con unas pautas que se verán más adelante.

- **Existen pocos herbicidas que puedan ser utilizados herbirrigación,** y además, cada herbicida, de acuerdo con sus características propias, podría requerir una técnica de aplicación diferente, teniendo en cuenta la tolerancia del cultivo y el tipo de suelo en el que se aplica.

5.2.- Movimiento del herbicida en el bulbo húmedo

Los herbicidas pueden ser aplicados en la zona humedecida por los goteros de dos formas, de forma **convencional**, mediante pulverización sobre el suelo, o a través de la instalación de riego (**herbirrigación**). En ambos casos el producto tomará contacto con el suelo, pero de forma diferente:

(1) En la **pulverización convencional**, que se efectúa antes de aplicar el riego, el herbicida quedará adsorbido de forma homogénea en toda la superficie del suelo.

Posteriormente debido al movimiento del agua de riego en el suelo tendrá lugar la movilización y desplazamiento del producto:

(2) en la **superficie**, hacia la periferia del bulbo , y

(3) en el **interior del suelo**, llegando a alcanzar cierta profundidad.

(4) En **herbirrigación** el agua lleva el producto disuelto y se incorpora en un punto (el punto de emisión) en el centro del bulbo y durante un corto periodo de tiempo (aproximadamente 30 minutos). Después progresivamente el herbicida se redistribuye tanto en superficie como en profundidad, dependiendo de muchos factores, entre los que destacan:

(5) las características del herbicida,

(6) las características del suelo, y

(7) la propia aplicación del agua de riego.

En términos generales, los herbicidas siguen en el suelo una trayectoria similar a la de las sales (**figura 19.2**), pero además están sujetos a la **descomposición**, principalmente por los **microorganismos del suelo**.

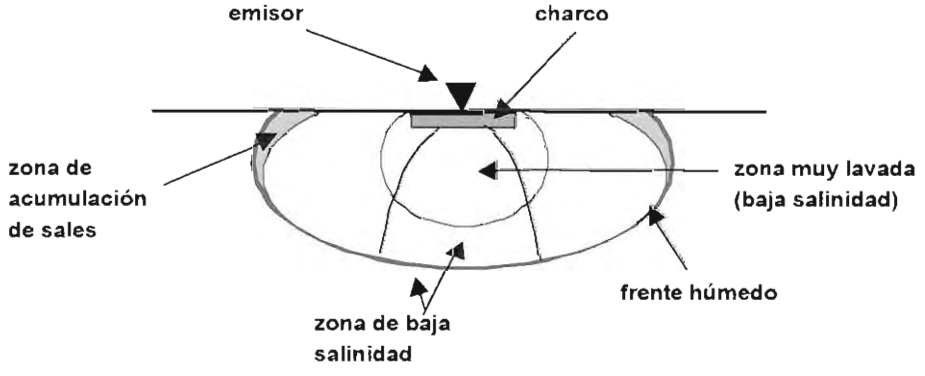


Figura 19.2 : Zonas de transición de humedad en el bulbo (Giner Gonzálbez y col., 2000)

Los herbicidas, como ocurre en el caso de las sales, tienden a acumularse en la periferia y en la parte superior del bulbo y están sujetos a la precipitación, una vez rebasadas las constantes de solubilidad. En los bulbos se pueden distinguir 5 zonas:

- Zona de encharcamiento, en las proximidades del emisor, en la que suele formarse un pequeño charco durante el riego, y desde donde penetra el herbicida disuelto en el agua hacia el interior del suelo
- Zona central del bulbo, suele ser una zona muy lavada y de baja salinidad y concentración de herbicida.
- Zona de acumulación de sales y herbicida, más densa y más ancha cuanto más superficial.
- Zona de baja salinidad y concentración de herbicida, en la parte interior y debajo del bulbo.
- Frente húmedo, en la periferia, formado por el límite de humedad.

El movimiento del herbicida va a depender además de:

(1) la adsorción en el suelo,
(2) de la vida media del herbicida en el suelo,
(3) de la absorción por las plantas (malas hierbas y cultivo).

5.3.- Control de malas hierbas en herbirrigación

La distribución de un herbicida en el bulbo húmedo, donde el herbicida ejerce su acción fitotóxica contra las malas hierbas, depende de muchos factores. Teniéndolos en cuenta, la forma de aplicar los herbicidas va a depender del tipo de flora que queramos controlar:

5.3.1.- Control en preemergencia de hierbas no germinadas

Para obtener una **buena eficacia herbicida** se requiere una distribución homogénea del producto en toda la **superficie del bulbo**. Las aplicaciones mediante pulverizaciones convencionales sobre el bulbo (o a lo largo de una franja estrecha sobre la línea de goteros) permiten el reparto homogéneo sobre la superficie del terreno. Después, al aplicar el riego, en el suelo junto al gotero se va produciendo la degradación y lavado del producto, quedando de nuevo esta zona sin protección transcurrido un cierto tiempo. Cuando esto ocurre, normalmente al cabo de pocas semanas después de la pulverización, se puede volver a incorporar herbicida a través de la instalación de riego (herbirrigación) para que de este modo podamos restablecer la concentración de herbicida que resulta efectiva para controlar las nuevas emergencias de malas hierbas.



Fotografía 19.7: Para que la técnica de herbirrigación sea eficaz se requiere hacer las aplicaciones en preemergencia de las malas hierbas o en postemergencia muy temprana. En la foto Amaranthus blitoides (bledos), ver mancha blanquecina en el haz de las hojas, en el momento límite de realizar la aplicación de diuron.

5.3.2.- Control de hierbas emergidas y poco desarrolladas

La estrategia es similar a la aplicada sobre plantas no emergidas, pero asegurando la incorporación de mayor cantidad de producto, pues se necesitará mayor concentración y una mayor profundidad de la incorporación. En caso contrario lo previsible es obtener falta de eficacia o eficacia parcial (reducción del crecimiento de las hierbas, pero no su muerte). En este caso emplear herbicidas cuya selectividad para el olivo sea máxima.

5.3.3.- Control de hierbas desarrolladas

La incorporación de herbicida residual, de acción solamente a través del suelo, para controlar plantas demasiado desarrolladas requerirá cantidades relativamente importantes de producto herbicida, con lo que el riesgo de producir fitotoxicidad al olivo se incrementa. Por tanto, en este casono recomendamos la herbirrigación, por lo que será necesario realizar una pulverización convencional localizada sobre las zonas con emergencias para lograr su control, y posteriormente se puede continuar con **programas de herbirrigación de mantenimiento** empleando dosis moderadas de herbicida para prevenir nuevas emergencias.

Cabe señalar, no obstante, que una correcta aplicación de herbicida a través de la red puede resolver el problema de plantas bastante desarrolladas (entre 30 y 40 cm). Se requiere por un lado que se trate de una mala hierba que sea sensible al herbicida aplicado, y por otro que el herbicida se aplique a dosis suficiente, permitiendo su incorporación a cierta profundidad (zona de germinación de las malas hierbas). En el caso de aplicaciones de **diuron** se han conseguido excelentes resultados a dosis selectivas para el olivo.

5.3.4.- Control de malas hierbas perennes

El control de malas hierbas perennes se realizará normalmente mediante la pulverización con herbicidas de postemergencia y alta capacidad de traslocación. No obstante, los herbicidas que se absorben a través del suelo pueden llegar, en las condiciones del bulbo húmedo, a ser suficientemente eficaces como para controlar de forma satisfactoria plantas desarrolladas e incluso las perennes. Este es el caso de **norflurazona**, que es muy eficaz contra grama, cañota y juncia, tanto en pulverización convencional (4 kg/ha p.c. 80%), como en herbirrigación. Este herbicida está autorizado en herbirrigación en el cultivo de los cítricos.

El problema radica en que todos estos tipos de flora suelen coexistir. Por ello, los programas de control que se establezcan irán encaminados a controlar, por un lado, las plantas con pequeño desarrollo y prevenir las nuevas emergencias, y por otro lado a las hierbas desarrolladas y a las perennes. Para conseguirlo habrá que alternar en el tiempo los tratamientos contra unas y otras especies, **alternando la pulverización convencional y la herbirrigación**.



Fotografía 19.8: El pepinillo del diablo o cohombrillos (Ecballium elaterium) es una de las malas hierbas perennes más difíciles de controlar en plantaciones de olivar regadas por goteo.

6.- ESTRATEGIAS DE CONTROL DE MALAS HIERBAS EN OLIVAR REGADO POR GOTEO

6.1.- Estrategias de control en el centro de las calles de la plantación.

Cualquier sistema de cultivo puede emplearse. Tanto el **laboreo** como sistemas de **no-laboreo, mínimo laboreo** o **cubierta vegetal**. La elección depende siempre del criterio del agricultor, pero no debemos nunca olvidar la pendiente del terreno y el reto de **luchar contra la erosión**. En este caso el cultivo con cubierta nos parece fundamental.

La nueva normativa (resolución del MAPA de agosto de 2003) establece una dosis máxima se **terbutilazina** y/o **diuron** que nunca debe exceder de 1,5 kg/ha de materia activa en la zona realmente tratada, y que por hectárea de cultivo no exceda nunca de 1,0 kg/ha, lo que obligaría, teniendo en cuenta que la referida dosis está muy ajustada, a dejar un tercio de la superficie sin tratar, superficie que sería bueno dejarla con cubierta vegetal (**figura 19.1**).

Lo ideal en olivares de riego es aplicar **terbutilazina** en otoño y **diuron** a lo final del mes de abril a las referidas dosis, de modo que este último tratamiento controle las emergencias de hierbas desde abril y durante todo el verano en la banda tratada. Si ya hubiesen emergido las hierbas cuando iniciamos el tratamiento, lo cual es frecuente, se mezclará el herbicida residual con herbicida de postemergencia (glifosato por ejemplo) a una dosis de acuerdo con el desarrollo de la vegetación a controlar.

El empleo en olivares de riego y en pendiente de la práctica de cultivo mostrada en la **figura 19.1** reducirá sensiblemente la contaminación por herbicidas, ya que la cubierta vegetal, al aumentar la infiltración del agua en el suelo, reducirá los flujos de escorrentía superficial y con ello la salida de herbicidas fuera del olivar.

6.2.- Estrategias de control en la zona seca de la línea de tuberías portagoteros.

En esta zona, que normalmente no está afectada por el riego, predominan las hierbas de ciclo otoño-invierno, son las llamadas malas hierbas de invierno. El control eficaz de este tipo de vegetación se puede hacer de forma similar a la del olivar de secano, existiendo diferentes alternativas (Saavedra y Pastor, 2003):

Laboreo, siempre que las tuberías portagoteros estén enterradas a suficiente profundidad o se retiren para labrar.

No-laboreo, manteniendo esta zona con el suelo desnudo aplicando en otoño herbicidas de preemergencia, por ejemplo terbutilazina, diuron, o la mezcla de ambos a lo largo de la línea de plantación, a las dosis autorizadas en la etiqueta.

6.3.- Estrategias de control en los bulbos

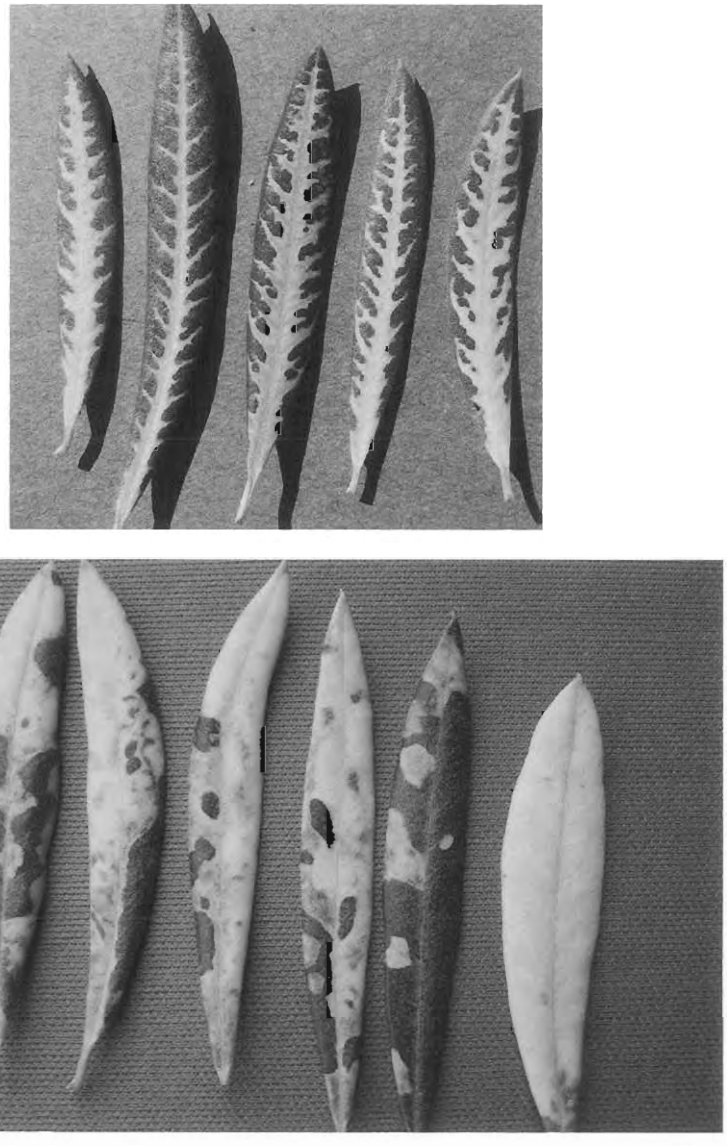
6.3.1.- Plantaciones adultas

Los mayores problemas suelen aparecer el la zona mojada por los goteros (bulbos). A pesar de su pequeña extensión (3 a 5 % se la superficie total de la parcela = 300 a 500 m^2/ha), esta es una zona en la que los herbicidas son degradados rápidamente y movilizados con facilidad, y donde además de la flora de invierno, las especies de ciclo primavera-verano germinan de forma escalonada y se desarrollan de forma exuberante desde final de primavera y a lo largo del verano. Muchas de estas especies son perennes e incluso en ocasiones pueden aparecer especies resistentes o tolerantes a los herbicidas habituales, con lo que se dificulta su control.

Las características de esta flora requiere un herbicida o mezcla de herbicidas que cumpla los siguientes requisitos:

(1) ser suficientemente eficaz contra un gran número de especies de malas hierbas,
(2) ser suficientemente persistente como para no obligar a continuas aplicaciones,
(3) ser selectivos para el olivo.

Después de la aplicación, el herbicida va degradándose poco a poco y con cierta rapidez en el bulbo, por lo que debe ser repuesto de nuevo mediante nuevas aplicaciones a través de la red de riego (herbirrigación).



Fotografía 19.9: Arriba, hojas de olivo que muestra síntomas de fitotoxicidad causada por absorción radicular de diuron tras una accidental aplicación de este herbicida a una dosis muy superior a la recomendada. Debajo, hojas que muestran manchas cloróticas, diferentes grados de severidad del daño, como consecuencia de un tratamientoal suelo con diuron que ha mojado accidentalmente las hojas de una rama baja (junto al suelo) de un olivo.

Diuron es un herbicida muy apropiado para herbirrigación en olivar, pues además de tener un adecuado movimiento en el bulbo, controla una amplia gama de especies importantes de verano como son *Amaranthus* spp (bledos), *Chenopodium* spp (cenizos), *Solanum nigrum* (tomatitos), *Helliotropium europaeum* (cenizo), *Euphorbia prostrata* y *Euphorbia exigua* (lechetreznas, de porte muy rastrero), *Portulaca oleracea* (verdolaga), *Chorzophora tinctoria* (tornasol), entre otras.

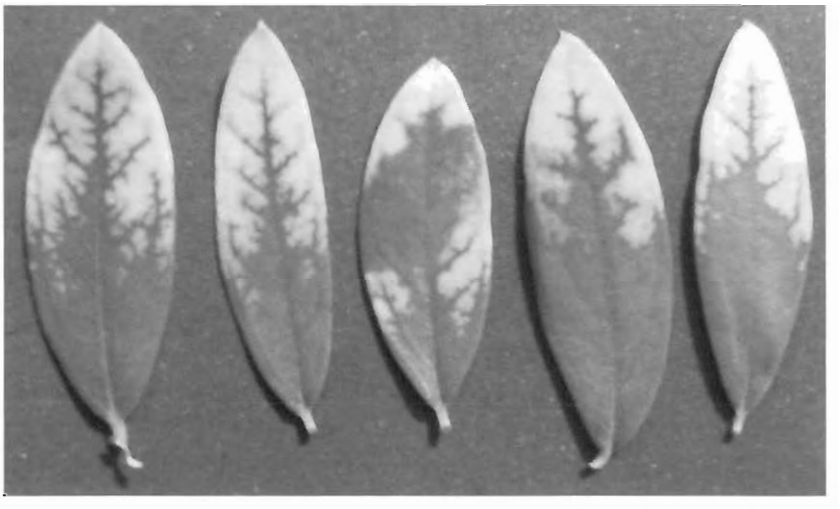
6.3.2.- Plantaciones jóvenes

En plantaciones muy jóvenes no debe emplearse **terbutilazina** y **diurón** a dosis normales en las líneas de goteo; se requiere que la plantación tenga un determinado desarrollo para evitar posibles daños. En este caso tampoco es recomendable la herbirrigación. Las soluciones pueden ser diversas:

- Aplicar varias veces a lo largo del año herbicidas de postemergencia (glifosato, sulfosato por ejemplo) sobre hierbas poco desarrolladas a lo largo de la línea de plantación, lo que permite rebajar las cantidades totales de herbicidas empleadas anualmente, y por tanto los riesgos de producir fitotoxicidad y contaminación,

- Aplicar dos o más veces al año la mezcla **glifosato + oxifluorfén** (0,72 + 0,25 kg m.a./ha) en postemergencia, mezcla que presenta una cierta acción residual que sin duda reducirá el número de aplicaciones.

- Aplicar **oxifluorfén** en preemergencia a dosis 0.96 kg m.a./ha sobre un suelo totalmente limpio de residuos. Tiene efecto en preemergencia y postemergencia, y es eficaz en el caso de que haya hierbas nacidas.



Fotografía 19.10: Hojas de olivo que muestra síntomas de fitotoxicidad causada por absorción radicular del herbicida terbutilazina.

- Aplicar **terbutilazina** y/o **diuron** a dosis muy bajas, por ejemplo hacer dos aplicaciones, lo que permite reducir los riesgos de fitotoxicidad. Las dosis, aproximadamente a 1,0 kg/ha de superficie tratada. Pero hay que tener en cuenta que están autorizados sólo a partir de los 3 años de edad de la plantación, y no antes.

6.4.- Estrategias de control de malas hierbas perennes

Las especies perennes que se desarrollan en los bulbos húmedos o zonas humedecidas por los goteros constituyen un problema adicional porque normalmente no son controladas por los herbicidas, como **terbutilazina** y **diurón**. Entre las especies más frecuentes están juncia (*Cyperus rotudus*), grama (*Cynodon dactylon)*, carrizos (*Phragmites australis*), pepinillos del diablo o cohombrillos (*Ecballium elaterium*), cañota (*Sorghum halepense*), correhuelas *(Convolvulus arvensis* y *C. althaeoides)* y lastón (*Piptatherum miliaceum*) entre otras. El herbicida **norflurazona** sí presenta un efecto de control claro y muy interesante sobre las monocotiledóneas perennes, pero este herbicida podría ser fitotóxico para olivos pequeños si se aplica a dosis elevadas, por lo que se deberá racionalizar su uso, sobre todo extremando las precauciones en los suelos ligeros. En tratamiento de postemergencia se recomienda aplicar herbicida de traslocación (**glifosato**, **sulfosato** por ejemplo) sobre los rodales de hierbas.

Para controlar grama, cañota, juncia o lastón se puede aplicar **sulfosato** o **glifosato** (2.16 kg/ha) en pulverización convencional localizada. Se mejora la eficacia si se aplican a muy bajo volumen de agua empleando la máquina de pilas. La adición de sulfato amónico al caldo de tratamiento acelera el secado de estas hierbas.

Para controlar las dicotiledóneas: corregüelas fundamentalmente, se puede aplicar **sulfosato** o **glifosato** (2.16 kg/ha) o, con las debidas precauciones para evitar daños al olivar, **glifosato + MCPA** (1.08 + 1.08 kg/ha) o **fluroxipir** (0.3 kg/ha) siempre que no se haga la aplicación a toda la superficie, pues con las altas temperaturas de primavera y verano se pueden producir daños considerables por el herbicida, especialmente cuando las aplicaciones se realizan durante el periodo de floración y cuajado del fruto.

Los **cohombrillos** o **pepinillos del diablo** (*Ecballium elaterium*) constituyen uno de los problemas de más difícil solución en las plantaciones con riego por goteo. Se pueden controlar mediante aplicaciones localizadas sobre las plantas desarrolladas utilizando un pulverizador de mochila, empleando **fluroxipir** a una dosis como mínimo de 0,3 a 0,4 kg/ha de materia activa, repitiendo el tratamiento después del primer rebrote de la mala hierba. No aplicar nunca mientras se está regando. En general es suficiente con dos aplicaciones para agotar sus reservas, y causar la muerte de esta mala hierba, pero en ocasiones se precisan hasta tres aplicaciones. El **control de los rebrotes,** antes de que adquieran demasiado tamaño, es muy importante. Otra solución sería evitar las instalaciones de plantas en los bulbos empleando **diurón** en preemergencia a dosis adecuadas en los momentos clave, sobre todo a mediados de primavera, cuando las temperaturas aumentan y las emergencias son más importantes. También es bastante eficaz **diflufenicán.**

6.5.- Elección de herbicidas para herbirrigación en olivar

Sobre aplicaciones a través de la red de riego (herbirrigación) existe muy poca información escrita. **Actualmente** de los herbicidas autorizados en el cultivo del olivar **sólo podemos recomendar diurón para herbirrigación**, por ser el herbicida del que se tiene suficiente experiencia como para asegurar la eficacia herbicida y la seguridad en la aplicación. Esta técnica no se debe aplicar en los suelos ligeros excesivamente permeables, debido al riesgo de lavado del herbicida en profundidad, y con ello el riesgo de producir fitotoxicidad. Para poner en práctica esta técnica hay que **seguir estrictamente las recomendaciones** que se indican más adelante.

Ya se ha dicho que **norflurazona** aplicada a través de la red de riego proporcionó buenos resultados de control de gramíneas perennes como cañota, lastón, grama y juncia (0,8 g/m^2 de p.c. el primer año, reduciendo la dosis a la mitad en años sucesivos), pero insuficiente sobre especies dicotiledóneas como los cenizos principalmente. La selectividad de **norflurazona** es buena en olivos adultos, pero en suelos ligeros y olivos jóvenes podrían producirse daños por fitotoxicidad, especialmente cuando se riega con grandes dotaciones de agua.

Los herbicidas de postemergencia, que son los absorbidos por las hojas y partes verdes de las malas hierbas (tabla 19.4), como **glifosato**, **sulfosato**, **fluroxipir**, **quizalofop-etil-R**, **aminotriazol**, **MCPA**, **diquat**, **paraquat** y **glufosinato**, no son aptos para ser aplicados en herbirrigación. Estas materias activas deben ser aplicadas en pulverización convencional en postemergencia, pero siempre entre riego y riego, cuando no haya agua libre sobre el suelo, con el fin de evitar la absorción por las raíces de los olivos.

6.6.- Práctica de la herbirrigación en olivar y cálculo de la dosis de herbicida

El plan de actuación que se presenta a continuación ha sido empleado con éxito en olivar en suelos de textura franca y arcillosa. Otro plan diferente deberá ser ensayado previamente, tanto desde el punto de vista de la seguridad de la aplicación como de su eficacia. Los nuevos programas de herbirrigación que se vayan a poner a punto deberían considerar las recomendaciones hechas anteriormente.

En un olivar con riego por goteo la aplicación de la técnica de **herbirrigación** debe comenzar, con una aplicación convencional de **diurón** a principio de primavera, mojando con las boquillas una franja de al menos dos metros de ancho, a lo largo de la tubería de goteo o línea de árboles, lo que mantendrá limpia de malas hierbas esta zona durante un cierto tiempo. Más tarde, a comienzo de verano, cuando emerjan las primeras plántulas de malas hierbas en los bulbos, y cuando éstas estén **MUY POCO DESARROLLADAS**, pueden inyectarse herbicidas a través de la instalación. El correcto manejo de la técnica de herbirrigación es bastante sencilla y con escaso riesgo para el cultivo en los suelos normales, pero **deben obser-**

varse meticulosamente la recomendaciones que damos a continuación. Secuencialmente el proceso a seguir es el siguiente:



Fotografía 19.11: Cuando proyectamos aplicar herbicidas empleando la técnica de herbirrigación es fundamental comenzar con la aplicación de un riego muy abundante (mucho más de lo normal) que permita hacer un bulbo húmedo de gran tamaño. Después determinaremos el radio medio de la superficie mojada midiendo un número suficientemente grande de bulbos. En la imagen se ve la diferencia de diámetros del bulbo en los riegos muy abundantes (antes de la herbirrigación) y de los riegos normales practicados por el agricultor.

1º) Es fundamental **comenzar con** la aplicación de un **riego muy abundante** (mucho más de lo normal) que permita hacer un bulbo húmedo de gran tamaño, evitando producir drenaje a capas profundas.

2º) Determinar el **radio medio** (R en metros), de la superficie mojada. Posteriormente se calculará la superficie mojada (S), considerando que la mancha es circular, sumando 0,15 m al radio obtenido. Para ello se medirán unos **50 bulbos húmedos** tomados al azar en el conjunto de la parcela a herbirrigar, determinándose el radio medio del bulbo.

3º) Calcular el **número de puntos húmedos por hectárea** (N).

4º) Elegir el herbicida o herbicidas a emplear, fijando las **dosis a aplicar** (D en g/ha).

La cantidad de herbicida a aplicar con el agua de riego, expresada en gramos por hectárea, será:

$$\frac{N \times \pi \times (R + 0{,}15)^2 \times D}{10.000} \text{ gramos/ha}$$

5º) Utilizando una bomba inyectora de suficiente caudal debe aplicarse la dosis total de herbicida, **realizando la aplicación durante la última hora de riego**, dedicando los primeros **30 minutos** de esa hora a la **aplicación del herbicida**, regando a continuación con **agua limpia durante los 30 minutos restantes** para limpiar la instalación, asegurándonos de que no queda nada de herbicida en las tuberías. La dosis total de herbicida a aplicar se diluirá en la cantidad máxima de agua que nuestra bomba inyectora pueda aplicar en 30 minutos.

6º) Después dejar sin regar 2-3 días para que el herbicida se fije al suelo (adsorción), para que después sea el propio suelo el que vaya dosificando el herbicida a lo largo del tiempo (desorción). De esta forma se reducirá el riesgo de causar fitotoxicidad a los árboles.

El siguiente **ejemplo** ilustra el cálculo a realizar para la determinación de la cantidad de herbicida a inyectar en cada tratamiento de **herbirrigación:**

Pretendemos aplicar una dosis de **diurón** de **1,875 kg/ha de producto comercial** del 80 % de riqueza (1,500 kg/ha de materia activa) en un olivar de 30 hectáreas con densidad de plantación de 80 olivos/ha que vegeta en un suelo franco-arcilloso. Los árboles tienen instalados 4 goteros, y sabemos, por las mediciones realizadas en este suelo, que el diámetro de las manchas húmedas es de 1,1 metros.

La cantidad total de producto a aplicar a través de la instalación de riego será la siguiente:

$$\frac{30 \text{ ha} \times 80 \text{ olivos/ha} \times 4 \text{ goteros/olivo} \times \pi \times (0{,}55 + 0{,}15)^2 \text{ m}^2 \times 1.875 \text{ g/ha}}{10.000 \text{ m}^2/\text{ha}} =$$

= 2.771 gramos de formulado comercial 80 % para las 30 hectáreas,

equivalentes a 0,289 g/gotero; 1,15 g/olivo; ó 92 gramos/ha de producto comercial del 80% de riqueza.

Estos tratamientos resultan bastante baratos y efectivos, debido a las bajas dosis empleadas por hectárea y al reducido coste de aplicación. Como es natural, cada vez que se observe la emergencia de nuevas plántulas de malas hierbas, debería de repetirse la aplicación. Nuestra experiencia nos muestra que dos aplicaciones anuales pueden ser suficientes para mantener los **bulbos** limpios de malas hierbas en los olivares más infestados.

Tabla 19.2: Herbicidas y formulados autorizados en el cultivo del olivar.

HERBICIDAS concentración (%)	Formulado (1)	Toxicología (2)	Ecotoxicología (3)			
			Mamíferos	Aves	Peces	Abejas
Aminotriazol (ATA) 11,5 % + glifosato 6% + tiocianato amónico 10,8%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	B	B	B	
ATA19%+ diuron 10% + tiocianato amónico 18%	[SC] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3 Mutagénico cat.3				
ATA 24% + diuron 25%	[WP] P/P	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	A	A	B	
ATA 24% + tiocianato amónico 21%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3				
ATA 38% + diuron 20%	[WP] P/P	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	A	A	B	
Diclobenil 6,75%	[GR] P/P		A	A	B	
Diflufenican 4% +glifosato 16%	[SC] P/V	(Xi) Irritante	A	A	A	Compatible
Diquat 10% + paraquat 15%	[SL] P/V	(T) Tóxico				
Diquat 8% + paraquat 12%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo;				
Diuron 22% + glifosato 18 %	[SC] P/V	(Xn) Nocivo;mutagénico(cat.3) Carcinogénico cat.3	B	A	B	Peligrosidad controlable
Diuron 24% + glifosato 12% + terbutilazina 16 %	[SC] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	B	B	B	
Diuron 28% + glifosato 10%	[SC] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3				
Diuron 28,5 % + terbutilazina 28,5 %	[SC] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	A	A	B	
Diuron 30 % + paraquat 10 % + emético	[SC] P/V	(T) Tóxico Carcinogénico cat.3	B	B	B	
Diuron 30 % + paraquat 10%	[EC]P/V	(T) Tóxico	B	B	C	
Diuron 80 %	[SC] P/V	(Xn) Nocivo; Carcinogénico cat.3	A	A	B	
Diuron 80 %	[WG] P/P	(Xn) Nocivo	A	A	B	
Diuron 80 %	[WP] P/P	(Xn) Nocivo	A	A	B	Peligrosidad controlable
Flazasulfuron 25 %	[WG] P/P	(Xn) Nocivo				
Fluroxipir 20%	[EC] P/V	(Xi) Irritante				
Glifosato 18 % + MCPA 18%	[SL] P/V	(Xi) Irritante	B	B	B	Compatible
Glifosato 18 % + terbutilazina 34,5 %	[SC] P/V		A	A	B	Peligrosidad controlable
Glifosato 36 %(sal isipropilamina)	[SL] P/V	(Xi) Irritante	A	A	B	Compatible
Glifosato 36 %(sal isipropilamina)	[UL] P/V		A	A	A	
Glifosato 68 %(sal amónica)	[SG] P/P	(Xi) Irritante	A	A	B	Compatible
Glifosato 33 % (sal trimesica) = Sulfosato	[SL] P/V	(Xn) Nocivo	B	B	B	Relativamente poco peligroso
Glifosimato amónico 15%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo	B	B	A	Relativamente poco peligroso
MCPA (sal potásica) 40%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo	B	B	B	Relativamente poco peligroso
MCPA (sal amina) 60%	[SL] P/V	(Xn) Nocivo	B	B	B	
Norflurazona 80%	[WG] P/P		A	A	B	
Oxifluorfen 24 %	[EC] P/V	(Xn) Nocivo	A	A	C	
Paraquat 10 %	[SL] P/V	(T) Tóxico	B	B	A	Compatible
Quizalofop etil-r 5%	[EC] P/V	(Xi) Irritante	A	A	A	
Quizalofop etil-r 10%	[EC] P/V	(Xn) Nocivo	A	A	A	
Terbutilazina 50%	[SC] P/V	(Xn) Nocivo	B	B	B	

Tabla 2.18 (continuación)

(1) Formulados: MG = microgránulo; WG = gránulo dispersable en agua; WP = polvo mojable; EC = concentrado emulsionable; SL = concentrado soluble; SC = suspensión concentrada (líquido); GR = gránulo. (ver Saavedra y Pastor, 2002).
Las concentraciones de cada herbicida en el formulado comercial vienen expresados en: P/P = peso en peso; P/V = peso en volumen.

(2) Toxicología
Las sustancias calificadas como carcinogénicas cat.3 (Real Decreto 2216/1985 de 28 de octubre) incluye a aquellos formulados sospechosos por sus posibles efectos carcinogénicos, de los que no se dispone de datos suficientes para probar su actividad carcinogénica en el hombre y los estudios realizados en animales no aportan las pruebas suficientes para clasificarlas en cat.2.

(3) Ecotoxicología
La peligrosidad para mamíferos, aves y peces sigue la siguiente escala de menor a mayor :
A : baja toxicidad; B: moderadamente tóxicos; C: muy peligrosos.

La peligrosidad apícola sigue la siguiente clasificación:
Compatible con las abejas (equivalente a cat. A): precaución no rociar las colmenas o los enjambres con el caldo herbicida.
Relativamente poco peligroso para las abejas (equivalente a cat. B): precaución mínima de no tratar durante las horas de pecoreo.
Peligrosidad controlable para las abejas (equivalente a cat. C): precaución de tapar las colmenas previamente al tratamiento y mantenerlas así durante 1 ó 2 horas después de finalizado éste, cuidando que durante la realización del mismo la nube de pulverización no alcance al colmenar.

Tabla 19.3: Dosis de aplicación y restricciones de uso de los herbicidas que pueden emplearse en olivar.

TIPO DE HERBICIDA	MATERIA ACTIVA	RESTRICCIONES		OBSERVACIONES
		DOSIS I.A.(kg/ha)	OTRAS	
PREEMERGENCIA	Diuron (*)	1	(1+2+3+4)	Aplicar sobre suelo humedo. Efecto post-emergencia temprana cuando se añade mojante. Fitotóxico olivo cuando se mojan hojas de ramas bajas. Apto para aplicar en herbirrigación
	Norflurazona	1,5-2,4	(1+2+3+4)	A dosis altas tiene un cierto efecto en postemergencia Apto para aplicar en herbirrigación
PREEMERGENCIA	Diflufenican	0,10-0,13	(1+2+5+6)	Solamente en mezcla con glifosato
o PREEMERGENCIA	Flazasulfurón	0,025	(1+2+4+6)	Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo
TEMPRANA	Oxifluorfen	0,48	(1+6)	No aplicar cerca de cursos de agua Aplicar sobre suelo totalmente limpio de restos vegetales y no remover después la superficie del suelo. Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo
	Terbutilazina (*)	1	(1+2+4+5+6)	Solamente en mezclas con glifosato, diuron
POSTEMERGENCIA	Aminotriazol	0,75-1,00	(1+4+6)	Cierto poder residual en el suelo. Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo
	Fluroxipir	0,2	(1+6)	Poco eficaz en invierno con bajas temperaturas. Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo. Solo controla hoja ancha
	Glifosato / Sulfosato	1,8-2,8 (contra perennes) 0,7-1,2 (contra anuales)	(1+6)	Máxima eficacia perennes en floración. Emplear bajo volumen de agua. Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo
	Glufosinato de amonio	0,75	(1+6)	Especialmente indicado cuando exista riesgo de contaminación. Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo
	MCPA	0,9	(1+5+6)	No aplicar desde envero hasta después de la recolección. Tampoco inmediatamente antes de un riego o cuando amenace lluvias . Pulverizar sin mojar partes verdes del cultivo En mezcla con glifosato, se reduce la eficacia de este contra gramíneas. No aplicar en las siguientes circunstancias: - entre 4-6 semanas antes de floración hasta después del cuajado. - Con temperaturas superiores a 15ºC - Con viento
	Quizalofop-etil-r	0,1	(1+6)	Usar exclusivamente para el control de gramíneas. Control en preemergencia de escasa importancia

Tabla 19.3 (continuación)

(*) La dosis más alta por hectárea realmente tratada será la equivalente a 1,5 kg de materia activa, aunque la cantidad de producto a emplear por hectárea total será de 1,0 kg, lo que obligaría a dejar zonas de la parcela sin tratar (por ejemplo una franja en el centro de la calle)

Restricciones:

(1) No aplicar con aceituna caída al suelo que posteriormente vaya a ser recolectada. Caso de existir fruto en el suelo solamente puede aplicarse glifosato (formulación 12 % I.A.)
(2) No aplicar la misma materia activa dos años consecutivos. Si el suelo es arenoso no se aplicará en años consecutivos.
(3) No es interesante su aplicación en el centro de la calle de la plantación.
(4) Aplicar 3 semanas antes de la fecha prevista de inicio de la recolección.
(5) No aplicar en suelos arenosos
(6) Exclusivamente en las mezclas indicadas en tabla 19.1

Tabla 19.4: Modo de acción, comportamiento en el suelo y forma de empleo de los herbicidas con mayor posibilidad de ser empleados en olivar.

HERBICIDA	MODO DE ACCIÓN			COMPORTAMIENTO EN EL SUELO		FORMA DE EMPLEO MÁS FRECUENTE	MOVIMIENTO EN LA PLANTA
	Residual	Contacto	Traslocación (vía floema)	Adsorción	Persistencia		
Terbutilazina (1)	***	*	0	+++	# # #	Post-temprana	Xilema
Diuron (1)	***	*	0	+++	# # # #	Preemergen (2)	Xilema
Diquat	0	***	0	++++	0	Postemergencia	0
Paraquat	0	***	0	++++	0	Postemergencia	0
MCPA	*	0	***	+	#	Postemergencia	Floema
Fluroxipir	*	*	***	+	#	Postemergencia	Floema
Aminotriazol	*	0	***	++	# #	Postemergencia	Xilema / Floema
Glifosato	0	***	***	++++	0	Postemergencia	Floema
Sulfosato	0	***	***	++++	0	Postemergencia	Floema
Glufosinato	0	***	*	+++	0	Postemergencia	0
Oxifluorfen	**	**	0	+++	# # #	Preem-Postem	0
Norflurazona	***	0	0	+++	# # #	Preemergencia	Xilema
Diflufenican	**	**	0	+++	# #	Post-temprana	0
Flazasulfurón	**	-	***	++	#	Postemergencia	Xilema/Floema

MODO DE ACCIÓN: (0) nula (*) débil (**) importante (***) muy importante
ADSORCIÓN: (+) débil (++) moderada (+++) importante (++++) muy importante
PERSISTENCIA EN SUELO: (0) nula (#) semanas (# #) mediana (# # #) pocos meses (# # # #) más de 4 meses
MOVIMIENTO EN LA PLANTA: ascendente-xilema (absorción por raiz); descendente-floema (absorción por partes verdes de las malas hierbas); ascendente-descendiente; (0) sin movimiento dentro de la planta.

(1) Efecto de contacto cuando se hace una aplicación en postemergencia muy temprana, siempre que se añada un mojante.

Referencias bibliográficas

De Liñán, C., 2001. Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales. Ed. Agrotécnicas, S.L.. Madrid.

Gómez de Barreda, D., 1994. Sistemas de manejo del suelo en citricultura. Tratamientos herbicidas. Serie Divulgació Técnica nº 26. Servicio de Transferencia de Tecnología Agraria. Consellería d'Agricultura, Pesca y Alimentació. Generalitat Valenciana.

Pastor, M., Valera, A., 1992. Primeros resultados de un ensayo sobre la utilización de *tiazopir* a través de la instalación de riego por goteo. Actas del Congreso 1992 de la Sociedad Española de Malherbología, 263-268.

Saavedra, M., Pastor, M., 2002. Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de malas hierbas y herbicidas. Ed. Agrícola Española, S.A. Madrid.

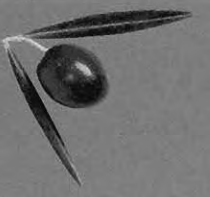
Giner Gonzálbez, J.F., Oltra Cámara, M.A., Arciniega Fernández; L., 2000. Estudio del suelo: movilidad y distribución iónica del bulbo. En: *Curso de fertirrigación de* cítricos, Giner J.F. (editor) Ed. Universitat Politécnica de Valencia – Generalitat Valenciana (Conselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentació) –Phytoma. 157- 169.



CAPÍTULO 20

PODA Y MANEJO DE PLANTACIONES DE OLIVAR EN REGADÍO

Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PODA DEL OLIVAR

2.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES EN RIEGO.

3.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES

4.- PERIODICIDAD DE LA PODA

5.- PODA DE LAS PLANTACIONES INTENSIVAS

Referencias bibliográficas

1.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PODA DEL OLIVAR

En regadío, y en la medida en que la pluviometría y las aportaciones de agua de riego sean mayores, el planteamiento de la poda debe ser muy diferente al que nos hacemos en los olivares de secano, ya que en regadío es posible mantener árboles más frondosos y de gran tamaño, con una mayor superficie verde interceptando radiación solar, lo que nos permitirá obtener una mayor producción de aceitunas y frutos de buena calidad.

Los **objetivos** que se intentan conseguir cuando se realiza la poda de un olivar de riego son diferentes:

a) **Control del tamaño de los árboles** para adaptarlos a las disponibilidades de agua de la explotación.

b) **Repartir la vegetación en el espacio**, de modo que optimicemos la cantidad de radiación solar interceptada por la copa. Las **formas esféricas** (**figura 20.1 A**), a las que el árbol tiende de forma natural, son poco deseables desde el punto de vista de la cantidad y calidad de cosecha producida, ya que para un determinado volumen de la copa la esfera proporciona una mínima superficie externa iluminada. Las **formas lobuladas** (**figura 20.1 B**), con entrantes y salientes, logradas a partir de ramas muy bien repartidas en el espacio, pueden ser mucho más interesantes, y siempre que con la poda no se reduzca drásticamente:

   - el volumen de copa de los árboles
   - la relación hoja / madera,

   posibilitan la interceptación de mayor cantidad de radiación solar.

   Con la poda se procurará que una alta proporción de las hojas del olivo estén bien iluminadas, lo que garantizará, si la disponibilidad de agua no es un factor limitante, que la producción de asimilados sea máxima. Ello posibilita la obtención de una óptima calidad de la cosecha (buen tamaño del fruto y alto rendimiento graso).



Fotografía 20.1: Con la poda, y especialmente en cultivo de regadío, deben mantenerse olivos con una alta relación hoja-madera (fotografía superior), con la que el árbol puede expresar su máxima capacidad productiva. Olivar de la variedad 'Picual' en la provincia de jaén. Debajo, árbol de la variedad 'Manzanilla' que debido a la poda practicada mantiene una baja relación hoja-madera, lo que acarrea una reducción de la capacidad de producción, aunque en aceituna de mesa permite obtener una calidad excepcional de fruto y abaratar el coste de recolección por ordeño. Esta forma de podar acelera el envejecimiento de los árboles.

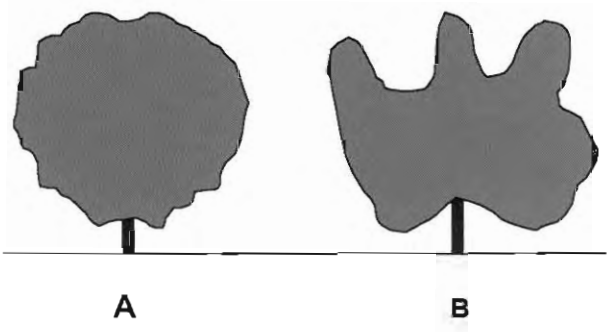


Figura 20.1: formas que puede adoptar la copa de los olivos: A) forma a la que de forma natural tiende el árbol cuando no se poda o se realizan podas de poca intensidad; B) forma en vaso relativamente abierto que el árbol adopta cuando se realizan podas de cierta intensidad.

c) **Realzar los árboles**, eliminando ramas bajas superfluas, mal iluminadas, que arrastran en el suelo, para permitir realizar de forma económica las diferentes operaciones de cultivo: labores, aplicación de herbicidas, y en especial posibilitar la recolección mecánica de las aceitunas. Además, en zonas bajar y mal iluminadas se producen frutos de mala calidad (pequeño tamaño y bajo rendimiento graso que no llegan muchas veces a madurar).

d) **Rebajar la copa**, eliminando los **chupones vigorosos**, formaciones vegetativas que al tener una situación privilegiada interceptan una máxima cantidad de radiación, compitiendo por la luz con las ramas principales en las que se insertan, lo que acaba por acortar la vida productiva de dichas ramas.

e) **Preservar la integridad del árbol**, procurando que podas incorrectas permitan el deterioro de los troncos y ramas que componen el esqueleto del árbol. Las ramas cuyas maderas quedan expuestas al sol acaban por *quemarse* y por envejecer prematuramente. Las intervenciones de poda deben realizarse de modo que ***las maderas*** **estén permanentemente a la sombra**, especialmente las orientadas a sol saliente, de lo contrario el árbol, además de deteriorarse, se ve obligado a la emisión de chupones para protegerse, produciéndose un desequilibrio vegetativo cuya consecuencia inmediata es el consumo inútil de una gran cantidad de asimilados para producir madera, siempre en detrimento de la producción y el acortamiento de las brotaciones fructíferas, que serán las portadoras de la cosecha del año siguiente. Además, los chupones deberán ser eliminados posteriormente, lo que igualmente ocasiona un coste adicional considerable.



Fotografía 20.2: Con el tiempo las ramas principales del árbol envejecen y se cargan de madera, volviéndose muy poco productivas. La fotografía de arriba muestra un árbol con una rama que demanda su renovación (baja relación hoja-madera, color amarillento de las hojas, reducidos o nulos crecimientos vegetativos, etc.). Ha llegado el momento de su renovación. El podador eliminará la rama envejecida (fotografía de abajo) esperando que como consecuencia de la amputación realizada se produzcan brotaciones que con el tiempo den lugar a una nueva rama productiva.

f) **Rejuvenecer el árbol**. Con el tiempo las ramas envejecen y se *cargan* de madera, volviéndose muy poco productivas. Cuando transcurre un determinado número de años, la acumulación de madera en las ramas crea un desequilibrio en la **relación** funcional **hoja-madera**, relación que siempre debemos procurar que se mantenga lo más alta posible, como si de un árbol joven se tratase. En regadío, y especialmente cuando se riega con suficiente cantidad de agua, los árboles envejecen más lentamente; cuando se observen síntomas de envejecimiento ha llegado el momento de iniciar la renovación de las ramas.

Son síntomas de envejecimiento:

- brotaciones fructíferas de escasa longitud y entrenudos cortos,
- color verde poco intenso en las hojas (ver **fotografía 20.2**),
- emisión de chupones en lugares poco habituales hasta el momento,
- alternancia de producción muy acentuada,
- floración con baja fertilidad, con una alta proporción de flores incompletas (aborto del ovario),
- descenso apreciable a simple vista de la relación hoja madera,

Una vez que hemos observado los anteriores síntomas, debemos asumir que son necesarias las intervenciones drásticas de **poda de renovación** (ver **fotografía 20.2**), y que poco se consigue tratando de solucionar esta situación con aumentos de las dosis de agua y abonado, especialmente cuando el cultivo se desarrolla en suelos arcillosos.

En el olivo, a partir de las **yemas latentes** presentes en la madera, convenientemente estimuladas por la poda y con ayuda del riego y del abonado, es posible renovar y rejuvenecer la copa en un periodo de tiempo razonable. Durante este periodo de rejuvenecimiento también debemos procurar mantener árboles con un tamaño de copa adecuado, por lo que debe seguirse un ritmo adecuado de rejuvenecimiento, lo que permitirá no incidir negativamente sobre la producción. Por esta razón el rejuvenecimiento debe hacerse de una forma paulatina, de modo que tras una poda de cierta severidad, que elimine ramas envejecidas, deben dejarse periodos de tiempo de cierta duración para que las brotaciones emitidas, como consecuencia de la poda, permitan recuperar en poco tiempo el tamaño de la copa. De este modo se conseguirá un rejuvenecimiento eficaz y no traumático (productivamente hablando) de la copa de los árboles.

g) **Adaptar los olivos a la recolección mecánica de la aceituna**. Teniendo en cuenta que la recolección de la aceituna es el coste de cultivo más importante de un olivar, la mecanización de la operación se hace imprescindible. La máquina que mejor resuelve el problema del derribo de los frutos es el vibrador de troncos. Por esta razón, y sin que afectemos a la capacidad productiva del árbol, debemos conseguir copas cuya forma y estructura de ramas aumente la eficacia en el derribo de frutos por los vibradores.







Fotografía 20.3: En el olivo, a partir de las yemas latentes presentes en la madera vieja (fotografía superior página izquierda), convenientemente estimuladas por la poda y con ayuda del riego y del abonado, es posible renovar y rejuvenecer la copa del árbol en un período de tiempo relativamente corto. Una vez cortada la rama envejecida (fotografía inferior página izquierda), en poco tiempo (2-3 años) las brotaciones producidas se transformarán en una rama productiva de sustitución. Arriba, tronco totalmente rejuvenecido, mostrando tres nuevas ramas productivas.

Se trata de conseguir que la pinza del vibrador pueda agarrar las ramas sin dificultad, y además conseguir árboles de porte erguido, eliminando o acortando las ramas excesivamente péndulas. En las ramas verticales se consigue un alto porcentaje en el derribo de frutos, mayor que en las ramas horizontales, y en éstas mayor que en las péndulas (Pastor y Humanes, 2000).

h) **Calidad de las aceitunas producidas.** El olivar de riego tiene una gran superficie foliar, lo que asegura una gran producción de asimilados, lo que igualmente también tambien asegura la producción de frutos de buen tamaño, siendo esto suficiente en el caso de aceitunas para almazara, siempre que la dotación de agua de riego sea la adecuada. Pero cuando se trata de producir **aceituna de mesa**, es fundamental conseguir aceitunas de tamaños incluidos dentro de la exigencias del mercado (menos de 280 aceitunas/kg para las variedades 'Manzanilla' y 'Hojiblanca'). En este caso, y sin que se altere el tamaño de los árboles, con la poda debe conseguirse un cierto **aclareo de ramas finas,** de modo que reduzcamos el número de posiciones fructíferas y con ello



Fotografía 20.4: La máquina que mejor resuelve el problema del derribo de los frutos en la recolección de las aceitunas es el vibrador de troncos. Sin que afectemos a la capacidad productiva del árbol, con la poda debemos conseguir copas cuya forma y estructura de ramas aumente la eficacia de los vibradores en el derribo de los frutos. La foto muestra un árbol, con una cruz demasiado baja, que en su día recibió una poda de formación poco adecuada para la mecanización.

el número de frutos cuajados por olivo, lo que siempre se traduce en un aumento del tamaño de las aceitunas.

Como se muestra en la **figura 20.2** existe una relación inversa entre el tamaño de la aceituna y el número de frutos cuajados por olivo. Esto significa que en un determinado medio (suelo disponibilidad de agua) cuando un árbol tiene un reducido número de frutos producirá aceitunas de mayor peso medio que cuando el número de frutos cuajado es elevado. Si la poda realizada es la adecuada, el aumento de tamaño de la aceituna debe compensar la reducción del número de frutos por olivo, por lo que la pérdida de producción debe ser mínima.

Tengamos en cuenta que una cosecha de 80 kg/olivo puede obtenerse por dos caminos:

con un elevado número de frutos por árbol y aceitunas de pequeño tamaño:

40.000 frutos x 2,0 g / fruto = 80 kg

o con un menor número de frutos por olivo y aceitunas de buen tamaño:

22.000 frutos x 3,64 g / fruto = 80 kg

en el primero de los casos las aceitunas no tendrían posibilidad de aprovechamiento como aceituna de mesa.

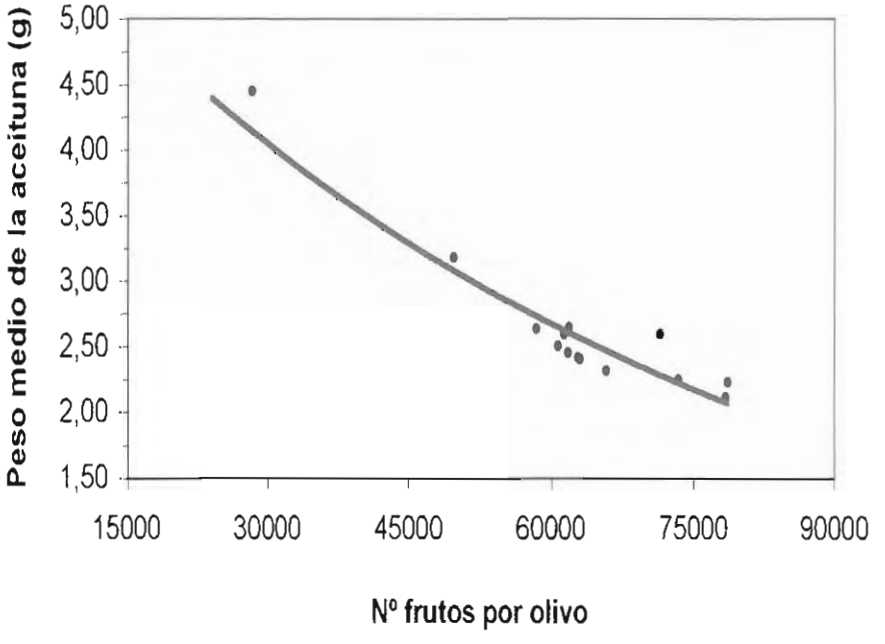


Figura 20.2: Relación entre el número de frutos por olivo y el tamaño medio de la aceituna en un olivar tradicional de riego en el que se aplicó una dos dosis anual de agua de 26 m3/olivo a lo largo de la campaña. Olivos de la variedad 'Picual' en CC.RR. Relámpago (Torreperogil-Jaén).

Sin embargo, se debe procurar que cuando realicemos los **aclareos de ramas** finas no desequilibremos de forma drástica la relación hoja-madera, ni dejemos las *maderas* expuestas al sol, lo que se traduciría en un envejecimiento y decrepitud prematura de las ramas y finalmente del olivo.

2.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES EN RIEGO.

Cuando las disponibilidades de agua son suficientes como para cubrir las necesidades del cultivo, la producción es proporcional a la **radiación solar interceptada** por la copa de los árboles. Para volúmenes de copa razonablemente manejables, en plantaciones comerciales existe siempre una relación directa entre la **superficie (S) de copa iluminada** (**figura 20.3**) y la cantidad de **radiación solar intercepta** por dicha copa.

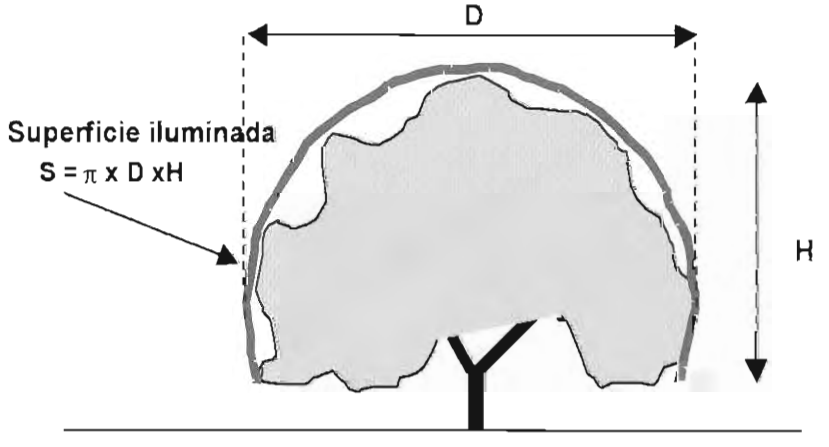


Figura 20.3: Modelo geométrico que explica la capacidad productiva de los olivos en una plantación comercial de olivar. La producción es directamente proporcional a la radiación que intercepta (= superficie exterior la copa de los árboles). La producción por hectárea es proporcional a la suma de la radiación interceptada por cada uno de los árboles de la plantación.

La **figura 20.4** muestra la evolución en el tiempo de la superficie de la copa de los olivos y la producción de aceituna por árbol, datos correspondientes a un ensayo de campo con una aportación total anual de riego de 2.000 m³/ha. Se trabajó con árboles adultos centenarios de la variedad 'Picual' plantados con una densidad de 80 olivos/ha. Desde el momento en que los olivos dispusieron de una mayor cantidad de agua (ya que el año 1996 y siguientes fueron muy lluviosos) y simultáneamente se realizaron podas menos severas, aumentó el tamaño de los árboles y en consecuencia la **superficie de copa** por olivo, lo que se tradujo en una mejora de la capacidad productiva de la plantación, debido fundamentalmente a un mejor aprovechamiento de la radiación solar. Esta mejora de la capacidad productiva no tiene un coste económico adicional para al agricultor.

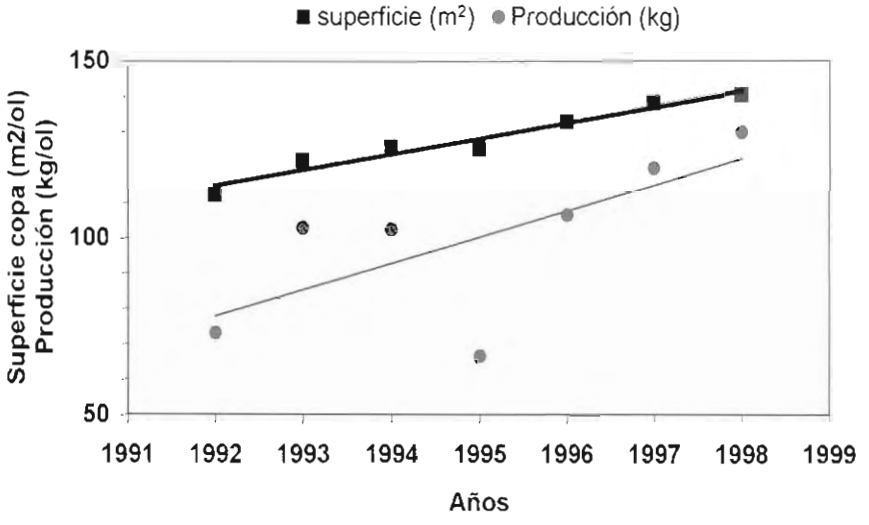


Figura 20.4: Evolución de la superficie exterior de la copa de los olivos y la producción media anual. Datos correspondientes al periodo 1992 a 1998 en un olivar de riego en el que se restringió la intensidad de la poda realizada y los olivos se regaron aplicando 2.000 m³/ha.año con independencia de la pluviometría anual. Los árboles centenarios están plantados con una densidad de 80 olivos/ha. La pluviometría media fue de 505 mm, aunque en el año 1995 solo llovió 230 mm, lo que explica la bajada de producción observada dicho año.

La **figura 20.5** muestra la relación existente entre superficie iluminada de copa y la producción de aceituna por hectárea, datos correspondientes a un ensayo de campo de larga duración en **regadío**, en el que se trabajó con olivos adultos de la variedad 'Manzanilla' y con densidades de plantación comprendidas entre 100 y 400 olivos/ha. Vemos como a medida que aumenta la **superficie de copa** por hectárea aumenta la producción media obtenida en la plantación, y que en gran medida ello se debe a las diferentes densidades de plantación empleadas. A mayor densidad, y dentro de ciertos límites, mayor es la cantidad de radiación solar interceptada, y por consiguiente también será mayor la producción de aceitunas obtenida.

En la tradicional **olivicultura de secano** la poda trata de adaptar el volumen de copa de los árboles a las **disponibilidades de agua en el suelo**, razón por la que tradicionalmente se mantienen árboles de tamaño reducido y con una densidad de área foliar también reducida, tratando de escapar al efecto del déficit hídrico que de otro modo se manifestaría a lo largo de todo el verano. Ello, como es natural, limita la capacidad productiva en los años de suficiente pluviometría, en especial en suelos con adecuada capacidad de almacenamiento de agua. Pero lo que en años secos puede estar justificado, si consideramos conjuntamente un periodo de varios años, en el que se suceden años de adecuada pluviometría, el mantener árboles con dimensiones relativamente reducidas puede no estar justificado.



Fotografía 20.5: Cuando el agua no es factor limitante, la producción de una plantación de olivar es proporcional a la cantidad de radiación solar interceptada por la copa de los olivos. Foto superior, olivar tradicional de riego de la comarca de La Loma (Jaén), que muestra una cobertura de suelo insuficiente. Abajo, olivar intensivo de la citada comarca, con una adecuada cobertura, lo que permite obtener una máxima productividad por volumen de agua aplicado.

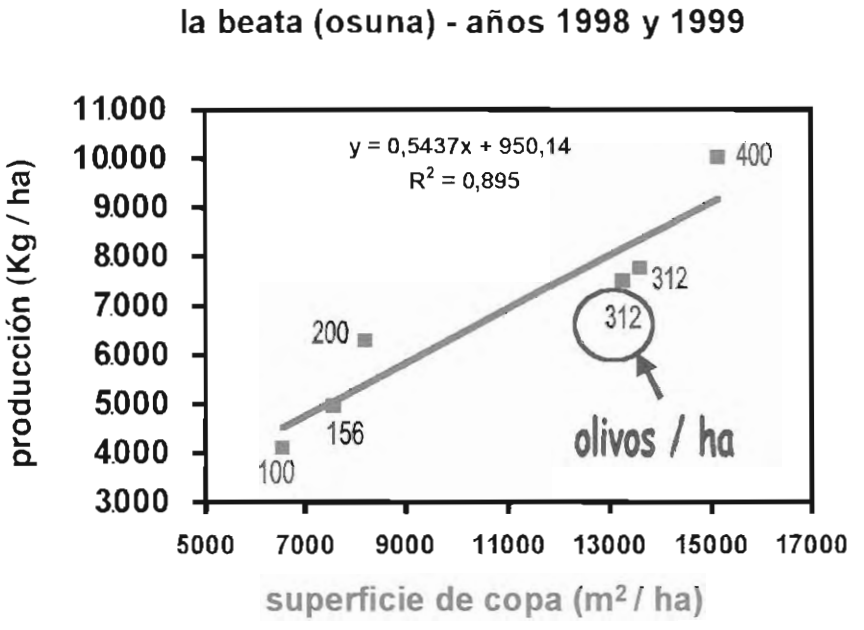


Figura 20.5: Relación entre superficie de copa por hectárea y producción de aceitunas en un ensayo realizado en Osuna (Sevilla), trabajando con olivos adultos de riego de la variedad 'Manzanilla' plantada con diferentes densidades (100-400 árboles / hectárea).

Es frecuente que se poden las plantaciones de riego con los mismos criterios que las de secano. En regadío muchos podadores reducen drásticamente el volumen de copa de los árboles, lo que siempre va a ocasionar importantes pérdidas de producción, disminuyéndose per-

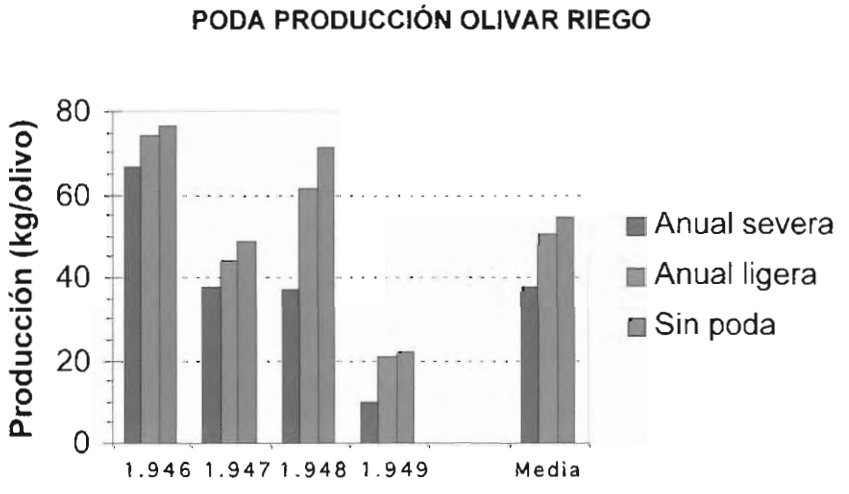


Figura 20.6: Resumen de los resultados de un ensayo realizado en California (USA) por Hartmann *y col.* (1960) en un olivar de riego de la variedad 'Gordal' plantado con marco 9 x 9 m. A medida en que se redujo la intensidad de la poda la producción de aceitunas fue mayor.



Fotografía 20.6: En regadío nunca deben aplicarse los mismos criterios de poda que en secano, ya que podas excesivamente severas limitan la respuesta productiva del olivar al riego. Arriba olivar adulto-joven de riego de la variedad 'Picual' que ha sido sometido a una poda de producción excesivamente severa; abajo árbol de dicha plantación antes de la poda. En este caso bastaría con ligeros aclareos de ramas y la eliminación de los chupones más vigorosos, lo que mejoraría la aireación e iluminación dentro de la copa.

manentemente el potencial productivo del olivar. Aunque en España no tenemos demasiados datos que ilustren el problema planteado, en California (USA) Hartman *y col.* (1960) en olivares de riego, en los que emplean las variedades de aceituna de mesa andaluzas 'Manzanilla' y 'Gordal', plantearon una serie de ensayos cuyos resultados son bastante ilustrativos. En la **figura 20.6** presentamos datos de uno de sus ensayos, realizado en el condado de Corning durante 4 años en árboles adultos de regadío de la variedad Gordal plantados con un marco de 9x9 metros. Se ensayaron dos tipos de poda anual en los que se varió la intensidad de aclareo de la copa, poda severa y poda ligera, además de un testigo no-podado. Los resultados muestran un aumento de la producción a medida en que se redujo la intensidad de la poda, siendo los árboles no podados los que proporcionaron la mayor producción. Los autores determinaron igualmente el valor total de la cosecha, llegando también a la conclusión de que en las condiciones en las que se desarrolló el ensayo, en las que se cubrieron las necesidades de agua del cultivo (riego sin limitación de agua), es necesario reducir al máximo la intensidad de la poda, ya que de este modo se obtendrían unos mayores ingresos por hectárea. Sin embargo, proponer a largo plazo sistemas sin poda no fue el objetivo con el que se planteó el ensayo anterior, ya que a largo plazo estos sistemas pueden llevar a una situación agronómicamente insostenible, dificultando o imposibilitando la recolección de los frutos.

Tabla 20.1: Volumen de copa y producciones obtenidas en un ensayo en el que se comparan tanto en riego como en secano dos estrategias de poda de muy diferente intensidad. El ensayo se lleva a cabo en Extremadura en una plantación adulta (más de 50 años) de la variedad 'Morisca' con marco de plantación 10 x 10 m

Cultivo	Poda	Producción aceite (kg/olivo)				Volumen de copa (m^3/olivo)		
		2.000	2.001	2.002	Media	2.000	2.001	2.003
Riego	poco severa	22,40	29,20	23,50	25,03	69	67	78
Riego	tradicional (severa)	15,80	17,00	18,19	17,00	49	46	53
Secano	poco severa	8,50	14,30	3,69	8,83	55	54	54
Secano	tradicional (severa)	6,00	10,10	5,00	7,03	35	34	35

Fuente: Prieto (2003); Pérez Rodríguez *y col.* (2004)

Significativos son también los datos del ensayo realizado en Extremadura (Prieto, 2003; Pérez Rodríguez *y col.*, 2004) en plantación tradicional adulta de olivar de la variedad 'Morisca' (**tabla 20.1**) con una densidad de plantación de 100 olivos/ha, en el que tanto en riego como en secano se comparan dos sistemas de poda: **poda severa** que restringe el volumen de copa de los olivos (tradicional en la zona), y **poda poco severa** con renovación aplazada de ramas y un poco de limpieza de brotaciones, sistema de poda éste último que afecta poco al volumen de copa de los olivos (**tabla 20.1**).

En los datos mostrados en dicha **tabla 20.1** vemos también como los árboles de riego con el tiempo alcanzan un volumen de copa superior al de los olivos de secano (45-50 %). Además, en condiciones de riego la **poda tradicional severa** ha reducido el volumen de copa en torno al 40-45 % con respecto a la **poda poco severa**, mientras que en secano lo ha hecho en un 55 %. Este hecho ha influido negativamente en la cuantía de las cosechas del olivar, lo que ha supuesto mermas de producción de aceite del 47 % en riego y del 25 % en secano.

El hecho de **no modificar las prácticas de poda tras el establecimiento del riego** ha supuesto pérdidas de cosecha muy importantes, al limitar la poda el volumen de copa, y con ello la cantidad de radiación interceptada por los árboles. La poda realizada en secano ha resultado ser, también en este caso, excesivamente severa.

Cuando un árbol pasa a disponer de una mayor cantidad de agua se produce una doble reacción:

- aumenta el **tamaño de los árboles** (mayor longitud de los brotes fructíferos y mayor número de brotes y flores) y con ello aumenta igualmente el número de frutos.
- la **capacidad de llenado de los frutos** cuajados es mayor, por lo que en recolección tendremos aceitunas más grandes.

La **producción** de un árbol es la resultante del producto:

producción = número de frutos por olivo x peso medio de la aceituna [1]

Por esta razón los árboles de riego tienen una capacidad productiva notablemente mayor que los de secano.

Teniendo en cuenta lo anterior, aplicar los mismos criterios de poda de olivar de secano en un olivar de regadío significaría renunciar al aumento de tamaño de los árboles, ya que destruiríamos con la poda lo que hemos conseguido crear a lo largo de la estación de crecimiento anterior, y solo nos aprovecharíamos en la expresión [1] del componente aumento del peso medio de las aceitunas, por lo que no rentabilizaríamos adecuadamente las aportaciones de agua de riego realizadas (**tabla 20.1**), produciéndose anualmente gran cantidad de brotaciones de las que, al eliminarlas eliminaríamos posiciones fructíferas, y no llegaríamos a obtener un óptimo rendimiento.

Por tanto, debemos establecer criterios para la **poda del olivar de regadío**, teniendo en cuenta la disponibilidad de agua para el cultivo (lluvia infiltrada en el suelo + riego) en la explotación.

En el **capítulo 5** se desarrolla la metodología para la programación de riegos en olivar. La expresión que permite estimar la evapotranspiración del cultivo, y por consiguiente la necesidades de agua de riego, es la siguiente:

$$ETc = ETo \times Kc$$

en la que el coeficiente mensual de cultivo (**Kc**) depende de:

- la geometría de la plantación: densidad de plantación, tamaño de los árboles (diámetro y altura del olivo),
- otros factores como la frecuencia de lluvias y la fracción de suelo humedecido por los goteros en los meses de riego (independiente del olivar a regar).

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos afirmar que en un determinado olivar (en el que se mantienen inalterable en la densidad de plantación, número y tipo de goteros instalados y régimen pluviométrico), con la poda podemos modificar el volumen de copa de los olivos, y con ello el valor del **Kc**, lo que permite regular el consumo de agua por la plantación que vamos a regar (ver **figura 20.7**), de modo que al aumentar el volumen de copa del olivo aumentará el valor de **Kc** y con ello el valor de **ETc** (ver **figura 20.7** arriba), pero este mayor consumo de agua se traduce también en un aumento de la capacidad productiva del olivar (ver **figura 20.7** abajo).

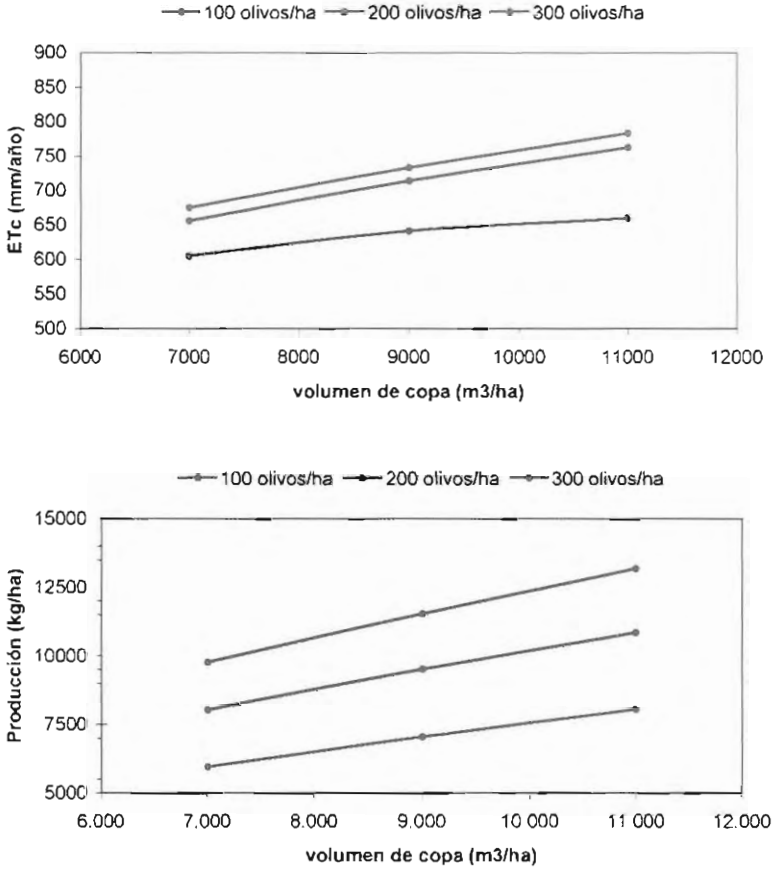


Figura 20.7 : Evapotranspiración del cultivo (ETc mm/año) en olivares con diferente densidad de plantación y volumen de copa (arriba) y producción media prevista (kg/ha) para los mencionados tipos de olivar (abajo).

A partir de los datos que mostramos en la mencionada **figura 7**, podemos calcular la eficiencia del agua de riego aplicada (ETc), definida en este caso la eficiencia como:

Eficiencia = [producción en riego - producción en secano] / volumen de agua de riego

Los volúmenes de agua de riego aplicados (m^3/ha), una vez deducida la precipitación efectiva son los siguientes:

Volumen de copa	Densidad de plantación		
	100 olivos/ha	200 olivos/ha	300 olivos/ha
7.000 m^3/ha	2.390	2.900	3.080
9.000 m^3/ha	2.750	3.470	3.680
11.000m^3/ha	2.940	3.960	4.170

La **figura 20.8** muestra la variación de los valores de la eficiencia en el uso del agua de riego en función de las densidades de plantación y de los volúmenes de copa de los árboles. Hemos considerado producciones medias en secano de 2.600 , 3.500 y 4.300 kg/ha para las densidades de 100, 200 y 300 kg/ha respectivamente, teniendo en cuenta que en secano se mantienen volúmenes de copa de 7.000 m^3/ha.

Teniendo en cuenta estos datos (**figura 20.8**) podemos decir que el agua es más eficiente en plantaciones intensivas (200 – 300 olivos/ha) que en las tradicionales, para todos los volúmenes de copa con los que hemos realizado los cálculos, lo cual confirma los datos de campo de ensayos realizados en la provincia de Jaén (Pastor *y col.*, 2002). En el intervalo de volúmenes de copa 7.000 a 11.000 m^3/ha, y para una determinada densidad de plantación, el agua parece más eficiente cuando permitimos que aumente el volumen de copa de los olivos, siempre que se aplique agua suficiente como para cubrir la ETc del cultivo. Cuando se riega sin limitación en la disponibilidad de agua, estos datos permiten recomendar modificar las **tradicionales prácticas de poda** que tienden a reducir drásticamente los tamaños de los árboles sin tener en cuenta que hemos pasado de una situación tradicional de secano, en la que el agua es un factor limitante, a una situación de regadío en la que el agua ya no es el factor limitante de la producción, opinión contrastada con los datos experimentales de Prieto *y col.* (2003) aportados en la **tabla 20.1**.

Si existiesen limitaciones en las disponibilidades de agua para riego de acuerdo con la superficie de olivar a regar, y en este caso no puede programarse el riego para cubrir la ETc máxima del cultivo, caso muy frecuente en el riego del olivar andaluz, podría ser justificable reducir el tamaño de copa de los olivos realizando una poda severa, tratando así de reducir el volumen de agua a aportar por hectárea a la plantación. Pero esta decisión podría no ser la más interesante desde el punto de vista agronómico. Si tenemos en cuenta los conocimientos

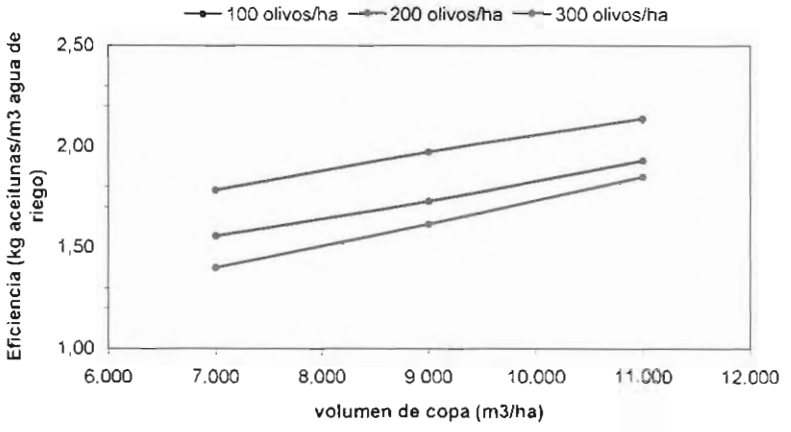


Figura 20.8 : Eficiencia en el uso del agua (kg de aceitunas / m³ de agua de riego) en olivares con diferente densidad de plantación y volumen de copa.

actuales sobre las técnicas de **riego deficitario controlado** (ver capítulo 6), con un recorte en las aportaciones de agua de riego durante el periodo de menor sensibilidad al déficit hídrico (verano), en muchos casos nos podríamos permitir reducir los volúmenes totales anuales de agua a aplicar por hectárea sin necesidad de reducir excesivamente el tamaño de los árboles, y sin que ello supusiera una reducción de la producción ni de la calidad de la misma. Esta segunda estrategia, que está bastante contrastada experimentalmente, podría rendir grandes beneficios en los años de gran pluviometría en los que el mantener mayores tamaños de árbol puede traducirse en grandes aumentos de la cosecha, por lo que la producción media para un periodo de tiempo relativamente largo también podríamos pensar que aumentaría si no realizamos intervenciones drásticas de poda.

En condiciones de baja disponibilidad de agua podría reducirse la frondosidad de los árboles, mediante la poda de aclareo de ramas finas, sin necesidad de reducir el volumen de copa de los árboles, esta estrategia ahorraría agua en los años deficitarios. Recuperar la frondosidad es casi inmediato, mientras que recuperar el volumen de copa no lo es tanto.

Los datos aportados y los razonamientos realizados permiten comprender el relevante papel de la poda sobre:

- las necesidades de agua,
- la producción y
- la eficiencia del agua empleada.

Por esta razón, si a la salida del invierno conocemos la cuantía de la lluvia producida en los meses anteriores (octubre a marzo) y las disponibilidades anuales de agua para riego, se podrían dar indicaciones al podador sobre la **intensidad de la poda que debe aplicar**, intentando mantener los adecuados volúmenes y densidad de copa.

Si dispusiésemos de agua sin limitaciones, lo ideal sería permitir que los árboles crezcan hasta alcanzar un volumen de 12.000 m^3/ha. La experiencia nos ha demostrado que un volumen de copa superior no es interesante, ya que probablemente empezarían a plantearse problemas de diversa índole (dificultades para la recolección, peor calidad de fruto, problemas de enfermedades al no poderse realizar correctamente los tratamientos, etc.), que acabarían por afectar a la explotación rentable de este olivar.

3.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES

En la vida de un olivar, como en la de todo ser vivo, debemos distinguir tres periodos:

- juventud,
- adulto (plena producción)
- vejez.

En cada uno de estos periodos el tipo de poda a realizar es diferente, aunque en determinados casos, y en especial en regadío, estos periodos pueden no estar claramente diferenciados, e incluso solaparse.







Fotografía 20.7: Página anterior, olivar joven de riego en Montoro (Córdoba) en el que se ha aplicado una poda severa de formación y producción que no permite obtener óptimas producciones de acuerdo con el medio y la disponibilidad de agua de riego. Arriba, olivar de 7 años, también de riego, que en años anteriores ha recibido una poda de formación muy poco severa, lo que ha permitido un gran crecimiento y alcanzar en pocos años una gran capacidad productiva. Abajo, el mismo olivo después de recibir la poda anual, vemos que ha variado muy poco su volumen, y que solamente se ha aclarado ligeramente la copa y se han realzado las ramas bajas para permitir el trabajo de los vibradores de troncos en la próxima campaña de recolección. En el período de juventud de la plantación es necesario podar con muy poca intensidad.

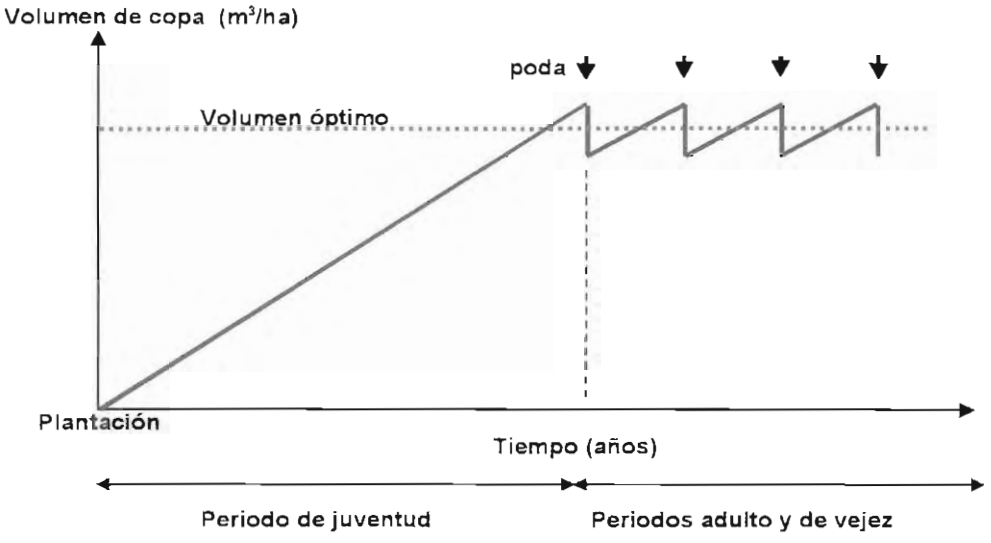


Figura 20.9: Esquema de lo que debe ser la evolución del volumen de copa de los olivos a lo largo de la vida productiva de la plantación. Se indica igualmente el manejo de dicho volumen mediante la poda. El volumen de copa óptimo depende de la calidad del medio y de las disponibilidades de agua (lluvia + riego)

En el **periodo de juventud** (**figura 20.9**), y una vez formados los árboles, conviene podar con poca intensidad e incluso en determinados periodos no podar, tratando así de conseguir el **volumen óptimo de copa** (máxima capacidad productiva) en el menor tiempo posible, con lo que a corto plazo se conseguirá igualmente la máxima producción.

En el **periodo adulto** (**figura 20.9**) se debe realizar la poda con la intensidad suficiente como para mantener un volumen de copa compatible con la aplicación correcta de las prácticas de cultivo, con la disponibilidad de agua (volumen óptimo), realizando los aclareos de ramas necesarios como para optimizar la cantidad de radiación solar interceptada por la hojas, lo que aumentará la producción y mejorará la calidad de los frutos obtenidos. En regadío y en plantaciones en el periodo adulto-jóven, datos experimentales de Hartmann *y col.* (1960) avalan siempre la necesidad de realizar podas poco severas, e incluso no podar en determinados periodos de tiempo, siempre que el árbol se mantenga equilibrado.

En el **periodo de vejez** (**figura 20.9**), que comienza cuando algunas ramas empiezan a manifestar síntomas de decaimiento demandando su sustitución, se deben realizar **podas severas**, pero espaciadas en el tiempo para permitir la regeneración de la zona eliminada, lo que en varios años permitirá el total rejuvenecimiento de la copa.



Fotografía 20.8: Árbol centenario de la variedad 'Picual' en la comunidad de regantes del Jandulilla (Jódar - Jaén) que se mantiene en plena producción gracias a la aplicación continuada de una adecuada poda de renovación. En el período de vejez se deben realizar **podas severas,** pero espaciadas en el tiempo para permitir la regeneración de la zona eliminada, lo que en varios años permitirá el total rejuvenecimiento de la copa.

En los árboles en proceso de rejuvenecimiento (**figura 20.10**) tendremos sectores en renovación y sectores en producción, por lo que conviene no tener en renovación una porción importante de la copa del árbol. En la zona del árbol que no está en renovación se aplicarán podas poco severas de aclareo y rebaje de la copa, con la finalidad de mejorar la iluminación en el interior de los olivos. A las ramas jóvenes de sustitución se les proporcionará el espacio suficiente para que se desarrollen sin competencia por luz y no sufran deformaciones. Una vez iniciado el rejuvenecimiento, este debe continuar sin prisa pero sin pausa a lo largo de toda la vida productiva de la plantación, de modo que en periodos de 10 a 15 años se vaya renovando la totalidad de la copa de los árboles. En regadío crecimiento vegetativo es mayor que en secano, por lo que se acelera naturalmente el proceso de rejuvenecimiento de la copa. Los olivos de riego también envejecen más lentamente.

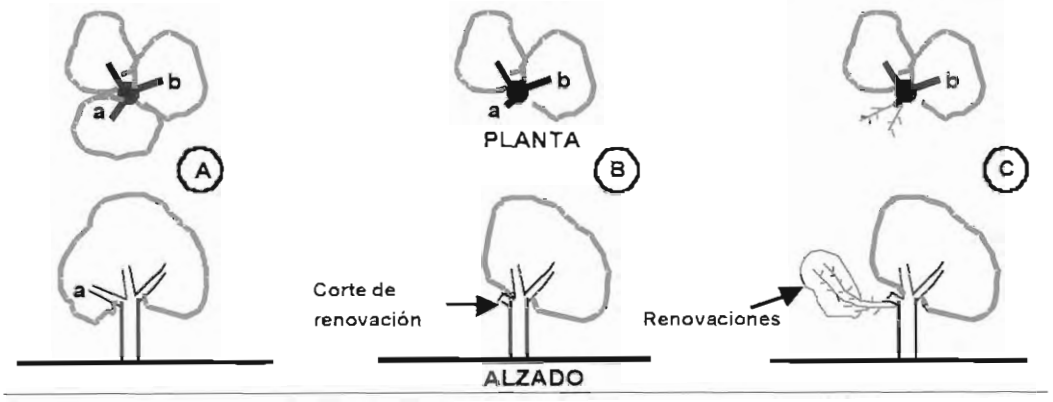


Figura 20.10: Esquema de proceso de rejuvenecimiento de un árbol por la poda. A: árbol que ya ha mostrado síntomas de decrepitud en una de sus ramas (**a**) y que demanda el comienzo del rejuvenecimiento; B: amputación de una de las ramas principales (**a**) para iniciar el rejuvenecimiento, lo que provoca la brotación de yemas adventicias en la madera; C: las brotaciones producidas, una vez desarrolladas, sustituyen a la rama suprimida. Una segunda fase del rejuvenecimiento dará comienzo sobre una nueva rama principal (**b**), ya envejecida, cuando las ramas de reemplazo de la rama (**a**) hayan entrado en producción. El proceso de rejuvenecimiento continuado ya no cesará durante la vida productiva del árbol.

4.- PERIODICIDAD DE LA PODA

En la olivicultura tradicional de **secano la poda** se realiza generalmente **cada dos años**, existiendo ensayos de campo de larga duración que ponen en evidencia que, en determinados medios de producción (alta pluviometría media anual y suelos con buena capacidad de almacenamiento de agua) puede ser aceptable la poda cada 3 ó 4 años (Pastor y Humanes, 2000). Sin embargo, la experiencia nos ha enseñado que en **riego** lo recomendable podría ser **podar anualmente**, siempre que en este caso realicemos **intervenciones de poda muy poco severas**, requiriendo para ello un adecuado adiestramiento de los podadores, lo que no siempre es fácil de conseguir.

En **riego** los árboles tienen un gran vigor, con un crecimiento espectacular de los chupones, en especial cuando se abusa del abonado nitrogenado o cuando por cualquier razón hemos provocado desequilibrios en la copa. En este caso, si se podara cada dos o tres años, cuando llega el momento de la poda los chupones tendrán ya un excesivo desarrollo, y probablemente ya habrán debilitado la rama sobre la que se insertan. Al estar los chupones situados en un lugar privilegiado de la copa, zona más alta, donde interceptan una máxima cantidad de radiación, se establece una fuerte competencia por la luz con las brotaciones fructífe-

ras de las ramas productivas. Por esta razón en regadío nos inclinamos por **realizar la poda anualmente**, de modo que **eliminemos los chupones cuando estos estén muy poco desarrollados**, lo que reducirá los problemas de competencia.

En olivar tradicional de secano es una práctica habitual eliminar en verano las brotaciones adventicias (varetas) que se producen en las peanas y troncos de los olivos, operación conocida en el argot olivarero como **desvareto** o **despestugo,** según las zonas. Pensamos que en olivar de regadío esta operación podría ser adelantada a final del mes de julio, y hacerse extensiva a la eliminación de los chupones jóvenes más vigorosos que se insertan sobre ramas principales y secundarias en el centro de la copa (**poda en verde**), lo que sin duda acortará el tiempo de competencia por luz y asimilados con las ramas sobre las que se insertan. Si se trabaja de este modo, seguramente habrá que realizar dos intervenciones de desvareto al año, sin que ello duplique el tiempo total invertido en realizar esta operación en una sola intervención, lo que a largo y medio plazo acabará beneficiando productivamente al árbol.

5.- PODA DE LAS PLANTACIONES INTENSIVAS

En las plantaciones intensivas de olivar (200 a 400 olivos/ha), en las que se emplea una considerable mayor densidad de plantación que en la olivicultura tradicional, pueden establecerse problemas de competencia entre árboles por:

- el agua
- la luz (reducción de la cantidad de radiación solar interceptada)

A lo largo de este capítulo hemos hablado de la influencia del volumen de copa sobre el consumo de agua de las plantaciones, pero en este momento debemos resaltar que para el mismo volumen de copa por hectárea, una plantación densa tiene unas necesidades de agua de riego superiores a las del olivar tradicional (**figura 20.7** arriba). Dicha figura muestra datos de evapotranspiración de olivares con 70 , 200 y 300 árboles/ha y diferentes volúmenes de copa.

Como ya se dijo en apartados anteriores, cuando las **disponibilidades de agua son limitadas** probablemente habría que reducir el volumen de copa de los árboles para adaptarlos a dicha disponibilidad, ya que en plantación intensiva el efecto del estrés hídrico a comienzo del verano podría traducirse en unas importantes pérdidas de producción y a la obtención de frutos de pequeño tamaño y bajo rendimiento graso.

Cuando se dispone de suficiente cantidad de agua para el riego (sin limitaciones), el problema se plantea cuando la plantación alcanza volúmenes de copa superiores a lo que hemos

denominado **volumen óptimo** (ver **figura 20.8**). En este momento el olivar se hará menos productivo debido a una reducción de la cantidad de radiación solar interceptada por la plantación, al producirse sombreamientos entre árboles, lo que normalmente no ocurre en las plantaciones con marco tradicional (< 100 olivos/ha).

La **figura 20.11** muestra datos correspondientes a un experimento de campo de larga duración en olivar de la variedad 'Arbequina', en el que en regadío y sin limitaciones en el suministro de agua se comparan las producciones medias bianuales obtenidas a lo largo de la vida del olivar cuando se utilizan diferentes densidades de plantación (200 a 450 olivos/ha).

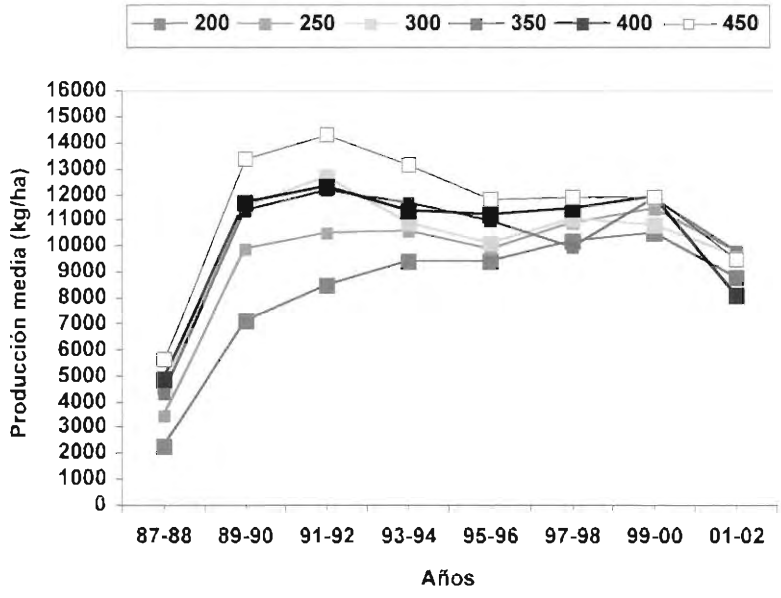


Figura 20.11: Evolución de las producciones medias bianuales en olivos de la variedad 'Arbequina' plantados en Córdoba en el año 1.984. En este ensayo se estudia la respuesta productiva a diferentes densidades de plantación dentro del rango 200 – 450 olivos/ha. Los árboles se han regado sin limitaciones en el suministro de agua.

Considerando las cosechas medias bianuales obtenidas en los diferentes periodos de la vida de los árboles, vemos (**figura 20.12**) como en el **período de juventud** de la plantación (años 1.987 a 1.993), período en el que los árboles fueron creciendo sin que se llegase a alcanzar el volumen de copa óptimo de la plantación, la producción de aceitunas por hectárea aumentó de forma casi proporcional al número de olivos plantados por unidad de superficie, dentro del rango de densidades estudiadas. En el **periodo adulto** (1.994 a 2.000), en el que en todas las densidades se iba alcanzado el volumen que habíamos considerado como óptimo (en este caso 14.000 m^3/ha), las diferencias de producción se iban acortando en el transcurso de los años, aunque se seguían observando diferencias entre densidades. Esta

reducción en las diferencias de producción debemos atribuirla al sombreamiento entre los árboles de la plantación en las densidades mayores (reducción de la cantidad de radiación solar interceptada por la copa). Finalmente, en el teórico **período de vejez**, en el que en todos los casos se había superado el volumen óptimo de copa a pesar de las intervenciones de poda, era muy difícil mantener el volumen de la plantación dentro del límite máximo fijado, por lo que la superficie productiva iluminada acabó desplazándose a 4-5 metros por encima de la superficie del suelo para las densidades superiores a 300 olivos/ha (ver **figura 20.13**), por lo que con el tiempo la cantidad de radiación interceptada acabó siendo bastante similar en todas las densidades con las que se trabajó. Por esta razón en este período de vejez las producciones en todas las densidades consideradas fueron relativamente similares entre sí e inferiores a las obtenidas en el período adulto, tendiendo a decrecer las cosechas en las densidades mayores (**figura 20.12**).



Fotografía 20.9: Plantación intensiva adulta de la variedad 'Picual' con marco de plantación 8x4 m (312 olivos/ha) en el t.m. de Úbeda en la provincia de Jaén. La existencia de una calle ancha (8 m), además de permitir el paso de la maquinaria en la aplicación de las técnicas de cultivo, permite un adecuado aprovechamiento de la radiación solar. Obsérvense las diferencias de suelo sombreado con el olivar de la fotografía 20.10 en el que se utiliza una calle ancha de solamente 6 m.

El problema de sombreamiento entre árboles se planteó muchos años antes en las densidades de 400 y 450 olivos/ha que en el caso de 200 – 250 olivos/ha. Las densidades más altas, y en el momento en que se dio por concluido el ensayo, no eran ya las que proporcionaban la mayor producción por hectárea (**figuras 20.11** y **20.12**), siendo casi imposible en este olivar aplicar las técnicas de cultivo, en especial la recolección y los tratamientos fitosanitarios.



Fotografía 20.10: En las plantaciones densas (400 olivos/ha en este caso), cuando los árboles alcanzan un gran volumen de copa se producen sombreamientos a lo largo del día, especialmente en las zonas del árbol próximas al suelo. Este hecho, además de reducir la capacidad productiva de las plantaciones y dificultar la aplicación de determinadas prácticas de cultivo (fundamentalmente tratamientos fitosanitarios y recolección), empeora la calidad de los frutos producidos. En este caso, reducir con la poda el tamaño de las copas (especialmente la reducción de su altura = rebaje), dentro de ciertos límites nos parece muy recomendable. Olivar de la variedad 'Arbequina' en Córdoba en parcela de ensayo en la que se comparan distintos marcos de plantación.

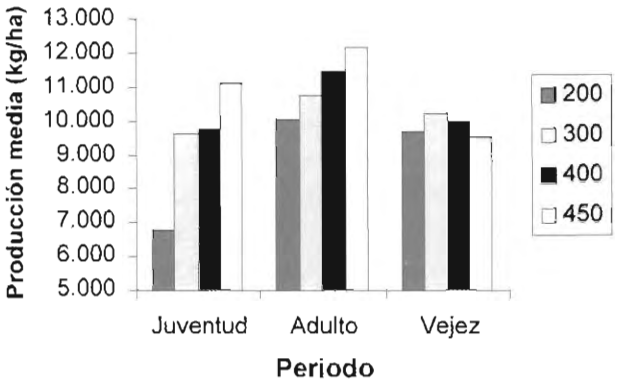


Figura 20.12: Producciones medias por hectárea en las diferentes épocas de la vida de la plantación en olivar de riego de la variedad 'Arbequina' plantado con diferentes densidades (200, 300, 400 y 450 árboles/ha).

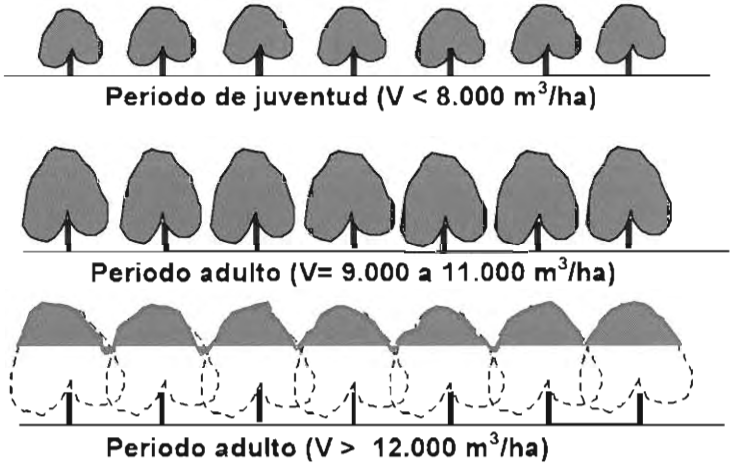


Figura 20.13: Evolución de la superficie de copa productiva (en verde) en olivar intensivo a lo largo de la vida de la plantación y en función del volumen de copa de los árboles. Para volúmenes inferiores a 11.000 m^3/ha la capacidad productiva aumenta al hacerlo el volumen de copa de los olivos (mayor interceptación de radiación). Cuando el volumen de copa supera los 12.000 m^3/ha se produce una reducción drástica de la superficie iluminada para altas densidades de plantación y, por tanto, de la cantidad de radiación que intercepta el olivar y de la capacidad productiva de los árboles.

Además de la respuesta productiva observada (**figuras 20.11** y **20.12**), el exceso de volumen de copa determinó que en las mayores densidades (> 300 olivos/ha) las zonas del árbol más próximas al suelo, entre 0 y 3 metros, se fueran defoliando en el transcurso de los años (**figura 20.13**), haciéndose cada vez menos productivas, ya que la radiación interceptada en esa zona era insuficiente como para fabricar los asimilados necesarios para asegurar la correcta nutrición de las formaciones vegetativas, lo que con el tiempo se fue traduciendo en frutos de pequeño tamaño (reducción de la capacidad de llenado debido al déficit de asimilados) y por la misma razón un bajo rendimiento graso de las aceitunas. La **figura 20.14** muestra datos de la distribución dentro del árbol del tamaño de los frutos y del rendimiento graso en un año de carga cuando los árboles ya habían rebasado el volumen de 12.000 m^3/ha. Vemos como en el **interior del árbol** (zona mal iluminada en la que se intercepta una pequeña cantidad de radiación) las aceitunas son pequeñas y tienen un rendimiento graso muy bajo, empeorándose la calidad del fruto a medida que nos acercamos al suelo (zona aún peor iluminada). En la **superficie de la copa** se observan igualmente sensibles diferencias: en la **zona**

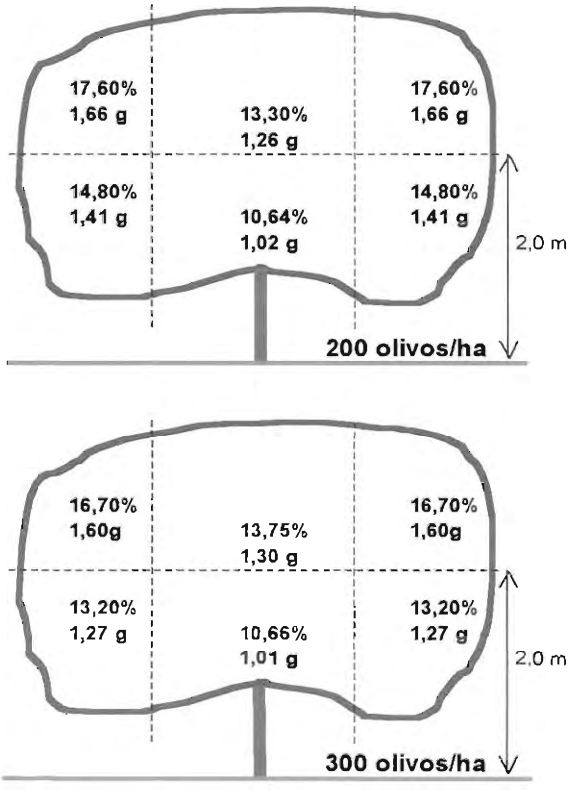


Figura 20.14: Variación del rendimiento graso (%) y del tamaño de la aceituna (g) en diferentes zonas del árbol en plantaciones de riego de 9 años de edad de la variedad 'Arbequina' plantados con 200 y 300 olivos/ha Finca Alameda del Obispo (Córdoba)

alta, muy bien iluminada y en la que las hojas interceptan una gran cantidad de radiación solar, los frutos son más gruesos y con un alto contenido de aceite, mayor que en la zona baja (peor iluminada). Si comparamos las densidades de plantación (**figura 20.14**) en **200 olivos/ha** la calidad del fruto en el exterior de la copa es mejor que en la densidad de **300 olivos/ha.** En el centro de la copa, tanto en 200 como en 300 olivos/ha, los frutos son de poca calidad, ya que la cantidad de radiación solar que llega al interior del árbol (cierta oscuridad) resultan claramente insuficientes como para asegurar la suficiente producción de asimilados que asegure un adecuado llenado del fruto y la consiguiente producción de aceite.

Conocido el efecto combinado entre un excesivo volumen de copa y una alta densidad de plantación, solo nos queda dar las **normas de actuación en las plantaciones densas de riego**:

- debe llevarse un **riguroso control de los volúmenes de copa**, y si se dispone de una adecuada dotación de agua permitir que la plantación llegue hasta 12.000 m^3/ha, y en este momento intervenir drásticamente con la poda para mantener volúmenes en el intervalo (**figura 20.9**): 9.000 m^3/ha (después de la poda) – 12.000 m^3/ha (inmediatamente antes de la poda siguiente),

- procurar mantener copas con un **adecuado aclareo de ramas finas**, de modo que la iluminación y aireación sean las correctas en todas las zonas del árbol, especialmente en el interior y en las zonas próximas al suelo, permitiendo que todas las zonas del árbol estén bien iluminadas y que queden bien mojadas todas las hojas de los olivos cuando hacemos los tratamientos fitosanitarios, lo que en estos casos evitará infecciones por hongos (repilo y vivillo, fundamentalmente), que en estas plantaciones densas pueden acarrear graves problemas al olivarero.

- debe **rebajarse la altura de la copa**, eliminando los chupones vigorosos, lo que es fundamental en este tipo de plantaciones, ya que la reducción de la altura de las copas permite mejorar la cantidad de radiación solar que llega a las ramas bajas del propio árbol y las de los olivos adyacentes, por lo que se mejora su estado vegetativo y la fructificación del conjunto de la plantación; estas intervenciones facilitan igualmente la recolección de las aceitunas, especialmente en los casos de recogida manual.

Con respecto a las **densidades de plantación** a utilizar en olivar de riego quiero decir que no soy muy partidario de las densidades demasiado grandes si pensamos en una vida media de la plantación de 25 30 años, y ello en función de la calidad del suelo y de las dotaciones de agua a emplear. En suelos pobres densidades mayores (300-400 árboles/ha) que en suelos buenos y profundos (200 – 250 árboles/ha). Además soy partidario de emplear marcos rectangulares de plantación, con calles anchas de 7-8 metros como mínimo, y si la pendiente del terreno lo permite orientar estas calles en dirección norte – sur, con lo que se conseguirá interceptar una mayor cantidad de radiación cuando la plantación alcance la edad adulta.

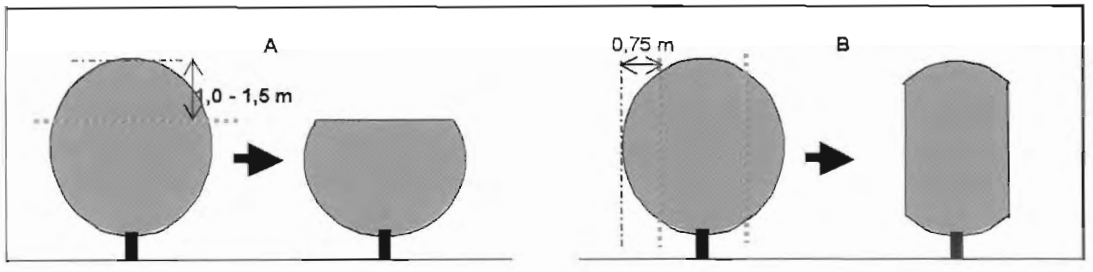


Figura 20.15: Para obtener una buena respuesta de los olivos a la poda mecánica es necesario que en el rebaje en altura de la copa con la sierra de discos (A) eliminemos un casquete esférico de altura 1,0 a 1,5 m. Sin embargo, debido al menor vigor de las brotaciones, en los cortes sobre las caras laterales (B) basta con eliminar un casquete esférico de 0,75 m de altura.

Tratando de manejar con mayor facilidad las plantaciones intensivas, en las últimas décadas hemos realizado ensayos de **poda mecánica** (**figura 20.15**) empleando una podadora de discos accionada por tractor, que realizando rebajes drásticos de la copa a alturas sobre el suelo entre 3 y 3,5 metros cada cierto número de años, nos ha permitido un manejo sencillo de las plantaciones sin afectar negativamente a la producción. En la **figura 20.16** presentamos los datos de un ensayo realizado durante nueve años en un olivar intensivo (317 olivos/ha, de riego de la variedad 'Manzanilla' en el que se han comparado diversos sistemas de poda:

- **poda manual tradicional** (con aclareo manual intenso de ramas finas a base de tijera y calabozo);
- **poda mecánica** (rebajes de 1,5 m la altura de la copa en los años 1988 – 1993 y 1997 (**figura 20.15 A**) y recorte de las dos caras laterales a 0,75 m de la periferia (**figura 20.15 B**) años 1990 y 1995;
- **poda mecánica + repaso manual del interior del árbol** (igual que la anterior más poda manual con motosierra cada dos años para eliminar los chupones de las ramas interiores).

De los datos de la mencionada **figura 20.16** cabe destacar que con respecto al sistema de poda convencional la **poda mecánica no ha influido negativamente sobre la producción del olivar**. Sin embargo, al inducir a una mayor cosecha en los años de carga, parece acentuar el fenómeno de la alternancia de producción. También se observó que el sistema de poda mecánica parece poco viable en aceituna de mesa, al dificultar enormemente la recolección manual por ordeño, lo que no ofrece mayores dificultades en el olivar de almazara, especialmente cuando se va a realizar recolección mecánica con vibrador. La realización de la poda mecánica debe ir siempre acompañada de un **repaso manual del interior del árbol para eliminar los chupones**, lo que sin incidir negativamente sobre la producción, permite mejorar las condiciones de iluminación y sanidad dentro de la copa.



Fotografía 20.11: Olivar de la variedad 'Picual' en Palma del Río (Córdoba) con gran volumen de copa en el que se realiza una intervención de poda mecánica empleando una máquina de discos rotativos. En este caso la máquina, montada sobre un tractor de 70 cv, realiza un rebaje de altura de la copa, lo que mejorará la iluminación dentro de la plantación. Evidencias experimentales han demostrado que este método tan drástico no ocasionaa mermas de producción con respecto a la poda manual convencional.

La mayor ventaja de los sistemas de **manejo del olivar con poda mecánica** radican en la facilidad para mantener el volumen de copa dentro del rango deseado, bastando con dar al tractorista la altura y distancia al tronco a las que debe realizar los cortes.

Si comparamos el tipo de trabajo realizado por podadores sin experiencia en el manejo de este tipo de plantaciones y la poda mecánica, probablemente sea esta última opción la que proporcione mejores resultados, tanto en economía de la poda como en producción (**figura 20.15**).

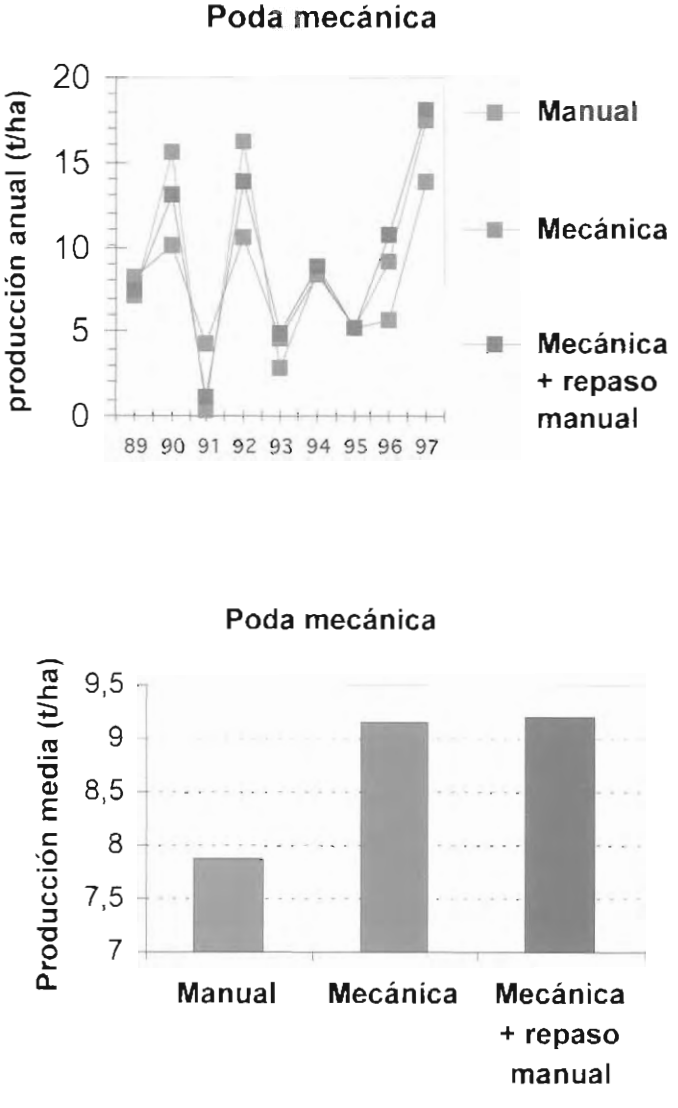


Figura 20.16: Resultados de un ensayo de poda mecánica realizado en Gilena (Sevilla) en un olivar de riego de la variedad 'Manzanilla' durante nueve años. Se compara la poda manual tradicional con fuerte aclareo de ramas finas (tradicional en la zona) con la poda mecánica (con y sin repaso manual de los interiores del árbol). Izquierda, producciones anuales obtenidas en cada sistema de poda; derecha, producciones medias para el periodo 1989 – 1997.

Referencias bibliográficas

Hartmann, H.T., Opitz, K., Hoffmann, R.M. , 1960. Taille des oliviers en Californie. Inform. Oleicoles Internationales, 11: 33-67.

Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V., Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J., 1999. Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 14(3): 393-404.

Pastor, M., Hidalgo, J., Orgaz, F., Moriana, A., Fereres, E., 2002. Riego de olivar: respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. Actas de I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva. Difusión de Resultados de Investigación. Programa de Mejora de la Calidad de la Producción del Aceite de Oliva. 53-61.

Pastor, M., Humanes, J., Vega,V., J. Castro, J., 1998. Diseño y manejo de plantaciones de olivar. Serie Monografías 22/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.

Pastor, M., Humanes, J. ,2000. Poda del olivo. Moderna olivicultura. Ed. Agrícola española, S.A. Madrid. (4ª Edición).

Pérez Rodríguez, J.M., Prieto Losada, M.H., Moñino Espino, M.J., 2004. Determinación del potencial productivo del olivar extremeño. Vida Rural, 182: 40-49.

Prieto, M.H., 2003. Gestión del riego en olivares. Mercacei, 35:304 – 307.



CAPÍTULO 21

PROBLEMÁTICA FITOSANITARIA EN LA OLIVICULTURA DE REGADÍO

José Bejarano Alcázar

Adaptación:
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





1.- INTRODUCCIÓN

2.- LA VERTICILOSIS DEL OLIVO
- 2.1.- Importancia y distribución geográfica
- 2.2.- Síntomas
- 2.3.- Etiología
- 2.4.- Ciclo de patogénesis
- 2.5.- Epidemiología
- 2.6.- Control
- 2.7.- Sanidad en viveros de olivo
- 2.8.- Medidas a adoptar anteriores a la realización de la plantación
  - 2.8.1.- Medidas preventivas
  - 2.8.2.- Medidas a adoptar en suelos infestados
- 2.9.- Medidas a adoptar en plantaciones ya establecidas
  - 2.9.1.- Evitar la dispersión del inóculo
  - 2.9.2.- Erradicar o reducir la densidad de inóculo del hongo en el suelo.
  - 2.9.3.- Reducir la eficacia del inóculo

3.- REPILO
- 3.1.- Importancia de la enfermedad
- 3.2.- Sintomatología
- 3.3.- Etiología y epidemiología
- 3.4.- Control

4.- OTRAS ENFERMEDADES
- 4.1.- Aceitunas jabonosas
- 4.2.- Emplomado
- 4.3. -Tuberculosis
- 4.4. -Podredumbres radiculares

Referencias bibliográficas

1.- INTRODUCCIÓN

El olivar ha constituido tradicionalmente un agrosistema bastante estable, en el que los sistemas de propagación y cultivo extensivos empleados así como la prolongada longevidad de las plantaciones, han propiciado el mantenimiento de un equilibrio biológico entre la planta y las diversas poblaciones de plagas y patógenos asociados, como consecuencia de un largo proceso evolutivo conjunto.

Las **epidemias graves** se producen normalmente cuando este **equilibrio natural**, y por lo tanto la estabilidad del sistema, es **alterado**, bien debido a cambios en las condiciones ambientales o edafológicas prevalentes o bien, desafortunadamente, debido a la actividad humana. Muchos de los cambios que han experimentado los métodos modernos de producción agrícola con el objetivo principal de aumentar la producción para satisfacer las necesidades alimenticias y económicas de la sociedad actual, promueven el uso de tecnologías basadas en incrementar el número de factores productivos y de actividades empleados en las explotaciones, y en fomentar la intensificación de su utilización. Ello provoca en muchos casos una pérdida en la biodiversidad natural y conduce a crear agrosistemas cada vez más simplificados e inestables. La elevada presión de selección que se ejerce sobre los patógenos mejor adaptados a estos ambientes productivos, favorece el potencial destructivo de las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos (Agrios, 2001). De ahí que las principales enfermedades de las plantas cultivadas no hayan podido ser eliminadas completamente a pesar de muchos años de intensas investigaciones, e incluso que con cierta frecuencia se observen enfermedades denominadas re-emergentes, es decir, enfermedades que habían dejado de ocasionar reducciones significativas en el rendimiento pero que, posteriormente, han vuelto a adquirir una importancia cada vez mayor como consecuencia de la confluencia de una serie de factores que las favorecen. Este podría ser el caso de la **Verticilosis del olivo**, un problema al que se prestaba escasa atención hace algunos años, pero que en la actualidad constituye, posiblemente, la enfermedad más grave y amenazadora del olivar en España, especialmente en las **nuevas plantaciones de regadío con sistemas intensivos de cultivo**.

Debemos tener presente que determinadas prácticas agrícolas modernas agravan los problemas fitosanitarios de los cultivos, y que las enfermedades, plagas y flora adventicia predominantes en la agricultura intensiva, no coinciden necesariamente con las que predominan en sistemas de producción extensivos tradicionales, ni actúan con la misma intensidad (Jiménez

Díaz, 1998a). La protección de los cultivos tiene una importancia aún más relevante en la agricultura intensiva, y debemos encontrar formas de equilibrar las necesidades actuales de la producción agraria con la defensa fitosanitaria de las plantas cultivadas. En este sentido, el conocimiento de los factores que influyen en la interacción entre las plantas susceptibles y los organismos nocivos que les afectan, es de fundamental importancia para poder establecer las bases teóricas que permitan modificar convenientemente dichas prácticas, de modo que se promueva el restablecimiento de la biodiversidad y estabilidad propias del agrosistema y la actuación de mecanismos de protección natural que reduzcan el efecto perjudicial de las epidemias mediante la aplicación de prácticas fitosanitarias sostenibles.

El olivo puede sufrir daños o alteraciones en sus procesos fisiológicos normales debido a la acción de diversos agentes. La **fauna entomológica** del olivo incluye alrededor de 160 especies de insectos fitófagos, de las que unas 80 están presentes en España, y al menos 17 especies de ácaros (Arambourg, 1984; 1985; Civantos, 1999; De Andrés, 2001). Dentro de este elevado número de plagas, la mosca (*Bactrocera* (=*Dacus*) *oleae*), el prays (*Prays oleae*) y la cochinilla (*Saissetia oleae*) son las más importantes, aunque con la intensificación del cultivo están apareciendo nuevos problemas o agravándose otros existentes previamente, como el abichado (*Euzophera pinguis*), el glifodes (*Palpita unionalis*) y los gusanos blancos (*Melolontha papposa, Ceramida cobosi*). El lector interesado en ampliar la información sobre la problemática planteada por las plagas en el olivar, puede consultar las excelentes revisiones publicadas sobre este tema por Alvarado (2001), Civantos (1999) y De Andrés (2001). En la **tabla 21.1** se muestran los trartamientos recomendados para combatir estas plagas por el Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar en Andalucía (Orden de 18 de julio de 2002 – BOJA num. 88).

Asimismo, el número de **enfermedades del olivo** conocidas actualmente supera el medio centenar, incluyendo las causadas por hongos, bacterias, virus, fitoplasmas, nematodos, fanerógamas parásitas y agentes abióticos. Sin embargo, sólo 4-6 de estas enfermedades suelen llegar a revestir importancia económica en la actualidad, dependiendo de la localidad, del cultivar utilizado y de las condiciones climatológicas (Jiménez Díaz, 1985a; 1985b; 1985c; Mateo-Sagasta, 1976; Trapero y Blanco, 2001).

En este capítulo vamos a presentar una revisión de las enfermedades que ocasionan los problemas más importantes en la olivicultura de regadío, especialmente la **Verticilosis** (*Verticillium dahliae*) y el **Repilo** (*Spilocaea oleagina*), aunque otras enfermedades como las Aceitunas jabonosas (*Colletotrichum gloeosporioides*), el Emplomado (*Pseudocercospora cladosporioides*), la Tuberculosis (*Pseudomonas savastanoi* pv *savastanoi*) y las Podredumbres radiculares (*Armillaria* spp., *Phytophthora* spp. o *Rosellinia necatrix*), que están adquiriendo una importancia cada vez mayor en la olivicultura intensiva de regadío, también han sido incluidas en este estudio. En la **tabla 21.1** se muestran los tratamientos recomendados por el Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar en Andalucía (Orden de 18 de julio de 2002 – BOJA num. 88) para combatir estas enfermedades.

Tabla 21.1: Materias activas autorizadas en producción integrada de olivar en Andalucía (Orden de 18 de julio de 2002 – BOJA num. 88).

PLAGAS	MATERIA ACTIVA AUTORIZADA
Prais	Generación antófaga: Bacillus thuringiensis, Dimetoato (1), Triclorfon (1)
	Generación carpófaga: Dimetoato , Triclorfon
Mosca	Dimetoato , Triclorfon
Cochinilla de la tizne	Aceite mineral de verano, Carbaril, Fenoxicarb (2), Fosmet, Piriproxifen
Barrenillo	Formotion, Dimetoato
Otiorrinco	Alfacipermetrin (3), Lambdacihalotrin (3)
Abichado (euzófera)	Aceite + fenitrotion + fenvalerato (4)
Glifodes	Carbaril, Dimetoato
Gusanos blancos	Diazinon (5)
Acariosis	Carbaril
Algodoncillo	Dimetoato
Arañuelo	Dimetoato , Malation, Triclorfon
Parlatoria	Aceite mineral de verano, Malation, Metil-pirimifos
Serpeta	Aceite mineral de verano, Malation, Metil-pirimifos
Piojo blanco	Carbaril, Fosmet, Piriproxifen
ENFERMEDADES	**MATERIA ACTIVA AUTORIZADA**
Repilo	Compuestos cúpricos , Compuestos cúpricos + Difenoconazol (6),
	Compuestos cúpricos + Kresoxim (7)
Repilo plomizo	Compuestos cúpricos + Difenoconazol
Escudete	Compuestos cúpricos + Ditiocarbamatos (solo en verano)
Aceituna jabonosa	Compuestos cúpricos + Ditiocarbamatos
Verticilosis	Solarización + Metam sodio (8)
Tuberculosis	Compuestos cúpricos
Negrilla	Compuestos cúpricos + cal, Azufre
Nematodo de las agallas	Solarización + Dicloropropeno (8)

(1) Solamente si se produce un ataque muy fuerte; aplicándose en este caso el producto con un 10% de flores abiertas.
(2) No utilizar en zonas próximas a focos de barrenillo.
(3) Aplicados al suelo alrededor del tronco.
(4) Aplicar solo al tronco y ramas principales
(5) Solo en rodales al suelo.
(6) Solo en primaveras lluviosas.
(7) En olivar de aceituna de mesa hasta floración.
(8) Solo en las marras de árboles afectados.

2.- LA VERTICILOSIS DEL OLIVO

2.1.- Importancia y distribución geográfica

Las Verticilosis o marchiteces vasculares constituyen uno de los grupos de enfermedades de las plantas más importantes y destructivas en la mayoría de las zonas de clima templado de todo el mundo, aunque también han sido descritas en áreas tropicales y subtropicales (Snyder y Smith, 1981).

La Verticilosis del olivo fue diagnosticada por primera vez en Italia en 1946 (Ruggieri, 1946) y, posteriormente, ha sido descrita en la mayoría de los países productores con relevancia en el sector oleícola, incluyendo Argelia (Bellahcene , 2000), Australia (Morschel, 1961), Chipre (Papasolomontos, 1969), EE. UU. (Snyder , 1950), Francia (Vigouroux, 1972), Grecia (Sarejanni , 1952), Israel (Levin , 2003), Marruecos (Serrhini y Zeroual, 1995), Siria (Al-Ahmad y Mosli, 1993), Turquia (Saydam y Copcu, 1972), y otros países del área mediterránea, en muchos de los cuales está considerada la enfermedad más grave del cultivo, por su extensa distribución geográfica, la importancia económica de los daños que ocasiona y las dificultades que presenta su control (Jiménez Díaz , 1998).

La primera identificación de la Verticilosis en plantaciones de olivar en España ocurrió en 1975. Prospecciones fitopatológicas realizadas en Andalucía en los años 1981 y 1983 en un total de 100 campos de olivar elegidos al azar, mostraron la presencia de la enfermedad en el 25% de los olivares inspeccionados, con incidencias medias de olivos enfermos inferiores al 10%, aunque también se observaron plantaciones individuales con incidencias próximas al 100% de árboles afectados (Blanco López , 1984). Desde entonces no se han llevado a cabo nuevas prospecciones sistemáticas en relación con la Verticilosis del olivo; sin embargo, la información que tenemos disponible actualmente en base a los estudios que estamos desarrollando en el marco de diversos Proyectos de investigación, a la colaboración que mantenemos con el sector del olivar (cooperativas, APIs, ATRIAs) y a las consultas que son atendidas en nuestro laboratorio, indica de forma consistente la extensión de la enfermedad a la mayoría de las áreas de cultivo del olivo en Andalucía, y un aumento progresivo en la incidencia, severidad e importancia económica de sus ataques (Bejarano Alcázar, datos no publicados), así como su presencia en otras Comunidades Autónomas (Armengol Fortí y García Jiménez, comunicación personal; Jiménez Díaz, 1998b). Ello se ha visto apoyado por los resultados obtenidos en prospecciones realizadas en el periodo 1994-1996 para determinar los agentes asociados con el síndrome de desecación y muerte de olivos jóvenes en Andalucía, en las que, a pesar de seleccionar para el estudio campos en los que se había descartado previamente la Verticilosis como causa de la marchitez observada, se detectó la enfermedad en el 36% de los campos muestreados (Sánchez Hernández , 1998).



Fotografía 21.1: Necrosis de inflorescencias en un olivo afectado de decaimiento lento (*Verticillium dahliae*). Arriba, sintomatología observada pocos días después de manifestarse la enfermedad; abajo, tres semanas después, obsérvense las inflorescencias ya momificadas.

Los mecanismos en los que se fundamenta este incremento en la gravedad de la enfermedad no están bien establecidos, pero podría ser una consecuencia, principalmente, de los siguientes factores:

-El establecimiento de viveros o de nuevas plantaciones de olivar en suelos infestados.

- La posible utilización de material de propagación infectado.
- La mayor severidad de los ataques de Verticilosis en olivos jóvenes.
- La elevada susceptibilidad que presentan los cultivares de olivo de mayor difusión en las principales áreas de cultivo, como 'Picual' y 'Arbequina', frente a la Verticilosis.
- El incremento de la superficie de olivar en regadío con sistemas intensivos de cultivo que favorecen en gran medida el desarrollo de la enfermedad.
- La rápida dispersión de aislados del patógeno extremadamente virulentos a través de las principales zonas de cultivo en Andalucía.

En los siguientes apartados profundizaremos en la influencia de cada uno de estos factores sobre el desarrollo de las epidemias de Verticilosis en el olivar.

2.2.- Síntomas

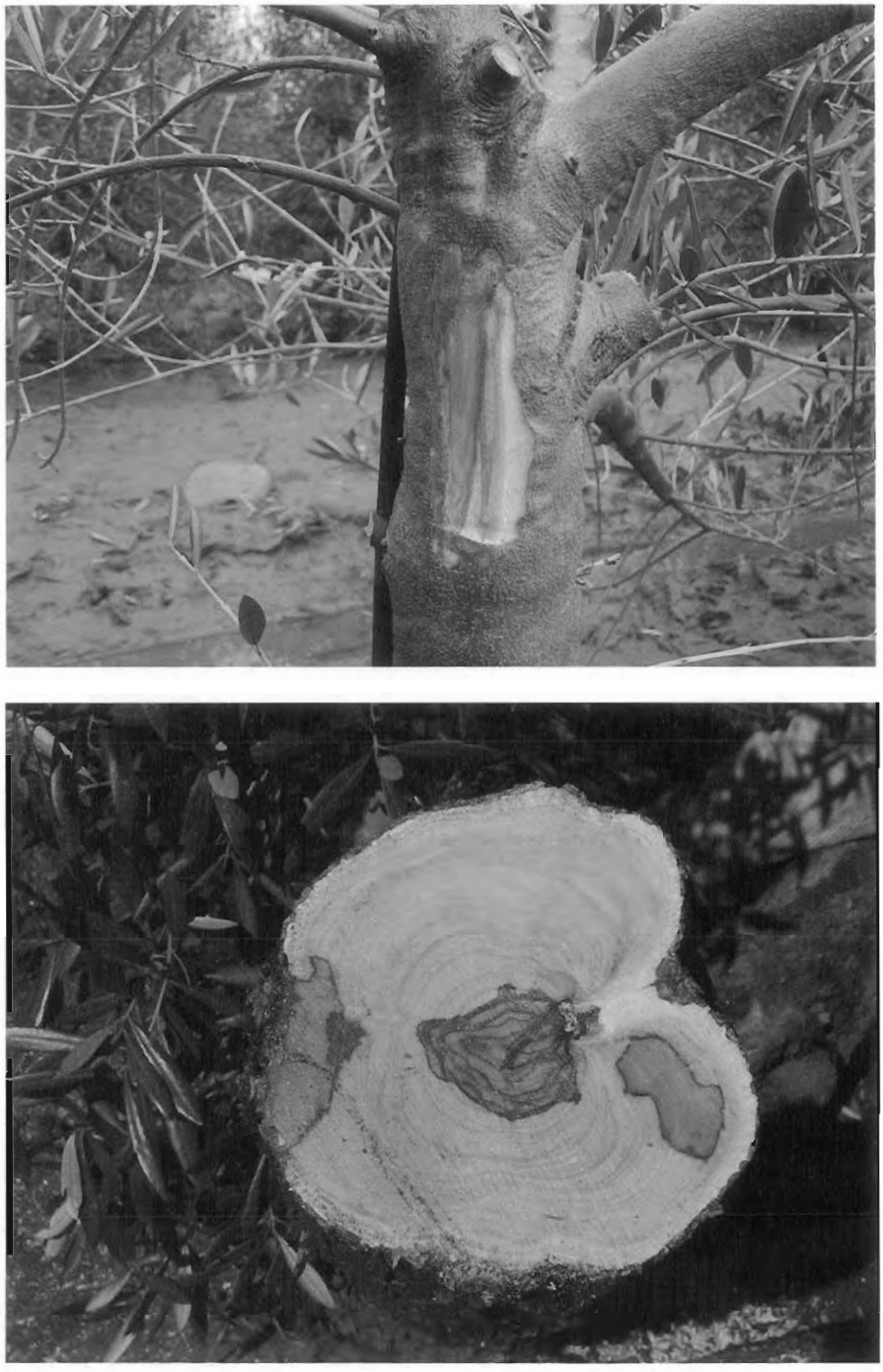
En plantas leñosas como es el caso del olivo, los diversos síntomas asociados comúnmente con la **Verticilosis** pueden no estar todos presentes al mismo tiempo, y suelen ser inespecíficos, difíciles de distinguir de los síntomas ocasionados por otras enfermedades, por ataques de insectos como *E. pingüis*, o simplemente por condiciones edafológicas desfavorables tales como el encharcamiento prolongado del suelo (Sánchez Hernández , 1998). Por ello, y teniendo en cuenta que el diagnóstico fiable de la enfermedad es necesario para justificar el coste derivado de la aplicación de medidas de lucha, se debe proceder a la identificación del patógeno en el laboratorio basada en su aislamiento a partir de muestras de tejidos vegetales tomadas de las plantas afectadas o en la utilización de técnicas de detección molecular (Mercado-Blanco *y col.* , 2003).

Dos síndromes o complejos sintomatológicos de la enfermedad, denominados **Decaimiento lento** (forma crónica) y **Apoplejía** (forma aguda), han sido descritos en España y en otros países (Jiménez Díaz, 1998b). Estos dos síndromes son claramente distinguibles entre sí tanto por los síntomas que comprenden como por la secuencia temporal con la que se manifiestan, aunque a veces pueden coincidir sobre un mismo árbol. El **Decaimiento lento** aparece generalmente en primavera y se desarrolla gradualmente hasta principios del verano. Un síntoma típico consiste en la necrosis y momificado de las inflorescencias, cuyas flores suelen persistir en el árbol al contrario de lo que ocurre con las hojas de los brotes afectados que se desprenden y caen al suelo, excepto las situadas en el extremo de las ramas que, normalmente, se mantienen adheridas. La **Apoplejía** suele manifestarse durante el otoño o el invierno, y se caracteriza por la marchitez y muerte rápidas de ramas





Fotografía 21.2: Foto superior, olivo afectado por *Verticillium dahliae* que muestra apoplejía en fase inicial. Abajo, olivo afectado de apoplejía en fase final. El diagnóstico de campo fue confirmado posteriormente en laboratorio.



Fotografía 20.3: Coloración castaño-oscura de los tejidos vasculares en olivo afectado por verticilosis (*Verticillium dahliae*),arriba en árboles de tres años de edad, y abajo en árboles adultos. La marchitez de ramas o incluso de la totalidad del árbol, está causada por una reducción en el flujo ascendente del agua que constituye un síndrome muy característico de este tipo de enfermedad. Se debe, por un lado, al efecto tóxico de metabolitos producidos por el hongo, y por otro a la acumulación en los tejidos vasculares de estructuras del hongo y de materiales producidos por el huésped, en este caso el olivo, procesos combinados que conducen al déficit hídrico y posterior marchitamiento de la planta.

secundarias o principales, que pueden afectar a sectores más o menos amplios del árbol e incluso a la planta completa. Las hojas quedan generalmente adheridas a las ramas, adquieren paulatinamente una coloración castaño-clara y se pliegan longitudinalmente hacia el envés. Ocasionalmente, la corteza de las ramas afectadas presenta un color morado y los tejidos vasculares muestran una típica coloración castaño-oscura. Sin embargo, el patógeno puede ser aislado de tejidos que no presentan dicha coloración y las heridas pueden ocasionar una coloración similar, por lo que este síntoma no es un indicador fiable de la infección de la planta.

Los síntomas pueden aparecer incluso en el segundo año de la plantación. El efecto negativo de la enfermedad sobre la producción depende de la gravedad de los síntomas y de la época del año en que éstos se manifiestan. En caso de ataques severos, los frutos formados suelen ser de un tamaño inferior al normal, tanto más pequeños cuanto más temprano es el momento en el que se manifestaron los síntomas, y pueden presentar un aspecto momificado, observándose a veces una secreción aceitosa en la superficie exterior del fruto.

2.3.- Etiología

La Verticilosis del olivo es inducida por el hongo Hifomiceto ***Verticillium dahliae***, un patógeno de suelo que presenta una distribución geográfica muy amplia, y ha sido identificado en diversos países de África, América, Asia, Europa y Oceanía. Este hongo sólo se propaga asexualmente por medio de **conidias**, unas esporas hialinas ovaladas que son generalmente unicelulares, y también produce unos propágulos llamados **esclerocios**, de color oscuro y de un tamaño muy pequeño, entre 40 y 150 µ, compuestos por agregados de células que varían en tamaño, espesor de la pared celular y grado de pigmentación. Los esclerocios constituyen las principales estructuras de supervivencia del hongo en el suelo, ya que son capaces de persistir en diferentes tipos de suelos durante períodos de 13-15 años, incluso en ausencia de plantas susceptibles (Schreiber y Green, 1962).

V. dahliae es un hongo polífago y tiene una gama de plantas huéspedes extremadamente amplia, que comprende más de 400 especies vegetales pertenecientes en su inmensa mayoría a la clase dicotiledóneas. Entre las especies susceptibles se encuentran plantas herbáceas y leñosas, incluyendo especies agrícolas cultivadas, silvestres, ornamentales y de jardín, forestales y de sombra (Bell, 1992; Engelhard, 1957; Evans, 1971; Rodríguez-Morcillo , 2002). Actualmente, en España se están observando epidemias graves de Verticilosis en cultivos de algodonero y olivo en Andalucía (Bejarano-Alcázar , 1996; Blanco López , 1984) y en cultivos de alcachofa en la Comunidad Valenciana (Giménez-Jaime , 2002).

La mayoría de los aislados que componen las poblaciones de *V. dahliae* presentes en el suelo no suelen presentar especialización patogénica sobre una planta huésped en particu-

lar, y son capaces de causar enfermedad sobre un amplio número de especies vegetales. Así, se ha demostrado frecuentemente que los aislados de plantas herbáceas pueden atacar también plantas leñosas. No obstante, a pesar de esta patogenicidad inespecífica, también está consistentemente demostrado que entre los aislados del patógeno existe una gran variabilidad en cuanto a la virulencia o cantidad de enfermedad que son capaces de inducir tanto sobre una especie huésped determinada como sobre variedades dentro de una misma especie. En el caso de los aislados de *V. dahliae* que infectan plantaciones de algodonero y olivar en Andalucía, nuestras investigaciones (Bejarano-Alcázar *y col.*, 1996) han demostrado que se diferencian fundamentalmente en dos grandes grupos o patotipos denominados **defoliante**, que es altamente virulento, y **no defoliante**, de virulencia moderada sobre estos dos cultivos.

Hasta hace relativamente pocos años, los ataques de Verticilosis en algodonero y olivar en Andalucía eran causados principalmente por aislados pertenecientes al patotipo no defoliante, que era el predominante en esta Comunidad Autónoma. Sin embargo, los aislados del patotipo defoliante son mucho más agresivos y se han dispersado rápidamente desde la zona de Marismas (Sevilla), donde fueron detectados inicialmente a principios de la década de los 80 y en la que permanecieron restringidos hasta 1985, a las principales áreas dedicadas a estos cultivos en Andalucía donde están desplazando progresivamente a los aislados no defoliantes (Bejarano-Alcázar y Pérez-Artés, 2002). Recientemente, en inspecciones realizadas en las provincias de Córdoba, Jaén y Sevilla, hemos detectado numerosos campos con olivos jóvenes y adultos de las variedades 'Picual' y 'Arbequina' severamente infectados por el patotipo defoliante (Bejarano-Alcázar, datos no publicados). La presencia de estos aislados altamente virulentos en las zonas tradicionales de cultivo de olivar posiblemente es uno de los factores que explica en gran medida los graves ataques que estamos detectando últimamente en el olivar andaluz.

2.4.- Ciclo de patogénesis

Normalmente, la invasión de las plantas es ocasionada por los propágulos de *V. dahliae* presentes en los suelos infestados, aunque en el caso del olivo es posible que la enfermedad se inicie en el campo a partir de plantones infectados asintomáticos utilizados para la plantación, y no se puede excluir tampoco la posibilidad de que se pueda producir la infección del sistema radicular de plantas sanas por el contacto con las raíces de plantas infectadas.

V. dahliae está considerado como un hongo invasor del suelo más que como un habitante del mismo, debido a su escasa capacidad de crecer saprofíticamente a través del suelo. Los esclerocios, que son los propágulos que generalmente inician la infección, se encuentran en el suelo libres o embebidos en restos de tejidos infectados de plantas huéspedes, y están concentrados principalmente en la capa arable del suelo, en los primeros 20-40 cm. Los esclerocios permanecen en estado de latencia hasta que su germinación es estimulada por los exudados

radiculares, y emiten hifas infectivas que penetran en el interior de las raíces de las plantas, bien directamente o bien a través de heridas de cualquier índole, como podrían ser las causadas por las labores propias del cultivo.

Tras la penetración de una planta susceptible, *V. dahliae* avanza hasta alcanzar los haces del xilema en el sistema vascular, desde donde coloniza sistémicamente la planta mediante el crecimiento de hifas vegetativas y, principalmente, la producción de grandes cantidades de conidias que se traslocan con el flujo de la savia, llegando a alcanzar las zonas superiores de la planta en períodos de tiempo que pueden ser muy breves, de tan sólo algunos días. Los patógenos vasculares como *V. dahliae* pueden ocasionar el mal funcionamiento del sistema vascular. La marchitez, que constituye el síndrome más característico de este tipo de enfermedades, se debe por un lado al efecto tóxico de metabolitos producidos por el hongo, y por otro lado a la acumulación en los tejidos vasculares de estructuras del hongo y de materiales producidos por el huésped, tales como gomas y tilosas, que conducen a una reducción en el flujo ascendente del agua a través de los haces vasculares y, por consiguiente, al déficit hídrico en la planta. Los mecanismos defensivos de la planta incluyen el bloqueo mecánico de los vasos invadidos para limitar el avance del patógeno y la producción de metabolitos secundarios tales como polifenoles y fitoalexinas.

Durante su fase parasítica, *V. dahliae* permanece confinado al interior del sistema vascular de las plantas y las únicas estructuras fúngicas presentes consisten en hifas y conidias. A medida que los tejidos de las plantas infectadas comienzan a entrar en senescencia y mueren, ya sea como consecuencia de la enfermedad o porque se completa el ciclo de cultivo, el patógeno inicia su fase saprofítica, crece desde los anillos del xilema hacia la corteza y comienza a producir nuevos esclerocios. Cuando los tejidos infectados se descomponen en el suelo, los esclerocios se liberan y quedan acumulados junto a aquellos existentes previamente, aumentando de este modo el potencial de inóculo del patógeno para causar enfermedad en los subsiguientes ciclos de infección. En el caso particular del olivo está bien documentado que, en condiciones ambientales adecuadas, se pueden producir abundantes esclerocios en las hojas caídas al suelo (Rodríguez Jurado , 2002; Tjamos y Tsougriani, 1990).

El suelo infestado y los restos vegetales infectados constituyen, por consiguiente, las fuentes principales de inóculo primario de *V. dahliae* para el desarrollo de las epidemias de Verticilosis. La dispersión posterior del inóculo contenido en dichos sustratos a cortas o grandes distancias de los focos iniciales puede ser realizada mediante la intervención de múltiples agentes como los vehículos, aperos y maquinaria utilizados en las prácticas de cultivo, el agua de riego o de escorrentía y el viento. Este proceso de multiplicación y dispersión del inóculo se ve favorecido por la amplia gama de plantas susceptibles a *V. dahliae*, que le permite incrementar sus poblaciones en el suelo incluso en ausencia del huésped cultivado principal, y es muy importante en relación con la epidemiología y control de la enfermedad.

2.5.- Epidemiología

La gravedad de las epidemias de Verticilosis en plantaciones de olivar es una función del nivel y distribución espacial del inóculo de *V. dahliae* en el suelo, del tiempo de interacción entre la planta y el patógeno, y de la capacidad o eficacia de dicho inóculo para causar enfermedad. Normalmente, en los cultivos leñosos el tiempo durante el cual la planta y el patógeno interaccionan no es una variable manipulable. La eficacia del inóculo depende de factores del patógeno (virulencia de los patotipos predominantes), de la planta (nivel de susceptibilidad varietal, edad de la planta, estado de nutrición, etc.) y del ambiente (condiciones ambientales, humedad del suelo, prácticas de cultivo, etc.).

La **densidad de inóculo** de *V. dahliae* en el suelo es uno de los principales factores que determinan la cantidad de enfermedad que se produce en un cultivo susceptible. La densidad de inóculo es una medida de la cantidad de propágulos del patógeno presentes en cada unidad de peso de un suelo dado, y se suele expresar como el número de propágulos viables de *V. dahliae* por gramo de suelo (ppg). En los cultivos herbáceos anuales, el hongo tiene un único ciclo de patogénesis durante el ciclo de cultivo del huésped, y los esclerocios que se producen en los tejidos senescentes de las plantas infectadas normalmente no participan en ocasionar nuevas infecciones en la misma estación de cultivo, por lo que toda la enfermedad que se desarrolla durante el cultivo proviene del inóculo inicialmente presente en el suelo en el momento de la siembra. Esto ha motivado que la relación entre la densidad de inóculo inicial y la incidencia y severidad de la Verticilosis haya sido investigada ampliamente en cultivos como la patata y el algodonero, con el objetivo, en último término, de establecer sistemas predictivos del riesgo de enfermedad y de las pérdidas de producción asociadas (Bejarano-Alcázar , 1995; 1997; Nicot y Rouse, 1987; Pullman y DeVay, 1982). Sin embargo, las relaciones dosis-respuesta observadas en este tipo de estudios presentan generalmente una gran variabilidad que hace que sean de escasa utilidad a efectos predictivos, debido a la elevada influencia que ejercen múltiples factores sobre el progreso de la enfermedad, tales como la susceptibilidad de los cultivares, las condiciones ambientales y del suelo, y la virulencia de los patotipos prevalentes en el suelo. Así, en el caso de la Verticilosis del algodonero, nuestras investigaciones en Andalucía indican que son suficientes 6-8 ppg del patotipo defoliante para originar incidencias de plantas enfermas próximas al 100% en cultivares susceptibles, frente a 35-40 ppg del patotipo no defoliante que son necesarios para causar una cantidad de enfermedad similar (Bejarano-Alcázar , 1995).

En cultivos leñosos como el olivo, dicha relación entre densidad y virulencia del inóculo en el suelo y el desarrollo de enfermedad no está bien estudiada, y posiblemente no sea tan directa ni tenga la misma relevancia epidemiológica como en los cultivos anuales. Ello se debe, por una parte, a que al inóculo existente en el suelo en el momento en el que se establece la plantación hay que añadir el que se va generando de forma más o menos continuada a lo largo de los años en las hojas y otros materiales vegetales infectados que caen al suelo; y por otra

parte a que la enfermedad se origina tanto por las nuevas infecciones que son causadas por el inóculo presente en el suelo como por las infecciones que son inducidas por el inóculo previamente establecido en las raíces de las plantas. En cualquier caso, el conocimiento de la densidad de inóculo de *V. dahliae* en el suelo de plantaciones de olivar, es una información de indudable interés para la estimación de los niveles aproximados de riesgo y para el diseño de estrategias de lucha eficaces contra la enfermedad.

La resistencia a la Verticilosis depende de la constitución genética de los cultivares de olivo y de la edad de la planta. Los cultivares de olivo más utilizados comercialmente son extremadamente susceptibles al patotipo defoliante y susceptibles al no defoliante, aunque existe una amplia variabilidad en la tolerancia a la enfermedad que puede contribuir a reducir la incidencia y severidad de las infecciones (López-Escudero , 2004). Por otra parte, aunque los ataques de Verticilosis pueden llegar a ser graves en olivos adultos e incluso en olivos centenarios, diversas observaciones indican una mayor severidad de los ataques en olivos jóvenes, menores de 10 años (Al-Ahmad y Mosli, 1993; Serrhini y Zeroual, 1995).

La temperatura es la variable ambiental que desempeña un papel más importante en el desarrollo de la Verticilosis. La severidad de las infecciones se ve favorecida por temperaturas bajas o moderadas en el aire, entre 21 – 25 °C, mientras que temperaturas superiores a los 30°C pueden inhibir la expresión de los síntomas de la enfermedad (Bell, 1992; Wilhelm y Taylor, 1965). Las temperaturas medias predominantes en Andalucía durante los meses de julio y agosto suelen ser restrictivas para la manifestación de los síntomas de Verticilosis, y es relativamente frecuente observar cierta recuperación de las plantas enfermas tras períodos de temperaturas elevadas. Consiguientemente, los períodos críticos para el desarrollo de síntomas son el otoño y los meses comprendidos entre el final de invierno y principios de primavera.

Las condiciones de **humedad del suelo** constituyen uno de los factores más influyentes sobre la Verticilosis del olivo. La mayor incidencia de la Verticilosis en olivares de regadío que en los de secano ha sido puesta de manifiesto tanto en olivares intensivos como en olivares extensivos tradicionales (Al-Ahmad y Mosli, 1993; Blanco-López , 1984; Cirulli, 1981; Serrhini y Zeroual, 1995). Ello se debe, principalmente, a que el riego tiene un efecto favorable sobre la supervivencia, germinación y multiplicación de los propágulos de *V. dahliae* presentes en el suelo (López-Escudero y Blanco-López, 2000); ayuda a mantener temperaturas adecuadas para la infección y el subsiguiente desarrollo de enfermedad; y promueve un aumento en la densidad de raíces que crecen en las zonas superiores del suelo, en las que el nivel de inóculo del patógeno es más elevado.

2.6.- Control

La Verticilosis del olivo, al igual que sucede con otras marchiteces vasculares, pertenece a uno de los grupos de enfermedades más difíciles de combatir. La compleja situación que deri-

va de:

- La variabilidad patogénica de las poblaciones de *V. dahliae*.
- La elevada virulencia de los aislados pertenecientes al patotipo defoliante.
- La existencia de elevadas densidades de inóculo en el suelo.
- La prolongada capacidad de supervivencia de los propágulos del hongo.
- La amplia gama de plantas huéspedes de *V. dahliae*.
- La prolongada exposición de los árboles al inóculo del patógeno en el suelo.
- El volumen relativamente grande de suelo infestado que es explorado por la planta.
- La localización del hongo en el interior de las plantas infectadas durante su fase parasítica que lo hace inaccesible a determinados tratamientos químicos y biológicos.

lleva a que se produzcan ataques graves incluso con densidades de inóculo muy bajas, que probablemente serían insuficientes para causar niveles significativos de enfermedad en cultivos herbáceos anuales, y explica sobradamente las dificultades que presenta su control.

Por ello, está plenamente justificado que la lucha contra la Verticilosis del olivo se plantee en términos de **manejo** de la enfermedad en lugar del tradicional concepto de **control**, término que generalmente se aplica a acciones dirigidas a obtener plantas sanas mediante la reducción drástica de los niveles de las poblaciones de un patógeno en un periodo de tiempo lo más corto posible. Por el contrario, el manejo se asocia con la aplicación de un conjunto de medidas que tratan de mantener la población del patógeno o la enfermedad inducida por debajo de los umbrales aceptables establecidos, con una programación continuada y a más largo plazo, y buscando una mayor persistencia de los efectos beneficiosos, por lo que normalmente es más fácil y económico de conseguir en enfermedades como la Verticilosis del olivo y presenta un menor coste medioambiental.

Actualmente no existen medidas individuales de control de la Verticilosis del olivo que sean de elevada eficacia en todas las situaciones posibles. Sin embargo, el número de medidas de lucha disponibles ha aumentado en los últimos años como consecuencia de la aplicación de la biotecnología vegetal y microbiana (detección molecular, agentes de control biológico más eficientes, plásticos impermeables VIF, etc.). La combinación de estas medidas en sistemas de lucha integrada respetuosos con las exigencias de una agricultura sostenible, basados en la optimización del uso del medio productivo (suelo, agua, radiación solar) y no en un aumento en la aportación de factores externos de producción (fertilizantes, plaguicidas, fungicidas, etc), puede llegar a proporcionar un control suficiente de la enfermedad en muchas de las situaciones.

Las medidas de lucha utilizadas en los programas de manejo integrado de la Verticilosis del olivo se encuentran comprendidas dentro de cuatro principios o estrategias básicas de control:

1) **Exclusión**: medidas que impiden o limitan la llegada del patógeno al campo y su posterior distribución y establecimiento dentro del mismo.
2) **Erradicación**: acciones dirigidas a eliminar o reducir la densidad de inóculo del hongo en el suelo o en la planta.
3) **Protección**: medidas aplicadas para defender las plantas huéspedes de la infección, mediante el establecimiento de barreras químicas, físicas o de escape entre el patógeno y la planta susceptible, y la utilización de prácticas de cultivo que mejoren el crecimiento y vigor de las plantas, aumentando de este modo su resistencia a la enfermedad.
4) **Inmunización**: desarrollo de variedades resistentes o tolerantes a la infección.

Las medidas de lucha concretas incluidas dentro de cada principio pueden ser aplicadas bien en las diferentes etapas de obtención del material de propagación que son llevadas a cabo en los viveros de olivo, o bien en las explotaciones de olivar, ya sea anterior o posteriormente a la plantación.

2.7.- Sanidad en viveros de olivo

El empleo de material de propagación infectado adquiere especial importancia en plantas leñosas como el olivar, que normalmente son propagadas vegetativamente en viveros especializados. Muchos de los viveros de olivo han sido establecidos en suelos agrícolas que previamente habían estado cultivados con huéspedes susceptibles a la Verticilosis, y podrían estar potencialmente infestados por *V. dahliae*.

Así, en Grecia se ha demostrado la dispersión de *V. dahliae* a plantaciones de olivar a través de plantones infectados de vivero (Thanassoulopoulos, 1993) y, recientemente, en Andalucía ha sido detectada la presencia en viveros de olivo de diversas especies de nematodos endoparásitos de elevado riesgo potencial, incluyendo *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. (Nico , 2002). Estos resultados evidencian la capacidad del material de propagación de actuar como fuente de inóculo y agente de dispersión de diversos organismos fitopatógenos, y sugieren que los viveros de olivo infestados podrían representar un grave riesgo para la difusión de enfermedades importantes como la Verticilosis a grandes áreas de cultivo, si no se adoptan las medidas sanitarias necesarias durante el proceso de multiplicación.

Por ello, una de las acciones tecnológicas más necesarias en la olivicultura moderna consiste en la elaboración y aplicación de programas adecuados de **control y certificación fitosanitaria de viveros de olivo**. La importancia de la obtención de plantas de olivo libres de enfermedades y de su utilización en las nuevas plantaciones, ha sido recogida ampliamente en la normativa relativa a la certificación de plantas de vivero de olivo vigente actualmente en España (RD 1678/1999, BOE Nº 276) y en el Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar elaborado en Andalucía (Orden del 18/7/2002, BOJA Nº 88). Sin

embargo, el cumplimiento de estas normativas precisa de la disponibilidad de protocolos de muestreo, análisis e identificación de los organismos nocivos a excluir que sean adecuados, precisos, y suficientemente sensibles.

Por otra parte, también es necesario poner a disposición de los viveristas medidas eficientes de lucha que sean compatibles con los sistemas habituales de producción empleados en cada zona, aplicables técnica y económicamente, y seguras desde el punto de vista de protección del medio ambiente.

En este sentido, uno de los **métodos de desinfestación física de suelos y sustratos** cuya eficacia hemos estudiado en mayor profundidad en diferentes ambientes productivos, es la **solarización** o pasteurización solar como también ha sido denominada (Melero-Vara , 1995). La solarización es un proceso hidrotérmico pasivo en el que se transmite energía calorífica al suelo húmedo cubriéndolo con una lámina de plástico transparente. Ello ocasiona un efecto invernadero en la capa superficial del suelo, de forma que el calor que se produce a expensas de la radiación visible queda retenido y, en condiciones adecuadas, se eleva la temperatura a valores entre 45-60ºC según las características del suelo, del plástico y del clima. Los patógenos de suelo suelen ser especialmente sensibles a estos aumentos de temperatura y mueren o, en el caso de que sólo se alcancen temperaturas subletales, quedan al menos debilitados, presentando una inferior longevidad, tasa de crecimiento y capacidad infectiva.

Los resultados de nuestras investigaciones indican que, en las condiciones ambientales imperantes en Andalucía durante los meses de julio y agosto, la solarización de sustratos de uso viverístico dispuestos en montículos de 80 cm de altura puede determinar reducciones comprendidas entre el 99 y el 100% de la densidad de esclerocios viables de aislados defoliantes altamente virulentos de *V. dahliae*, al cabo de 8 días de exposición al tratamiento, tanto a 20 como a 40 cm de profundidad y con independencia de la localización del inóculo en zonas situadas próximas a la superficie exterior del montículo o en el interior del mismo (Bejarano-Alcázar, datos no publicados). No obstante, debemos resaltar que la eficacia y seguridad proporcionadas por la solarización para la erradicación del inóculo de *V. dahliae*, serán lógicamente tanto mayores cuanto más prolongado sea el periodo de aplicación del tratamiento. Por ello, para asegurar la eliminación en la mayor extensión posible del inóculo del hongo situado en las capas más profundas, en las que las temperaturas alcanzadas son menores, es recomendable mantener el plástico colocado durante un tiempo mínimo de 6-8 semanas.

2.8.- Medidas a adoptar antes de la realización de la plantación

2.8.1. - Medidas preventivas

Evidentemente, las **medidas preventivas** de exclusión deben de ocupar siempre un **lugar preferente** en cualquier estrategia de lucha, ya que son las más eficaces y económicas de apli-



Fotografía 21.4: La solarización de sustratos viverísticos dispuestos en montículos de 80 cm de altura puede determinar reducciones entre el 99 y 100 % de la densidad de esclerocios viables de aislados altamente virulentos de *Verticillium dahliae*.

car. En este sentido, la utilización de **material de plantación** certificado **libre de inóculo de *V. dahliae***, producido en viveros que mantengan unas condiciones fitosanitarias adecuadas, constituye, como acabamos de explicar, la primera medida de que dispone el agricultor para evitar la introducción de organismos nocivos en su plantación.

Esta medida debe ir acompañada, lógicamente, de la elección de suelos adecuados para el establecimiento de nuevas plantaciones de olivar, elección que debe estar basada no sólo en la conveniencia de sus características agronómicas y de fertilidad, sino también en su apropiado estado sanitario. La plantación de olivos en suelos infestados por *V. dahliae* es particularmente peligrosa debido a la mayor susceptibilidad que presentan los olivos jóvenes a la Verticilosis, a que el olivo es una planta perenne con un periodo de cultivo muy prolongado, y al hecho de que densidades de inóculo inicialmente bajas del patógeno en el suelo son potencialmente capaces de generar graves epidemias en los años siguientes. La elección de **suelos libres de inóculo** de *V. dahliae* se puede basar en el conocimiento de la historia del campo en cuestión, evitando en lo posible aquellas parcelas con antecedentes de ataques de Verticilosis en años anteriores, o que han sido cultivadas previamente con plantas muy susceptibles a la enfermedad como algodonero, berenjena, garbanzo, lino, sandía, y en general, plantas hortícolas. Otra

posibilidad es la **estimación de la densidad de inóculo del hongo en el suelo**, mediante el análisis microbiológico de muestras de suelo tomadas en la parcela siguiendo métodos adecuados de muestreo, realizado en laboratorios acreditados que dispongan de la tecnología necesaria.

2.8.2.- Medidas a adoptar en suelos infestados

La plantación de olivares en suelos infestados conlleva un riesgo para el futuro del cultivo que debe ser evitado siempre que sea posible. No obstante, si nos vemos obligados a utilizar este tipo de suelos, debemos aplicar en los años previos a la plantación **medidas de lucha dirigidas a eliminar o reducir los niveles de las poblaciones de *V. dahliae* en el suelo**. La eficacia de las medidas aplicadas dependerá, entre otros factores, del grado inicial de infestación del suelo.

En muchos casos se ha conseguido un excelente control, no sólo de las Verticilosis sino también de otras enfermedades causadas por diversos patógenos de suelo, mediante la **desinfestación del terreno** con **productos fumigantes** como cloropicrina, metam-potasio, metam-sodio y otros compuestos químicos de acción similar. Sin embargo, debido al elevado coste que tiene la aplicación de estos productos, su uso suele estar limitado a cultivos intensivos de alto valor económico y a situaciones de elevada infestación por patógenos muy virulentos cuando no existen otros medios de lucha disponibles. Por otra parte, también han sido descritos inconvenientes importantes derivados de su empleo, tales como la producción de un vacío biológico en el suelo debido que actúan como biocidas generales provocando la destrucción indiscriminada de todas las poblaciones microbianas existentes, incluyendo las de posibles antagonistas beneficiosos, lo que implica la posibilidad de una intensa recolonización posterior del suelo por organismos indeseables. En cualquier caso, la utilización de los fumigantes de suelo, especialmente del bromuro de metilo, está siendo cada vez más cuestionada socialmente por los efectos indeseables que ocasionan sobre la salud humana y el medio ambiente (Subbarao, 2002).

La **desinfestación térmica del suelo** por medio de la solarización, que ya ha sido comentada en sus aspectos generales al hablar del control fitosanitario en viveros de olivo, constituye una alternativa apropiada a la fumigación química para la erradicación del inóculo de numerosos patógenos vegetales en suelos desnudos previamente a la siembra o plantación de cultivos susceptibles como el olivo. En este tipo de aplicaciones extensivas de la técnica, es muy importante que el suelo esté libre de restos vegetales y que haya sido allanado y nivelado con labores previas, para conseguir el mayor contacto posible entre el plástico y el suelo, evitando la formación de bolsas de aire. Los experimentos que hemos realizado en Andalucía en suelos infestados naturalmente por el patotipo defoliante de *V. dahliae*, han demostrado que la solarización aplicada desde principios de julio durante un periodo de 6-10 semanas es capaz de reducir la cantidad de inóculo viable del patógeno en la capa arable del suelo a niveles no detectables o muy bajos (Melero-Vara , 1995).

El control de *V. dahliae* también puede ser conseguido de forma no contaminante mediante la **adición al suelo de determinadas enmiendas orgánicas e inorgánicas**, muchas de las cuales han sido utilizadas de forma tradicional en la agricultura intensiva para mejorar la fertilidad del suelo. Entre las enmiendas que han sido estudiadas con la finalidad de controlar las Verticilosis se incluyen (Lazarovits , 2000): fertilizantes nitrogenados (nitrato y sulfato amónico); enmiendas con alto contenido en nitrógeno orgánico (harina de pescado, harina de soja); abonado en verde con tejidos frescos de diversas especies vegetales (alfalfa, brócoli, guisante, pasto del Sudán, trébol); enmiendas celulósicas con productos de alta relación C/N (polvo de coníferas, residuos secos de plantas como paja de avena, cebada y trigo); y material compostado de diferente origen (compost de corcho, de champiñón, de subproductos de almazara).

Otra de las medidas aplicables antes de realizar la plantación consistiría en el **establecimiento de rotaciones de cultivos con especies no huéspedes de *V. dahliae***. Desde el punto de vista fitopatológico, el objetivo fundamental que se pretende conseguir con esta medida es reducir las poblaciones de *V. dahliae* en el suelo o, al menos, impedir su crecimiento, al mismo tiempo, que se proporciona tiempo a las poblaciones microbianas antagonistas existentes en el suelo para debilitar, desplazar o destruir el inóculo del patógeno. Nuestros estudios sobre la susceptibilidad de especies cultivadas frente a patotipos de *V. dahliae* (Rodríguez-Morcillo , 2002), sugieren que los cultivos más apropiados a utilizar serían gramíneas como maíz, trigo, y cebada, y liliáceas como ajo y cebolla. A pesar de las muchas limitaciones que presentan las rotaciones de cultivos frente a patógenos de suelo como *V. dahliae* (Bejarano Alcázar, 1998; Bejarano-Alcázar , 1995), su utilización podría ser de interés en campos con niveles de inóculo bajos, con objeto de evitar que dichos niveles aumenten por encima de los umbrales necesarios para causar daños graves en el cultivo.

La **utilización de variedades de olivo resistentes a la Verticilosis** reviste especial importancia en sistemas de control integrado, y constituye, sin duda, la medida más eficaz, económica y menos agresiva para el medio ambiente, por lo que debe constituir siempre uno de los objetivos primordiales en los programas de mejora genética. Actualmente se dispone de información estandarizada sobre la reacción de variedades de olivo a la infección por los patotipos defoliante y no defoliante de *V. dahliae* en condiciones controladas (Blanco-López , 2002; López-Escudero , 2004). Aunque no se conocen variedades de olivo que sean inmunes a la infección vascular por *V. dahliae*, se han observado diversas categorías de resistencia que pueden permitir reducir las pérdidas ocasionadas por la enfermedad. Todas las variedades evaluadas hasta el momento se han mostrado más susceptibles al patotipo defoliante que al no defoliante. Las más importantes variedades españolas, incluyendo '**Arbequina**', '**Cornicabra**', '**Hojiblanca**', y '**Picual**', han sido clasificadas como extremadamente susceptibles al patotipo defoliante y susceptibles o extremadamente susceptibles al no defoliante. Destacan como moderadamente susceptibles al patotipo defoliante y resistentes al no defoliante las variedades '**Empeltre**' y '**Changlot Real**' (España), '**Frantoio**' (Italia), '**Oblonga**' (EE.UU), '**Koroneiki**' (Grecia) y '**Aggezi Shami**' (Egipto). La reacción similar de '**Frantoio**' y '**Oblonga**' es consistente con el hecho de que los análisis moleculares indican

que ambos son una misma variedad (Barranco , 2000). La influencia de la virulencia del patotipo del patógeno sobre la reacción observada en estas variedades, indica que la elección de la variedad debe estar en función del conocimiento de los patotipos prevalentes en cada plantación.

2.9.- Medidas a adoptar en plantaciones ya establecidas

Aún cuando se consiguiese obtener variedades inmunes o resistentes a la enfermedad, su aplicación principal sería para el establecimiento de nuevas plantaciones de olivar o para reemplazar olivos muertos o gravemente afectados en plantaciones infestadas. En este último caso, cuando el número de árboles afectados es muy elevado, una posibilidad podría consistir en intercalar una nueva plantación entre los olivos enfermos empleando una variedad tolerante, de modo que cuando los nuevos árboles entren en producción se pueda arrancar la plantación adulta susceptible. Esta alternativa ya ha sido utilizada con aparente éxito en alguna explotación de olivar severamente afectada por la Verticilosis.

Sin embargo, teniendo en cuenta que en estos momentos existen alrededor de 2,4 millones de hectáreas cultivadas de olivar en España, con olivos en muchos casos centenarios, es imprescindible seguir investigando para mejorar los métodos profilácticos y terapéuticos actualmente disponibles, así como desarrollar nuevos métodos de lucha. En los olivares establecidos que se vean afectados, la aplicación de determinadas prácticas y cuidados culturales puede contribuir a disminuir la severidad de los ataques.

2.9.1.- Evitar la dispersión del inóculo

Se debe impedir o limitar tanto el acceso del patógeno al olivar como su posterior dispersión a través del mismo. Los propágulos de *V. dahliae* se pueden diseminar dentro de un campo o de un campo a otro de muchas maneras, incluyendo el movimiento de suelo infestado y de restos vegetales infectados, el agua de riego y de escorrentía, e incluso en el polvo transportado por el viento. **Por ello es importante evitar situar las plantaciones de olivar en las proximidades de campos cultivados con especies susceptibles, como es el caso del algodonero, ya que aumenta notablemente el riesgo de futuras infestaciones.** En los campos infestados se deben desinfestar las herramientas de poda para disminuir en lo posible el peligro de extender la enfermedad a olivos sanos. Los aperos y maquinaria de cultivo procedentes de campos infestados no deben de ser utilizados en campos sanos.

2.9.2.- Erradicar o reducir la densidad de inóculo del hongo en el suelo.

En las plantaciones de olivar se deben **eliminar aquellas plantas que puedan actuar como huéspedes alternativos del patógeno**, tales como los cultivos intercalares suscepti-



Fotografía 21.5 : Olivar centenario de riego muy afectado de verticilosis (ver árboles con distintos grados de afectación) junto a un campo sembrado reiteradamente de algodón en los últimos años (al fondo), cultivo que es muy sensible a esta enfermedad. En plantaciones adultas de olivar se debería evitar cultivos muy susceptibles a verticilosis en su proximidad, ya que con toda probabilidad aumentará notablemente el riesgo de futuras infecciones.

bles. En esta misma línea, la eliminación de especies silvestres susceptibles a *V. dahliae* posiblemente no ha sido valorada en la medida que se merece. Algunas malas hierbas, como por ejemplo la verdolaga (*Portulaca oleraceae*) (Rodríguez-Morcillo , 2002), son extremadamente vulnerables a la Verticilosis, y los restos infectados de estas plantas pueden contribuir a multiplicar el inóculo del hongo en el suelo, e incluso se ha demostrado que el patógeno se puede transmitir en la semilla infectada de especies como *Senecio vulgaris* y *Xanthium* spp.

Como es natural también se deben **eliminar las hojas caídas al suelo y los restos de poda procedentes de olivos infectados** por la enfermedad, ya que contribuyen a incrementar el potencial de inóculo del patógeno, y además pueden crear nuevos focos de enfermedad al ser trasladados por la acción del viento y por el agua de lluvia tanto dentro de la misma plantación como a plantaciones vecinas.

La adición de **enmiendas orgánicas** al suelo podría actuar también eficientemente contra la Verticilosis en plantaciones establecidas de olivar. En este sentido, en muchos patosistemas se han comprobado los efectos beneficiosos derivados de la aplicación de enmiendas basadas en restos frescos o secos de diferentes especies de **crucíferas,** sobre la densidad de inóculo de patógenos de suelo y la incidencia de las enfermedades inducidas por estos agentes. Los mecanismos a los cuales se atribuye la acción de control son muy diversos. Las dos hipótesis más frecuentemente aceptadas se basan en la estimulación que se produce en poblaciones microbianas antagonistas que pueden actuar como agentes de control biológico de los patógenos, y en la acción de ciertos compuestos gaseosos con actividad fungicida que se liberan durante la degradación y descomposición de la enmienda en el suelo. Este último proceso ha sido denominado *biofumigación*. El tipo y cantidad de los compuestos producidos, y por lo tanto su eficacia para el control de las enfermedades, varían con las características de las especies utilizadas como enmiendas y con las dosis aplicadas.

Teniendo en cuenta el elevado interés de esta medida de lucha y la implantación cada vez más generalizada de los sistemas de manejo del suelo en el olivar basados en la utilización de cubiertas vegetales vivas, hemos iniciado estudios en relación con el **empleo de diversas especies de crucíferas como cubiertas** con dos objetivos principales:

- Evaluar la susceptibilidad de estas especies de crucíferas frente a los patotipos defoliante y no defoliante de *V. dahliae*. Es evidente que debemos seleccionar como cubiertas vegetales especies que sean inmunes o muy tolerantes a la Verticilosis, evitando de este modo que contribuyan a incrementar las poblaciones del hongo en el suelo.
- Determinar el potencial que presentan las especies de crucíferas estudiadas para eliminar o reducir el inóculo de *V. dahliae*, cuando dichas especies son sembradas y utilizadas en invierno como cubiertas en la propia plantación de olivar afectada e incorporadas posteriormente en primavera como enmiendas al suelo, una vez que han alcanzado la floración/fructificación.

El hecho de que en este caso las enmiendas estén basadas en cubiertas vegetales presentes en la misma explotación de olivar donde van a ser aplicadas, facilita en gran medida su manejo e incorporación al suelo, y ofrece la ventaja económica adicional de que se evita el coste que implicaría su transporte si se utilizasen como enmiendas plantas o subproductos industriales generados en otro lugar.

Otra posibilidad en plantaciones de olivar afectadas por la Verticilosis consiste en aplicar la **solarización**, bien en zonas concretas del campo, aprovechando el momento en que se eliminan los olivos muertos y antes de trasplantar los nuevos plantones, que deberán ser de cultivares con altos niveles de tolerancia a la enfermedad, o bien a toda la superficie del campo en el caso de infestaciones muy extendidas. Esta medida de lucha ha demostrado ser beneficiosa en diversas plantas leñosas como olivo, pistacho, almendro y aguacate, sin



Fotografía 20.6 : Olivar joven de la variedad 'Picual' cultivado con una cubierta de malas hierbas crucíferas en el centro de las calles de la plantación. Esta cubierta triturada en primavera con una desbrozadora e incorporada posteriormente al terreno como enmienda orgánica mediante una labor en primavera, podría reducir la cantidad de inóculo viable de V. dahliae presente en suelo. Existen evidencias experimentales que pueden hacer que esta práctica de cultivo pueda ser muy recomendable.

causar daños aparentes a las plantas debidos a la elevación de la temperatura del suelo, aunque en plantaciones leñosas adultas el efecto de sombreo de la copa del árbol sobre el suelo podría hacer que no se alcanzaran temperaturas adecuadas para el control del patógeno en algunas zonas del campo. En estos casos, se recomienda mantener la solarización durante períodos prolongados de tiempo, superiores a los dos meses, o la utilización de tecnologías especiales como materiales plásticos más eficientes o la disposición de capas dobles de polietileno.

Una medida de lucha de gran interés, tanto por sí misma como por las posibilidades que ofrece para su combinación con otros métodos de lucha en sistemas de control integrado, es el **control biológico,** basado en la utilización de microorganismos antagonistas de *V. dahliae*, que interfieren con la supervivencia o la capacidad del patógeno para causar enfermedad



Fotografía 20.7: Plantación de olivar joven ya establecida en la que la presencia de árboles afectados ha hecho aconsejable la aplicación de la técnica de solarización. Se recomienda mantener la solarización durante periodos prolongados de tiempo, superiores a los dos meses.

mediante antibiosis, competición, parasitismo o depredación. Los tratamientos con agentes de control biológico generalmente ofrecen en comparación con los tratamientos químicos las ventajas de una menor incidencia medioambiental y de un efecto más prolongado, aunque también adolecen de una mayor lentitud en su actuación y muestran cierta variabilidad e inconsistencia en los resultados obtenidos debido a la influencia de factores bióticos y abióticos sobre su eficacia (Fravel y Engelkes, 1994). Más de 40 especies de hongos y bacterias, incluyendo géneros tan conocidos como *Aspergillus, Fusarium, Gliocadium, Penicillium, Talaromyces,* y *Trichoderma* entre los hongos, y *Bacillus, Erwinia, Pseudomonas y Streptomyces* entre las bacterias, han sido evaluadas en distintos países por su actividad *in vitro* o *in vivo* contra *V. dahliae*. En la mayoría de los casos, estos agentes son multiplicados artificialmente y liberados posteriormente en el agrosistema, buscando bien su establecimiento en el mismo y, por consiguiente, un control de larga duración, o bien un control a corto plazo basado en la reintroducción periódica del agente.

2.9.3.- Reducir la eficacia del inóculo

Un último grupo de actuaciones contra *V. dahliae* está enfocado a reducir la eficacia del inóculo del patógeno para causar enfermedad, a pesar de que dicho inóculo se encuentre presente en el suelo.

Como se ha comentado anteriormente, el **riego favorece los ataques de Verticilosis** en una medida que dependerá de las dosis y frecuencias de aplicación utilizadas. Por ello, en las plantaciones de olivar afectadas por la enfermedad se debe regar aportando sólo la cantidad de agua que necesite el cultivo y de la forma más espaciada posible. También podría ser recomendable disponer los olivos en lomos o caballones, que favorecen la aireación y el drenaje, o retirar los goteros de los troncos de los árboles, para evitar mantener una elevada humedad en la zona en la que existe una mayor concentración de raíces.

El laboreo del suelo se debe reducir al mínimo, evitando así causar heridas en las raíces que favorecerían la penetración del patógeno. Asimismo, se aconseja realizar un abonado equilibrado, **evitando el exceso de nitrógeno**, que promueve un crecimiento vegetativo exuberante e incrementa la incidencia de Verticilosis y la gravedad de los síntomas, y el **déficit en potasio**, que potencia estos efectos negativos. Factores como la textura y el pH del suelo no parecen ser de importancia sobre la incidencia de la enfermedad.

Los intentos de control químico mediante fungicidas aplicados foliarmente o al suelo en olivos afectados por la Verticilosis, han sido generalmente insatisfactorios o inconsistentes en condiciones de campo, especialmente en etapas avanzadas de la enfermedad. La localización restringida de *V. dahliae* en los elementos del xilema durante su fase parasítica, ofrece la interesante posibilidad de actuar con bastante precisión sobre las áreas infectadas por el patógeno introduciendo fungicidas sistémicos (benomilo, fosetil-Al) en el xilema mediante inyecciones en la base del tronco. No obstante, esta técnica es problemática en árboles adultos debido al tamaño del tronco, y todavía no se dispone de información suficientemente concluyente sobre su eficacia.

3.- REPILO

3.1.- Importancia de la enfermedad

El **Repilo**, también conocido como vivillo, vivo, caída de hojas y ojo de gallo, es una enfermedad que se encuentra extendida por todas las zonas olivareras del mundo. Aunque el Repilo es escasamente relevante en zonas árido-cálidas, ha sido considerada tradicionalmente como la enfermedad más importante del olivar en España, debido tanto a su amplia extensión geográfica como a los daños que puede llegar a ocasionar sobre cultivares susceptibles en condiciones favorables, tales como olivares de regadío o situados en la proximidad de ríos y vaguadas, años

lluviosos y, en general, regiones húmedas con plantaciones densas y mal aireadas (De Andrés, 2001; Mateo-Sagasta, 1976). Existen comarcas e incluso parcelas dentro de una determinada explotación en las que esta enfermedad es prácticamente endémica. Los ataques de Repilo se presentan con mayor frecuencia y gravedad en el **olivar de regadío** que en el de secano, especialmente en las primaveras con gran número de días de lluvia y/o en árboles muy frondosos en los que no se ha realizado una **poda de aclareo de ramas adecuada** y, por lo tanto, no se recubren bien todas las hojas cuando se realizan los tratamientos fungicidas, quedando desprotegidas fundamentalmente las ramas bajas y las del interior del árbol. En estas zonas del árbol no penetran bien el aire ni la luz del sol y permanece agua libre sobre la superficie de las hojas durante largos períodos de tiempo, lo que, unido a la insuficiente protección proporcionada por los fungicidas aplicados, permite una germinación elevada del inóculo del hongo y el posterior establecimiento de la relación infectiva, y favorece una mayor severidad de la enfermedad.

Las pérdidas inducidas por el Repilo se deben principalmente a la intensa defoliación de la planta, que provoca el debilitamiento del árbol y la consiguiente disminución en el rendimiento. La infección del fruto, aunque es muy infrecuente, puede dar lugar a una depreciación del mismo cuando se trata de aceituna de mesa; en el caso de cultivares de aceite, la infección puede retrasar la maduración y reducir la producción de aceite y el rendimiento graso, aunque no suele afectar la calidad del aceite obtenido. A veces se han observado infecciones del pedúnculo del fruto, que pueden originar su caída prematura y la posterior colonización por diversos saprofitos lo que, de forma indirecta, influye también negativamente sobre la calidad del aceite (Trapero y Blanco, 2001).

3.2.- Sintomatología

La enfermedad se manifiesta generalmente por lesiones en el limbo foliar y, ocasionalmente, en el pecíolo de la hoja, en el pedúnculo del fruto y en el fruto (Jiménez-Díaz, 1985c; Trapero y Blanco, 2001).

El síntoma más característico de la enfermedad consiste en manchas circulares en el haz de las hojas, de diámetro variable y color oscuro, que a veces aparecen rodeadas de un halo amarillento. Las lesiones en el envés de las hojas son menos aparentes, y con frecuencia sólo se distinguen zonas longitudinales ennegrecidas discontinuas en el nervio central. Las manchas en el limbo foliar ocasionan una caída importante de hojas, pero algunas veces puede presentarse defoliación incluso en ausencia de estas lesiones, como consecuencia de infecciones en el pecíolo de las hojas que causan su desecación y rotura.

Cuando las lesiones afectan al pedúnculo del fruto, pueden provocar la caída adelantada de la aceituna acompañada del pedúnculo. Las infecciones directas del fruto no son frecuentes, pero si se producen en el periodo de crecimiento pueden inducir la deformación del mismo, al detenerse el crecimiento en la zona afectada. También se ha observado la ocurrencia de ataques en las ramas, especialmente en las partes más jóvenes de los brotes.



Fotografía 21.8: Foto superior, olivo defoliado por un fuerte ataque de Repilo (Spilocaea oleagina). Obsérvense las nuevas brotaciones de primavera, que en relativamente poco tiempo equilibrarán la relación hoja-madera, pero la producción ya se ha visto severamente afectada en este caso. Teniendo en cuenta la gran cantidad de inóculo presente, los tratamientos con funguicidas realizados en primavera en los momentos más adecuados, nos parecen fundamentales. Debajo, hojas de olivo con manchas típicas de repilo, obsérvese como en muchas ocasiones un halo amarillo rodea dichas manchas.

3.2.- Etiología y epidemiología

El agente del Repilo es el hongo Hifomiceto *Spilocaea oleagina* (=*Cycloconium oleaginum*). Este nombre corresponde al estado asexual del hongo, ya que el estado sexual no se produce en condiciones naturales o al menos no se conoce hasta este momento. *S. oleagina* es un patógeno especializado del olivo y acebuche, y es un biotrofo obligado que se desarrolla exclusivamente en el interior de la cutícula (capa más externa de la epidermis) de los tejidos infectados.

S. oleagina sobrevive durante la estación seca y calurosa principalmente en las hojas afectadas que permanecen en los árboles, en las que las esporas asexuales o conidias del hongo pueden mantenerse viables durante varios meses siempre que permanezcan unidas a los conidióforos en los que son producidas. En las hojas caídas también se forman conidias viables, pero se considera que desempeñan un papel poco relevante en la producción de nuevas infecciones, debido al carácter biotrofo del patógeno (Viruega , 1998). Tras un período húmedo, en las manchas foliares se puede originar fácilmente una nueva tanda de conidias. Por ello, en áreas de cultivo de climas mediterráneos existen conidias disponibles para la dispersión de la enfermedad y la infección durante casi todo el año, con dos máximos, uno en otoño y otro al comienzo de la primavera, y un mínimo durante el verano.

Las conidias se dispersan principalmente por el agua de lluvia, por lo que las sucesivas infecciones se producen a distancias cortas y preferentemente en sentido descendente en el árbol. Una vez que las conidias han sido depositadas sobre los tejidos susceptibles, su germinación solo tiene lugar si existe agua libre sobre la superficie de dichos tejidos o una humedad superior al 98% y temperaturas en el rango 0 – 27ºC, estando el óptimo próximo a los 17 ºC. La penetración posterior de los tejidos requiere agua libre durante 1-2 días, dependiendo de la temperatura, que presenta también un amplio rango (5-25ºC), con un óptimo en torno a 15ºC. Tras la penetración, se desarrollan densos entramados de hifas vegetativas muy delgadas que crecen inter o intracelularmente en la cutícula de forma paralela a la superficie foliar. Este hábitat proporciona al patógeno los nutrientes que requiere para su crecimiento y esporulación y una protección contra la desecación lo que le permite sobrevivir durante los meses secos y calurosos. De los entramados de hifas emergen finalmente al exterior conidióforos cortos y poco diferenciados, de color castaño, en los que se pueden observar collaretes por la producción sucesiva de conidias. El tiempo transcurrido desde la infección hasta la aparición de los primeros síntomas visuales se conoce como **período de incubación** y tiene una gran importancia epidemiológica para poder predecir con cierta precisión los momentos de infección y mejorar las estrategias de lucha contra la enfermedad. Su duración es muy variable, oscilando entre 4 y 15 semanas, dependiendo de la temperatura, humedad relativa del aire, cultivar de olivo y edad de la hoja (Trapero y Blanco, 2001).

Un **momento** que ha sido identificado como **especialmente crítico para la infección es el de final de la primavera** (mayo-junio). Si este periodo se presenta fresco y lluvioso, la presencia abundante de inóculo y la existencia de hojas jóvenes, que son más susceptibles al

Repilo y no están protegidas por los tratamientos fungicidas, pueden dar lugar a infecciones severas. Estas infecciones permanecen latentes durante el verano, sin producir lesiones ni defoliación de las hojas, y, junto con las lesiones viejas visibles, constituyen la fuente de inóculo principal para las infecciones en otoño-invierno (Viruega y Trapero, 1996)

El **método de la sosa** permite detectar las infecciones latentes en las hojas antes de que se manifiesten visualmente los síntomas de la enfermedad. Consiste en sumergir las hojas en una solución caliente (50-60ºC) de NaOH al 5% durante 2-3 minutos o a temperatura ambiente durante un tiempo de inmersión superior, de 20-30 minutos. Tras el tratamiento, las infecciones latentes aparecen como manchas circulares de color oscuro y tamaño variable, debido a la oxidación de compuestos fenólicos acumulados en los tejidos infectados.

3.4.- Control

En las nuevas plantaciones que vayan a ser establecidas en zonas donde la enfermedad sea endémica o concurran condiciones muy favorables para su desarrollo, un aspecto que debe ser tenido en cuenta es la amplia variabilidad en la **susceptibilidad varietal al Repilo** que existe entre las variedades de olivo disponibles actualmente. La información referente a este tema es abundante, tanto en lo que se refiere a los resultados de evaluaciones de variedades en experimentos de inoculación artificial realizados en condiciones controladas como a observaciones en condiciones de campo. Sin embargo, dentro de esta información se pueden encontrar frecuentes discrepancias e incluso contradicciones en la clasificación asignada a una misma variedad en diferentes estudios, especialmente en los trabajos de campo. Ello puede ser debido a diferencias en las condiciones experimentales en las que han sido llevadas a cabo las investigaciones, y a la existencia de variabilidad patogénica en las poblaciones de *S. oleagina* procedentes de distintas áreas de cultivo. Esta variabilidad puede explicar que algunas variedades que son muy susceptibles al Repilo en su zona de origen, como '**Arbequina**' en Cataluña y '**Frantoio**' en Italia, hayan resultado moderadamente resistentes o muy resistentes a las poblaciones del patógeno existentes en Córdoba. En cualquier caso, parece que la mayoría de las variedades de interés comercial en España son susceptibles o extremadamente susceptibles al Repilo, aunque destaca la resistencia a la enfermedad de la variedad '**Lechín de Sevilla**' (Trapero y Blanco, 2001)

En general, debido a la importancia que tienen en el desarrollo de la enfermedad la elevada humedad ambiental y el agua libre depositada sobre las hojas, son recomendables aquellas prácticas culturales que favorezcan la aireación y reduzcan la condensación de humedad en el interior de los árboles, tales como **podas de aclareo** de ramas finas que eviten copas densas y la utilización de **marcos de plantación** que eviten copas muy juntas.

El **estado nutritivo** de los árboles también es un factor determinante de la severidad de las epidemias. El exceso de nitrógeno y la deficiencia de potasio parecen favorecer las infecciones de Repilo. Los árboles *en carga* parecen más susceptibles que los árboles en *descarga*, lo cual podría

estar relacionado con el *efecto sumidero* por el que los frutos acaparan grandes cantidades de nutrientes en competencia con las reservas del árbol, especialmente de potasio (ver capítulo 15).

La eficacia de los **tratamientos foliares preventivas con fungicidas protectores** es bien conocida, hasta el punto que han llegado a constituir una práctica más de cultivo en los olivares españoles. La frecuencia y momento de aplicación dependen de la persistencia del fungicida sobre las hojas, de las condiciones climáticas (temperatura, lluvias, humedad relativa), de la susceptibilidad del cultivar y del nivel de infección existente. Sin embargo, en la mayoría de las comarcas olivareras de España, las dos épocas clásicas de tratamientos son el final de verano o principios de otoño y el final de invierno, épocas que coinciden con el comienzo de los principales períodos de infección. Tratamientos realizados al final de noviembre, después de ocurrir las primeras infecciones, disminuyen su eficacia. En olivares severamente afectados un tratamiento al final de la primavera resulta crítico en el control del Repilo, ya que reduce la infección primaria de las hojas nuevas, que sería la responsable principal de la epidemia en el otoño-invierno siguiente (Trapero y Blanco, 2001).

La estrategia de tratamientos a realizar puede depender del nivel de infección al final del verano. Si dicho nivel es muy bajo (< 10% de hojas infectadas), el tratamiento de otoño puede demorarse hasta que aparezcan las primeras manchas esporuladas. Pero en general el tratamiento de otoño no debe ser eliminado, ya que su coste es reducido y su supresión podría favorecer un incremento gradual del nivel de inóculo que dificultaría el control del Repilo en años posteriores. Además, de dicho tratamiento depende también el control de otras enfermedades como aceituna jabonosa, emplomado y tuberculosis.

Entre los fungicidas utilizados destacan por su eficacia los **productos cúpricos** y las mezclas de cobre con fungicidas orgánicos (captan, folpet, mancozeb, maneb, zineb, etc.). Teniendo en cuenta que los tratamientos son preventivos, es necesario mojar muy bien la totalidad de las copas de los árboles con el caldo fungicida, y especialmente las ramas bajas y las interiores, que es donde se desarrolla la enfermedad con mayor frecuencia (Trapero y Blanco, 2001). En cuanto a los **métodos de aplicación**, los tratamientos utilizando **atomizadores** bien dimensionados y regulados (velocidad de avance, presión, caudal de aire y caldo, tamaño de gota), parecen ser los más recomendables, siendo preferibles a la utilización de *pistolas* u otros dispositivos de aplicación.

Aunque diferentes productos cúpricos (óxidos, hidróxidos, sulfatos, oxicloruro de cobre) han demostrado su utilidad en la lucha contra Repilo, su eficacia relativa presenta una amplia variabilidad. La eficacia fungicida está relacionada con la cantidad de cobre que permanece sobre la superficie foliar cuando se va a producir la infección, y esta persistencia (**Figura 21.1**) depende a su vez de la resistencia del producto al lavado por la lluvia (Marchal *y col.* , 2003). Por ello, a la hora de realizar un tratamiento debemos elegir los formulados que tengan una mayor resistencia al lavado por lluvias, además de valorar otras características como tamaño de partícula (son deseables partículas pequeñas y de tamaño regular), adecuada solubilidad, perfecta cobertura, adherencia, etc.

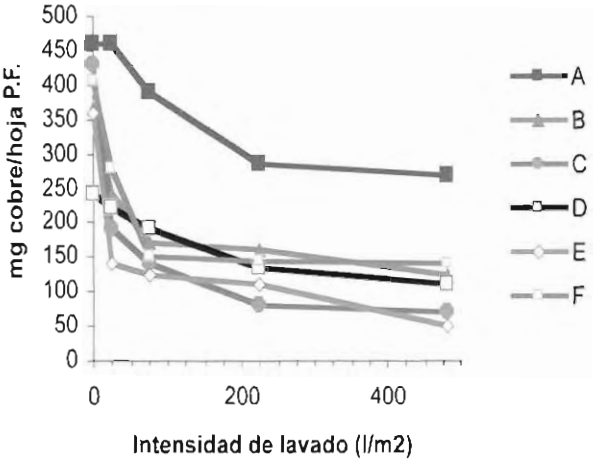


Figura 21.1: La eficacia fungicida de los tratamientos de cobre está relacionada con la cantidad de cobre que permanece sobre la superficie foliar cuando se va a producir la infección de Repilo, y esta persistencia depende a su vez de la resistencia del producto al lavado por la lluvia. Resistencia al lavado de 6 tratamientos funguicidas (A, B, C, D, E y F) en ensayo realizado por el Departamento de Agronomía de la ETSI Agrónomos y Montes de la Universidad de Córdoba. Lógicamente el tratamiento A es el que resultará más eficaz a corto y largo plazo.(Cortesía de Isagro España Caffaro).

El cobre puede penetrar en las hojas infectadas por las aberturas producidas por el patógeno en la cutícula y resultar fitotóxico para el cultivo, provocando la caída de hojas infectadas, lo que sería beneficioso a efectos epidemiológicos, ya que contribuye a disminuir el inóculo disponible en el árbol para nuevas infecciones de hojas sanas.

Por último, teniendo en cuenta el crecimiento subcuticular del hongo, la **utilización de fungicidas penetrantes o sistémicos** podría ser de interés en la lucha contra el Repilo cuando la incidencia de la enfermedad sea elevada, para evitar el efecto defoliante del cobre, especialmente si los tratamientos se realizan en los días que siguen a la infección (1-6 días). Entre los productos de este tipo que han mostrado una adecuada efectividad en primavera verano se encuentran:

- **Difenoconazol** (25 % p/v) con nombre comercial SCORE, a dosis de 500-600 cm^3/1000 litros de agua, y si se mezcla con cobre una dosis de 100-200 cm^3/1.000 litros de agua pueden ser suficientes. Plazo de seguridad 30 días antes de recolección.

- **Kresoxim-metil** (50% WG) con nombre comercial STROBY a dosis de 100-200 g/1.000 litros de agua, sin sobrepasar 200 g/ha; si se aplica mezclado con cobre son suficientes 100 g/ha. En aceituna de mesa realizar las aplicaciones después de la recolección, mientras en aceituna de almazara el tratamiento debe realizarse 30 días antes de la recolección.

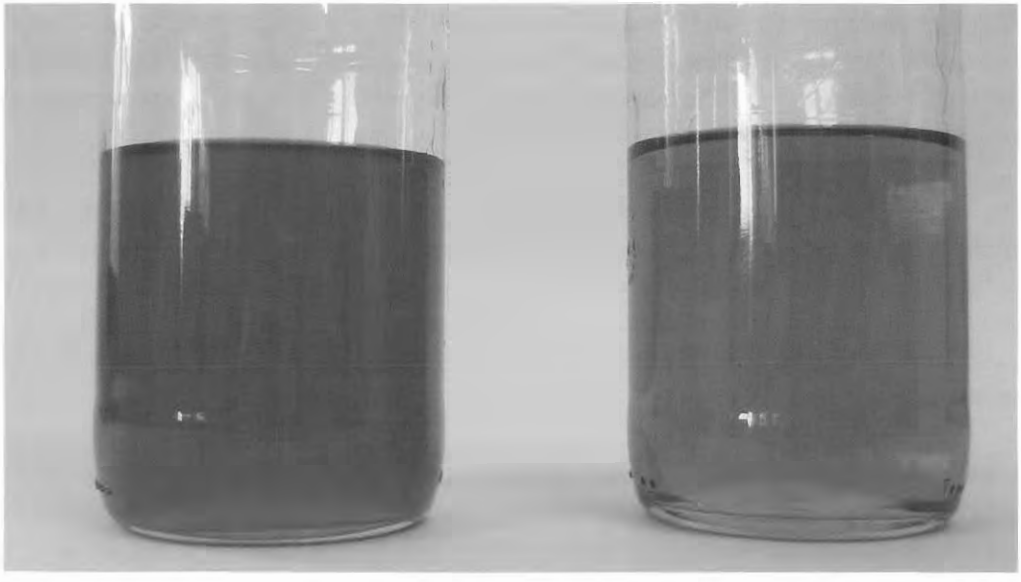
4.- OTRAS ENFERMEDADES

4.1.- Aceitunas jabonosas

Esta enfermedad, denominada también comúnmente como antracnosis, momificado, lepra o vivillo, está presente en numerosos países olivareros de la cuenca mediterránea, así como en Australia, EE.UU., Sudáfrica y diversos países de Asia y Sudamérica.

La incidencia de la enfermedad depende de la susceptibilidad de los cultivares, de las condiciones ambientales y de la virulencia de los aislados del patógeno. En condiciones muy favorables, ha llegado a ser considerada en determinadas regiones de Portugal e Italia como la enfermedad más importante del olivar. En España, las Aceitunas jabonosas han sido poco estudiadas, aunque existen referencias de graves epidemias en olivares de Andalucía (Mateo-Sagasta, 1978) y en las comarcas del sur de Tarragona (García, 1998).

Esta enfermedad ocasiona podredumbres en los frutos, que están asociadas con importantes pérdidas de peso, caída prematura y acidificación, tonalidad rojiza y baja calidad del aceite obtenido. Las infecciones tempranas son las que inciden más negativamente en la calidad del aceite (García, 1998).



Fotografía 21.9: Los ataques del hongo Colletotrichum gloeosporioides a los frutos, además de ocasionar podredumbres, que están asociadas con importantes pérdidas de peso y caídas prematuras, dan lugar a la producción de aceites de tonalidad rojiza y muy baja calidad, que obligatoriamente deberán pasar por un proceso de refinado previo a su comercialización. A la izquierda aceite procedente de aceitunas jabonosas, a la derecha aceite procedente de frutos sanos.

En España sólo se ha observado el ataque al fruto que es la forma más extendida de actuación de la enfermedad. Sin embargo, en otros países se han descrito también en ambientes favorables infecciones en las hojas y brotes, que pueden ocasionar la aparición de manchas necróticas en los tejidos afectados, defoliación, desecación y muerte apical de brotes y ramas de cierto grosor, y el debilitamiento general de los árboles (Trapero y Blanco, 2001).

Los síntomas en las aceitunas aparecen generalmente después de las primeras lluvias de otoño, durante la maduración del fruto, cuando se produce el cambio de color, aunque también se pueden observar en los frutos verdes. Sin embargo, la infección puede ocurrir ya desde el cuajado del fruto (García, 1998). Inicialmente aparecen en la aceituna lesiones necróticas deprimidas más o menos circulares, de color ocre o pardo, que van creciendo progresivamente y pueden llegar a unirse, dando lugar a la podredumbre parcial o total del fruto que sufre un proceso de deshidratación que puede ser muy rápido en función de las condiciones climáticas, se arruga y queda finalmente momificado. Los ataques se pueden producir en cualquier parte del fruto, pero preferentemente tienen lugar cerca del ápice, al ser una zona donde se acumulan las gotas de agua procedentes de la lluvia o del rocío. En condiciones de elevada humedad, en las zonas necrosadas se forman los acérvulos o cuerpos fructíferos asexuales del hongo, que se disponen en zonas concéntricas alrededor del centro de la lesión y producen una sustancia mucilaginosa que contiene un gran número de conidias, y presenta un color rosa-anaranjado al principio y pardo más adelante, confiriendo el aspecto característico al fruto afectado que ha motivado el nombre vulgar de *Aceitunas jabonosas* (Jiménez-Díaz, 1985c).



Fotografía 21.10 : Rama de olivo con Aceitunas jabonosas ya momificadas, esta enfermedad es causada por el hongo Colletotrichum gloeosporioides. La rápida separación del árbol de los frutos afectados, sanitaria y agronómicamente hablando nos parece fundamental. Esta práctica evitará igualmente el rápido deterioro de la calidad del aceite.

El agente causante de esta enfermedad es el Celomiceto *Colletotrichum gloeosporioides* (=*Gloeosporium olivarum*), un hongo que forma acérvulos en las aceitunas afectadas, en los que se producen las conidias celulares hialinas que constituyen las esporas asexuales del patógeno. El nombre de *C. gloeosporioides* designa el estado asexual o anamorfo del hongo. El estado sexual o teleomorfo corresponde al ascomiceto *Glomerella cingulata*, y se ha observado tan sólo una vez, en un cultivo artificial de un aislado procedente de la India.

Esta especie está considerada como un grupo genéticamente heterogéneo de hongos, que muestra una elevada diversidad fisiológica y patogénica, hasta el punto de que están descritas formas especializadas sobre diversos huéspedes. En este sentido, se ha sugerido que los aislados del hongo que atacan exclusivamente al fruto del olivo podrían constituir una variante patogénica especializada, carente de la virulencia necesaria para producir infecciones importantes en la madera o en los brotes jóvenes (Mateo-Sagasta, 1976). El grupo de aislados de *Colletotrichum* que infectan ramas de olivo, produce toxinas que están implicadas en la patogénesis y son responsables de la defoliación de las ramas afectadas. Incluso algunos estudios recientes apoyan la hipótesis de que son dos las especies de *Colletotrichum* que están involucradas en las Aceitunas jabonosas en Cataluña (García, 1998) y en el sur de Italia (Agosteo , 2002), *C. acutatum y C. gloeosporioides.*

El ciclo de vida de *C. gloeosporioides* en olivo no es bien conocido. Se ha sugerido que el hongo podría sobrevivir desde el invierno hasta el otoño siguiente en las aceitunas infectadas que caen al suelo, las cuales constituirían por lo tanto la fuente de inóculo primario para las infecciones que se inician con las primeras lluvias otoñales. Sin embargo, otros investigadores consideran que la mayor parte de los frutos que caen al suelo son destruidos por los insectos, pájaros u otros invasores secundarios, o bien enterrados con las labores, y, por consiguiente, no participarían de forma significativa en la producción de nuevo inóculo. En este segundo supuesto, el hongo podría sobrevivir durante el invierno principalmente en los frutos momificados que permanecen en el árbol y también, de forma epifítica, en las hojas, causando infecciones en los frutos jóvenes al final de la primavera o principios de verano. Estas infecciones permanecerían latentes durante todo el verano hasta el comienzo de la maduración de las aceitunas, como se ha comprobado en Cataluña (García, 1998; Trapero y Blanco, 2001). En las zonas donde ocurren ataques en hojas y ramas, el hongo puede persistir también en las ramas infectadas con lo que podría producir inóculo todo el año.

Las condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de las epidemias son coincidentes con las del Repilo. La esporulación del hongo precisa de una humedad relativa elevada (> 90%) y la lluvia es necesaria para desprender las conidias de la masa gelatinosa de los acérvulos y realizar su posterior dispersión. La germinación de las conidias también precisa de agua en la superficie de los frutos. La penetración del fruto verde o maduro puede tener lugar a través de la superficie intacta, si bien la presencia de heridas incrementa significativamente el éxito de la infección. En condiciones adecuadas de humedad, la infección puede ocurrir a temperaturas comprendidas entre 10-30°C, con un óptimo alrededor de 20-26°C. El periodo de latencia es de tan sólo 4-5 días en condiciones óptimas, lo que puede originar numero-

sos ciclos de infección secundarios y, consecuentemente, graves epidemias si persisten las condiciones favorables para la enfermedad durante el otoño (Trapero y Blanco, 2001).

Los ataques de la mosca del olivo (*Bactrocera oleae*) también favorecen las epidemias ocasionadas por *C. gloeosporioides*, debido a la mayor facilidad para el establecimiento de la infección fúngica en las heridas de puesta o salida de los frutos ocasionadas por la larva. Esta interacción entre los dos agentes puede llegar incluso a modificar el comportamiento de variedades consideradas moderadamente tolerantes cuando los frutos están intactos, al aumentar la susceptibilidad que presentan a la enfermedad.

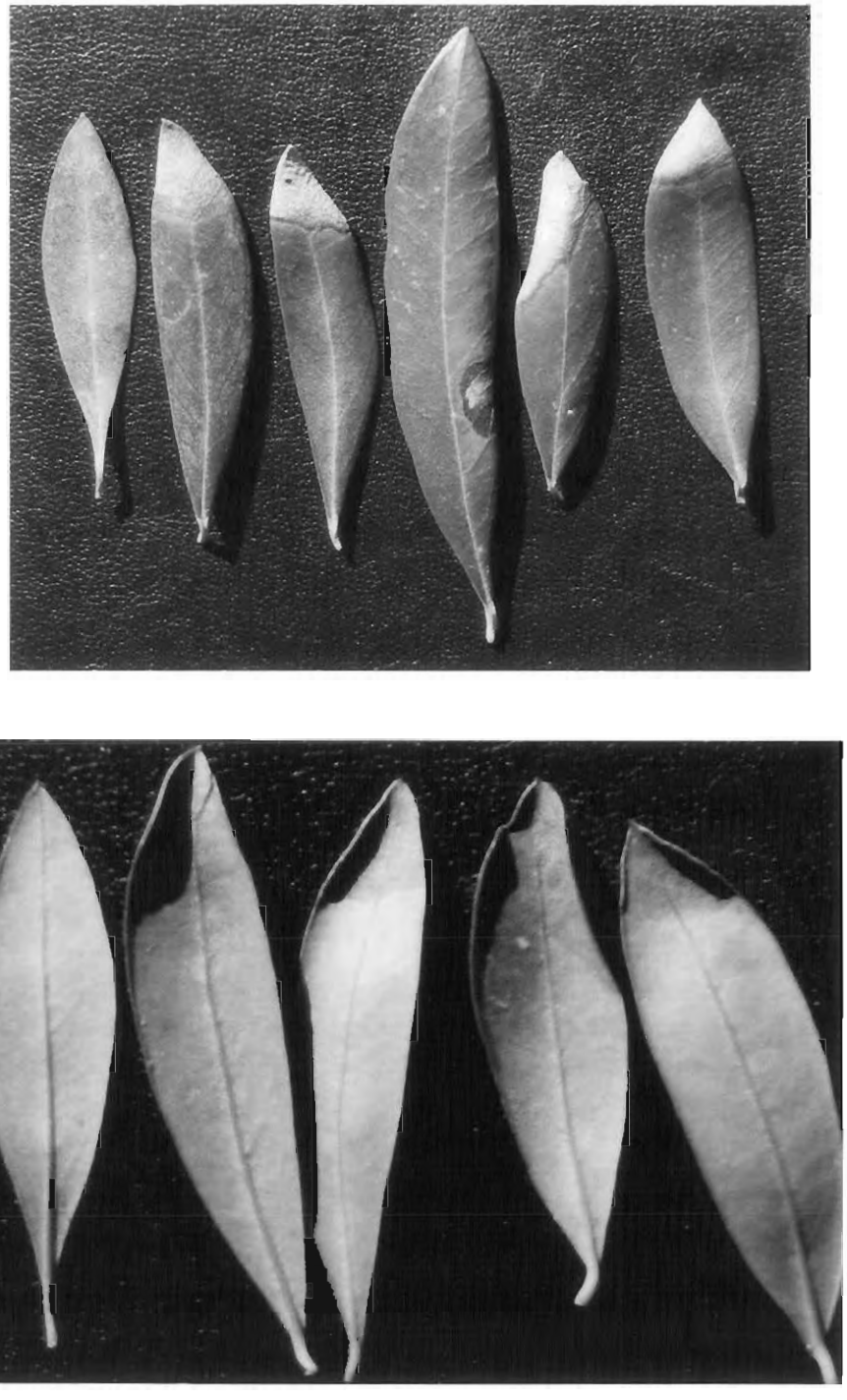
En cuanto al control, se recomienda plantar **variedades tolerantes** en aquellas zonas donde se den condiciones muy favorables para las epidemias. La aplicación de esta medida se ve limitada por el hecho de que los ataques de mosca condicionan en gran medida la caracterización de la susceptibilidad varietal a la enfermedad realizada en condiciones de campo. En evaluaciones realizadas en condiciones naturales muy adecuadas para el desarrollo de enfermedad han destacado como resistentes '**Empeltre**', '**Frantoio**', '**Oblonga**' y '**Picual**', mientras que el resto de las variedades de interés comercial han sido clasificadas mayoritariamente como susceptibles o moderadamente susceptibles (Trapero Casas , 1998).

De forma similar a la indicada para el Repilo, también en este caso son recomendables todas aquellas **medidas culturales que favorezcan la aireación** en el interior de los árboles, así como adelantar la recolección cuando se detecta la aparición de la enfermedad, y **eliminar rápidamente las aceitunas momificadas**. En las zonas donde se producen ataques a ramas, deben eliminarse las ramas afectadas para reducir de este modo las fuentes de inóculo.

La **lucha química** va dirigida principalmente a proteger los frutos de la infecciones mediante **aplicaciones fungicidas preventivas** realizadas antes de las lluvias otoñales. Los fungicidas cúpricos y la mezcla de éstos con fungicidas orgánicos son los más utilizados, tratamientos que son también válidos contra enfermedades como Repilo y Emplomado. En otoños muy húmedos y en variedades tardías y muy susceptibles podría ser necesario realizar un segundo tratamiento.

4.2.- Emplomado

El Emplomado, también denominado repilo plomizo o cercosporiosis, es una enfermedad del olivar conocida desde finales del siglo XIX que presenta una amplia distribución por todo el mundo, siendo responsable de importantes defoliaciones, caídas de frutos, debilitamiento de los árboles y pérdidas considerables en las aceitunas de mesa y en la calidad del aceite. A pesar de ello, el conocimiento sobre la etiología, epidemiología y control de la enfermedad es muy escaso, y frecuentemente ha sido confundida con otras enfermedades o alteraciones que originan defoliaciones en el olivo, principalmente con el Repilo. En España está considerada en general como una enfermedad poco importante, aunque ocasionalmente se han observa-



Fotografía 21.11: Hojas de olivo afectadas de emplomado, enfermedad causada por el hongo (Pseudocercospora cladosporioides). Foto superior, sintomatología típica en el haz de la hoja, obsérvese que esta sintomatología en parecida, aunque no idéntica, a la deficiencia de potasio. Foto inferior sintomatología en el envés de la hoja, con la característica tonalidad plomiza que se acentúa en las zonas más apicales.

do grave ataques foliares en Andalucía y Badajoz, y en fruto en comarcas de Tarragona (Trapero y Blanco, 2001).

La enfermedad se manifiesta preferentemente en el envés de las hojas, ya que los síntomas en el haz consisten en manchas cloróticas poco aparentes, algunas de la cuales pueden necrosar posteriormente. En el envés de las hojas aparecen manchas difusas, de color grisáceo o plomizo debido a las fructificaciones del hongo y con una distribución irregular, que son las que dan el nombre a la enfermedad. Las hojas infectadas terminan por desprenderse y caen al suelo precozmente. En las hojas afectadas severamente la coloración grisácea del envés se acentúa y puede adoptar un tono más oscuro en las áreas donde ocurre la esporulación y fructificación del patógeno, por lo que a veces se confunde con los ataques de Negrilla. En los frutos verdes los síntomas consisten en pequeñas lesiones redondeadas y deprimidas, de color marrón, que crecen al madurar el fruto y adquieren tonalidades grisáceas, presentando en ocasiones un halo amarillento. Las aceitunas afectadas no maduran correctamente, y pueden llegar a momificarse (Trapero y Blanco, 2001)

El emplomado es causado por *Pseudocercospora cladosporioides* (=*Cercospora cladosporioides*), un hongo Hifomicero que no presenta estado sexual conocido. Las conidias del hongo son cilíndricas, alargadas y con varias septas, y se forman sobre conidióforos que emergen de un estroma basal pudiendo formar fascículos densos. *P. cladosporioides* parece ser un patógeno específico del olivo, y presenta dificultades para crecer y multiplicarse fuera de los tejidos del huésped.

La epidemiología de esta enfermedad muestra en general bastante similitud con la del Repilo respecto a las épocas de infección, modo de dispersión, el largo período de incubación y la mayor incidencia en las zonas interiores y ramas bajas del árbol. Sin embargo, el hongo se desarrolla preferentemente en las hojas de mayor edad y parece tener una actividad mayor que *S. oleagina* en las hojas caídas al suelo, por lo que estas hojas podrían jugar un papel importante en la supervivencia y multiplicación del patógeno y actuar como fuente de inóculo primario; incluso se ha señalado que *P. cladosporioides* puede mantenerse en las hojas caídas de forma saprofítica. La época más favorable para la infección es el otoño. El agua es necesaria para que se produzcan las conidias en las lesiones, y estas esporas están bien adaptadas para realizar la dispersión a cortas distancias que tiene lugar principalmente mediante las salpicaduras del agua de lluvia. Las infecciones son particularmente severas en plantaciones densas y con poca aireación. Los ataques al fruto son más importantes en los años de lluvias importantes a final de verano y principio de otoño.

En lo referente a la **susceptibilidad varietal**, la información es escasa y en ocasiones contradictoria. En Italia se ha encontrado un gradación en la resistencia, pero en España, y más concretamente en las epidemias que han ocurrido en Andalucía en los últimos años, la mayoría de los cultivares comerciales han resultado susceptibles a la enfermedad. En condiciones naturales, parece que '**Arbequina**', '**Blanqueta**', '**Meski**' y '**Verdial de Vélez Málaga**' muestran cierta resistencia a la enfermedad (Trapero , 1998).

Los métodos de lucha indicados contra el Repilo parecen también recomendables contra el Emplomado, pero en este caso se debe prestar mayor atención a las hojas caídas al suelo.

4.3. Tuberculosis

La Tuberculosis, verrugas, tumores o agallas, es una enfermedad citada prácticamente en todos los países donde se cultiva el olivo, y constituye una de las primeras enfermedades de las plantas en las que se demostró que el agente causal era una bacteria.

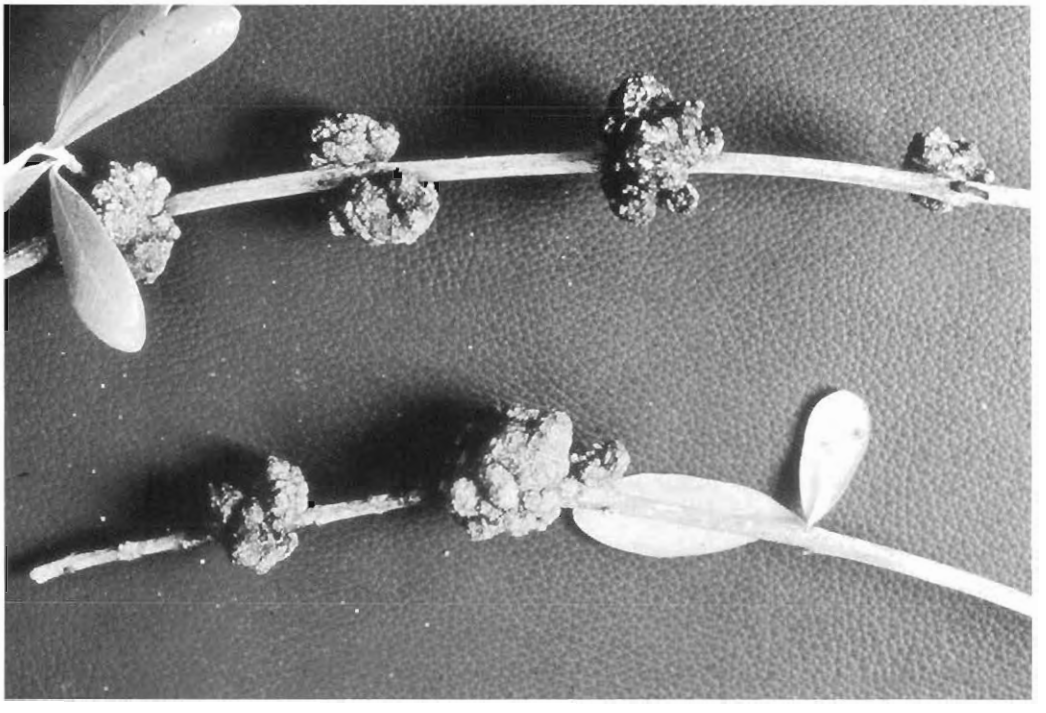
Las ramas afectadas de Tuberculosis se debilitan, crecen menos que las sanas y pueden llegar a secarse y morir, ocasionando un debilitamiento progresivo del árbol. En general, los árboles enfermos muestran menor vigor, una reducción del crecimiento y defoliación, y el fruto contiene una sustancia que les confiere un sabor agrio, amargo o rancio que disminuye la calidad del aceite. Aunque algunos estudios han relacionado la incidencia de tumores con una reducción en el número y tamaño de los frutos formados en los brotes afectados, las pérdidas inducidas por la enfermedad son de difícil valoración (Jiménez Díaz, 1985c).

Los síntomas característicos de la Tuberculosis son bien conocidos. El más común es la aparición de tumores de forma redondeada que crecen de forma aislada en troncos, brotes, ramas y tallos, aunque es frecuente encontrar varios tumores creciendo próximos en una misma rama. Las hojas, raíces y el cuello de las plantas también se pueden ver ocasionalmente afectados, aunque con menor intensidad, y las infecciones en el fruto han sido descritas pero son infrecuentes. Estos síntomas son debidos a la producción de hormonas (ácido indolacético y citoquininas) por la bacteria, que puede estar presente de forma latente en el interior de la planta y desencadenar la formación del tumor sólo cuando las condiciones son favorables (Peñalver , 1998)

Los tumores jóvenes son pequeños, blandos, lisos y de color verde o marrón claro. Los tumores viejos son de mayor tamaño y más oscuros, se lignifican y endurecen, y presentan una superficie irregular y agrietada, que suele ser aprovechada como cobijo por los insectos. El tumor puede llegar a abarcar todo el perímetro de la rama y ocasionar su muerte (Jiménez Díaz, 1985c).

La Tuberculosis es ocasionada por la bacteria *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*, que pertenece al grupo de las pseudomonas fluorescentes. Esta bacteria afecta a otras Oleáceas como adelfa, aligustre, fresno, jazmín, etc., y también a especies de las familias Compuestas, Crucíferas y Solanáceas.

El conocimiento de la epidemiología de la Tuberculosis es imprescindible para realizar un control adecuado de la enfermedad. La bacteria sobrevive de una estación a otra en los tumores, donde se multiplica abundantemente durante todo el año, mientras que en el suelo sólo persiste durante días. Además de los tumores, probablemente también actúan como fuente de inóculo hojas no infectadas, sobre cuya superficie la bacteria presenta una fase epifítica, pudiendo vivir y multiplicarse sin causar infección.



Fotografía 21.12: Ramo joven de olivo afectado por tuberculosis, enfermedad ocasionada por la bacteria Pseudomonas savastanoi pv. savastanoi. Obsérvense los tumores característicos de esta enfermedad.

Cuando los tumores son humedecidos por la lluvia, un gran número de bacterias son exudadas a la superficie de estos y lavadas y diseminadas por las gotas de agua. El patógeno inicia la infección a través de heridas provocadas por causas meteorológicas (heladas, granizo) o por las labores del cultivo (cortes de poda, vareo en la recolección) y por daños de insectos. La susceptibilidad de las heridas a la infección disminuye drásticamente durante el primer día y llega a anularse entre el 7º y el 9º día. El intervalo de temperatura para la infección es de 4 a 38ºC, lo que permite a la bacteria causar infecciones durante el invierno. El óptimo se sitúa entre 23-24ºC, por lo que los períodos de infección más probables se producen en otoño y primavera. La duración del período de incubación depende del momento de la infección. En las infecciones de otoño e invierno, el tumor no se produce hasta la primavera siguiente, en tanto que en las de primavera y principios del verano el tumor puede crecer en tan sólo 10-14 días, lo que las convierte en especialmente peligrosas en zonas con abundantes lluvias y riesgo de heladas tardías o granizo en la estación primaveral (Jiménez Díaz, 1985c).

La dispersión de la bacteria a grandes distancias está asegurada por el transporte del material vegetal. A cortas distancias se puede dispersar de una planta a otra en aerosoles y en herramientas de poda. También, aunque en menor medida, los pájaros y la mosca del olivo pueden contribuir a su dispersión.

La lucha contra esta enfermedad debe ser esencialmente **preventiva**. Es fundamental la elección de **material de plantación libre de inóculo** para las nuevas plantaciones. Se debe **evitar la producción de heridas** y **eliminar los tejidos con tumores** mediante la poda de los brotes afectados, desinfestando las herramientas de poda para evitar ocasionar nuevas infecciones en otros árboles o ramas.

Los tratamientos químicos tienen sólo una eficacia mediana, pero se aconsejan los **compuestos cúpricos** en primavera y otoño como preventivos o en plantaciones muy afectadas. También, tras granizo, heladas, u otros accidentes que causan heridas en la corteza de las ramas y troncos que favorecen la infección y posterior desarrollo de la enfermedad, se recomienda un tratamiento inmediato con un producto cúprico que moje bien la madera. Esta recomendación es particularmente importante cuando se cultivan variedades susceptibles a tuberculosis.

La información sobre la **susceptibilidad de las variedades de olivo a la Tuberculosis** no es muy amplia, aunque existen algunos estudios en este sentido. No se conocen cultivares inmunes a la enfermedad, pero algunos de los cultivares más extensamente utilizados en España como '**Picual**' y '**Arbequina**' parecen ser resistente y moderadamente resistente, respectivamente, y también '**Empeltre**' y '**Oblonga**' tienen cierta resistencia a la tuberculosis (Trapero y Blanco, 2001).

4.4. Podredumbres radiculares

Varias especies de hongos de suelo capaces de subsistir durante períodos de tiempo prolongados como saprofitos sobre restos vegetales en descomposición, pueden ocasionar podredumbres radiculares en diversas plantas leñosas, especialmente en plantas de vivero, en frutales y en bosques, entre las que se incluye el olivo. Entre dichas especies fúngicas, las más importantes en nuestras condiciones de cultivo son *Armillaria mellea, Phytophthora megasperma* y *Rosellinia necatrix.*

En general, la incidencia de estas enfermedades es baja y no suelen constituir un problema grave, aunque su importancia parece estar aumentando en los últimos años. A menudo, las podredumbres radiculares están asociadas a condiciones edafológicas desfavorables que favorecen a estos patógenos, tales como la persistencia de condiciones de encharcamiento del suelo, o al establecimiento de plantaciones intensivas de variedades susceptibles de olivar en regadío en campos donde se habían cultivado previamente otras especies leñosas como almendro, melocotonero y avellano.

Estos patógenos pueden presentarse frecuentemente asociados entre sí, ocasionando enfermedades de etiología compleja, o bien pueden actuar como patógenos secundarios oportunistas que atacan plantas previamente debilitadas por otros factores. Ello, unido a que muchos de los síntomas que ocasionan son inespecíficos, e incluso podrían ser inducidos por períodos

de prolongada sequía o por ataques de insectos, hace que sea necesario analizar las plantas enfermas en laboratorios especializados para realizar un diagnóstico correcto del problema que permita adoptar las medidas de lucha más apropiadas.

Los síntomas ocasionados por los diferentes hongos causantes de podredumbres radiculares en la parte aérea de las plantas leñosas consisten generalmente en una marchitez que se inicia en la parte superior de la planta y avanza progresivamente hacia abajo, pudiendo llegar a morir las plantas afectadas. Se observa una tasa de crecimiento reducida, con poca masa foliar, y amarilleamiento de las hojas, que pueden volverse necróticas y caer o mantenerse en la planta, dependiendo del patógeno.

Los daños causados por las podredumbres radiculares se pueden minimizar de forma notable aplicando prácticas de cultivo que favorezcan un **buen desarrollo de los árboles** y **evitando causar heridas en el sistema radicular** y favoreciendo la **aireación y el drenaje del suelo**. Así, se ha comprobado que la patogenicidad de *P. megasperma* depende en gran medida de las condiciones de inundación del suelo, de forma que en terrenos bien drenados no ocurren infeccione graves. En este caso deben acometerse dos tipos de actuaciones:



Fotografía 21.13 : Olivos de la variedad 'Arbequina' muertos por podredumbre radicular (Phytophthora en este caso), ataque favorecido por un exceso en la dosis de agua de riego, aplicada en este caso por una instalación de riego con emisores de gran caudal ubicados junto a los troncos de los árboles, práctica muy habitual en los regadíos por goteo de Andalucía. A simple vista la sintomatología es parecida a la causada por Verticillium dahliae. Programar correctamente el riego, separar los goteros de los troncos y utilizar un mayor número de emisores de pequeño caudal por olivo es siempre una práctica recomendable para evitar este tipo de podredumbres.





Fotografía 21.14: Una práctica de cultivo muy eficaz para luchar contra las podredumbres radiculares y la asfixia radicar es el cultivo en lomos o caballones. Arriba, olivar de la variedad 'Arbequina' de 4 años de edad cultivado en un suelo muy llano con problemas de drenaje, en el que periódicamente se producen encharcamientos durante varios días cuando ocurren eventos de lluvia de cierta intensidad. Los lomos permiten la supervivencia de la plantación. Abajo, una máquina compuesta por vertederas de grandes proporciones procediendo al alomado del terreno en una plantación joven de olivar ya establecida.

- **Con carácter general, diseñar** la instalación de riego de modo que los goteros estén suficientemente retirados del cuello de la raíz de los olivos, y durante todo el año ajustar la dosis de riego de modo que no se ocasionen encharcamientos continuados y ni siquiera temporales.
- **Con carácter particular, en terrenos *encharcadizos*** el drenaje o la plantación en *lomos* o *caballones* es el método de lucha más recomendable, incluso puede ser igualmente aconsejable el acaballonado de una plantación de cierta edad cuando empiezan a manifestarse los síntomas de la enfermedad en los primeros árboles y se comprueba el carácter *encharcadizo* del suelo. La utilización de una cubierta vegetal en este caso puede ser igualmente de interés, ya que su transpiración durante la primavera puede aliviar el encharcamiento al reducir el contenido de agua en el suelo, así como mejorar el drenaje natural.

Una vez que el árbol está infectado es muy difícil controlar la enfermedad. En las plantaciones afectadas pueden ser de utilidad la aplicación de fungicidas a los árboles afectados y la desinfestación del suelo mediante solarización o fumigación química.

Referencias bibliográficas

Agosteo, G. E., Magnano di San Lio, G., Frisullo, S., Cacciola, S. O., 2002. Characterization of the causal agent of olive anthracnose in southern Italy. Proc. 4th. International Symposium on Olive Growing. Págs. 713-716.

Agrios, G. N., 2001. Fitopatología. Editorial Limusa, S. A. México.

Al-Ahmad, M. A., Mosli, M. N., 1993. Verticillium wilt of olive in Syria. Bulletin OEPP/EPPO 23: 521-529.

Alvarado, M., Civantos, M., Durán, J. M., 2001. Plagas. Paginas 433-493 en: El cultivo del olivo. D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Arambourg, Y., 1984. La fauna entomológica del olivo. Olivae 1: 37-40.

Arambourg, Y., 1985. La fauna entomológica del olivo. II. Especies de importancia económica regional o localizada. Olivae 5: 14-19.

Barranco, D., Trujillo, I., Rallo, P., 2000. Are 'Oblonga' and 'Frantoio' the same cultivar?. Horst Science 35: 1323-1325.

Bejarano Alcázar, J., 1998. Presente y Futuro del algodón (Contracentro Ediciones): 75-91.

Bejarano Alcázar, J., Pérez Artés, E., 2002. Importancia de la Verticilosis del algodonero y distribución de patotipos de *Verticillium dahliae* en Andalucía. XI Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Almería, España. Pág. 219.

Bejarano-Alcázar, J., Blanco-López, M. A., Melero-Vara, J. M., Jiménez-Díaz, R. M., 1995. Influence of crop rotation on the population of defoliating and nondefoliating pathotypes of *Verticillium dahliae* in fields soils. Phytoparasitica 23: 49.

Bejarano Alcázar, J., Melero-Vara, J. M., Blanco-López, M. A., Jiménez-Díaz, R. M., 1995. Influence of inoculum density of defoliating and nondefoliating pathotypes of *Verticillium dahliae* on epidemics of Verticillium wilt of cotton in southern Spain. Phytopathology 85: 1474-1481.

Bejarano Alcázar, J., Blanco-López, M. A., Melero-Vara, J. M., Jiménez-Díaz, R. M., 1996. Etiology, importance, and distribution of Verticillium wilt of cotton in southern Spain. Plant Disease 80: 1233-1238.

Bejarano Alcázar, J., Blanco-López, M. A., Melero-Vara, J. M., Jiménez-Díaz, R. M., 1997. The influence of Verticillium wilt epidemics on cotton yield in southern Spain. Plant Pathology 46: 168-178.

Bell, A. A., 1992. Verticillium wilt. Páginas 87-126 en: Cotton Diseases. R. J. Hillocks (ed.). C.A.B. International. Wallingford, Reino Unido.

Bellahcene, M., Fortas, Z., Geiger, J.-P., Matallah, A., Henni, D., 2000. La Verticilosis del olivo en Argelia: distribución geográfica e importancia de la enfermedad. Olivae 82: 41-43.

Blanco López, M. A., Jiménez Díaz, R. M., Caballero, J. M., 1984. Symptomatology, incidence and distribution of Verticillium wilt of olive trees in Andalucía. Phytopathologia Mediterranea 23: 1-8.

Blanco-López, M. A., López-Escudero, F. J., Martos-Moreno, C., Raya-Ortega, M. C., 2002. Variabilidad de la respuesta de cultivares de olivo a las infecciones por aislados defoliantes y no defoliantes de *Verticillium dahliae* en condiciones controladas. Páginas 192-193 en: Dirección General de Investigación y Formación Agraria y Pesquera y D. A. P. (eds.). Jornadas de investigación y transferencia de tecnología al sector oleícola. Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía.

Cirulli, M., 1981. Attuali cognizioni sulla Verticilliosi dell'olivo. Informatore Fitopatol. 1-2: 101-105.

Civantos, M., 1999. Control de plagas y enfermedades del olivar. Consejo Oleícola Internacional. Madrid, España.

De Andrés, F., 2001. Enfermedades y plagas del olivo. Riquelme y Vargas Ediciones, S. L. Jaén, España.

Engelhard, A. W., 1957. Host index of *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berth. (including *Verticillium dahliae* Kleb.). Plant Disease Reporter, Supplement 244: 23-49.

Evans, G., 1971. Influence of weed hosts on the ecology of *Verticillium dahliae* in newly cultivated areas of the Namoy Valley, New South Wales. Annals of Applied Biology 67: 169-175.

Fravel, D. R., Engelkes, C. A., 1994. Biological management. Paginas 293-308 en: Epidemiology and Management of Root Diseases. C. L. Campbell y D. M. Benson (eds.). Springer-Verlag. Berlin, Alemania.

García, F., 1998. Micosis de las aceitunas y su incidencia en la calidad del aceite. Phytoma 102: 171-176.

Giménez-Jaime, A., Beltrán, R., Vicent, A., Armengol, J., García-Jiménez, J., 2002. Comportamiento agronómico y evolución de la infección en diversos materiales de alcachofa cultivados en suelo infestado y no infestado con *Verticillium dahliae*. XI Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Almería, España. Pág. 220.

Jiménez Díaz, R. M., 1985a. Enfermedades del olivo. Olivae 6: 32-39.

Jiménez Díaz, R. M., 1985b. Enfermedades del olivo. Olivae 7: 28-31.

Jiménez Díaz, R. M., 1985c. Enfermedades del olivo. Olivae 8: 24-28.

Jiménez Díaz, R. M., 1998a. Control de enfermedades. Paginas 345-375 en: Agricultura Sostenible. R. M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa (eds.). Coedición Agrofuturo, LIFE y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Jiménez Díaz, R. M., 1998b. La Verticilosis (*Verticillium dahliae*) del olivo: biología y epidemiología. Nuevas perspectivas para el control de la Verticilosis. Phytoma 102: 142-148.

Jiménez-Díaz, R. M., Tjamos, E. C., Cirulli, M., 1998. Verticillium wilts of major tree hosts. Olive. Pages 13-16 in: A compendium of Verticillium wilts in tree species. J. A. Hiemstra and D. C. Harris (eds.). Ponsen and Looijen, Wageningen, Países Bajos.

Lazarovits, G., Conn, K., Tenuta, M., 2000. Control of *Verticillium dahliae* with soil amendments: efficacy and mode of action. Paginas 274-291 en: Advances in Verticillium. Research and disease management. E. C. Tjamos, R. C. Rowe, J. B. Heale, and D. R. Fravel (eds). APS Press. St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.

Levin, A. G., Lavee, S., Tsror, L., 2003. Epidemiology of *Verticillium dahliae* on olive (cv. Picual) and its effect on yield under saline conditions. Plant Pathology 52: 212-218.

López-Escudero, F. J., Blanco-López, M. A., 2000. Influencia del riego del olivo en la densidad de inóculo de Verticillium dahliae en el suelo. X Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Valencia, España. Pág. 24.

López-Escudero, F. J., del Río, C., Caballero, J. M., Blanco-López, M. A., 2004. Evaluation of olive cultivars for resistance to *Verticillium dahliae*. European Journal of Plant Pathology 110: 79-85.

Marchal, F., Alcántara, E., Roca, L.F., Boned, J., Trapero, A., 2003. Evaluación de la persistencia de fungicidas cúpricos en hoja de olivo. Vida Rural . 176: 52-56.

Mateo-Sagasta, E. 1976. Daños y enfermedades del olivo. Paginas 213-234 en: Olivicultura moderna. FAO-INIA. Editorial Agrícola Española, S. A. Madrid, España.

Mateo-Sagasta, E. 1978. Enfermedades del olivo. Ponencias II Seminario Oleícola Internacional. Córdoba, España. Pág. 128-134.

Melero-Vara, J. M., Blanco-López, M. A., Bejarano-Alcázar, J., Jiménez-Díaz, R. M., 1995. Control of Verticillium wilt of cotton by means of soil solarization and tolerant cultivars in southern Spain. Plant Pathology 44: 250-260.

Mercado-Blanco, J., Rodríguez-Jurado, D., Parrilla-Araujo, S., Jiménez-Díaz, R. M., 2003. Simultaneous detection of the defoliating and nondefoliating *Verticillium dahliae* pathotypes in infected olive plants by duplex, nested polymerase chain reaction. Plant Disease 87: 1487-1494.

Morschel, J. R., 1961. Recorded Plant Diseases in and outside Australia. Part 2 – Fruit and Edible Nut Crops. Commonwealth Department of Health Division of Plant Quarantine, Canberra.

Nico, A. I., Rapoport, H. F., Jiménez-Díaz, R. M., Castillo, P., 2002. Incidence and population density of plant-parasitic nematodos associated with olive planning stocks at nurseries in southern Spain. Plan Disease 86: 1075-1079.

Nicot, P. C., Rouse, D. I., 1987. Relationship between soil inoculum density of *Verticillium dahliae* and systemic colonization of potato stems in commercial fields over time. Phytopathology 77: 1346-1355.

Papasolomontos, A., 1969. Annual Report of the Department of Agriculture, Cyprus, for the year 1968.

Peñalver, R., García, A., Ferrer, A., López, M. M., 1998. La tuberculosis del olivo: diagnóstico, epidemiología y control. Phytoma 102: 177-179.

Pullman, G. S., DeVay, J. E., 1982. Epidemiology of Verticillium wilt of cotton: A relationship between inoculum density and disease progression. Phytopathology 72: 549-554.

Rodríguez Jurado, D., Porras Alonso, R., Trapero Casas, J. L., Jiménez Díaz, R. M., 2002. Potencial de las hojas de olivo caídas tras la infección por el patotipo defoliante de *Verticillium dahliae* como fuente de inóculo en las epidemias de Verticilosis. XI Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Almería, España. Pág. 228.

Rodríguez-Morcillo, V., Bejarano-Alcázar, J., Jiménez-Díaz, R. M:, 2002. Gama de plantas huésped de los patotipos de *Verticillium dahliae* que infectan algodonero y olivo en España. XI Congreso Nacional de la Sociedad Española de Fitopatología. Almería, España. Pág. 229.

Ruggieri, G., 1946. Una nuova malattia dell'olivo. L'Italia Agrícola 83: 369-372.

Sánchez Hernández, M.E., Pérez de Algaba, A., Blanco López, M. A., y Trapero Casas, A., 1998. La 'seca' de olivos jóvenes I: Sintomatología e incidencia de los agentes asociados. Boletín de Sanidad Vegetal 24: 551-572.

Sarejanni, J. A., Demetriades, S., Zachos, D. G., 1952. Rapport sommaire sur les principales maladies des plantes observées en Grèce au cours de l'annee 1951. Annals Institut Phytopathological Benaki 6: 5-9.

Saydam, C., Copcu, M., 1972. Verticillium wilt of olives in Turkey. J. Turkish Phytopathology 1: 45-49.

Schreiber, L. R., Green, R. J., Jr., 1962. Comparative survival of mycelium, conidia, and microsclerotia of *Verticillium albo-atrum* in mineral soil. Phytopathology 52: 288-289.

Serrhini, M. N., Zeroual, A., 1995. La Verticilosis del olivo en Marruecos. Olivae 58: 58-61.

Snyder, W. C., Smith, S. N., 1981. Current Status. Páginas 25-50 en: Fungal Wilt Diseases of Plants. M. E. Mace, A. A. Bell y C. H. Beckman (eds.). Academic Press. New York, Estados Unidos.

Snyder, W. C., Hansen, H. N., Wilhelm, S., 1950. New hosts of *Verticillium albo-atrum*. Plant Disease Reporter 34: 26-27.

Subbarao, K. V., 2002. Introduction. Phytopathology 92: 1334-1336.

Thanassoulopoulos, C.C., 1993. Spread of Verticillium wilt by nursery plants in olive groves in the Halkidiki area (Greece). Bull. OEPP/EPPO 23: 517-520.

Tjamos, E. C., Tsougriani, H., 1990. Formation of *Verticillium dahliae* microsclerotia in partially disintegrated leaves of Verticillium affected olive trees. 5th International Verticillium Symposium. Leningrado, USSR. Pág. 20.

Trapero, A., Blanco, M. A., 2001. Enfermedades. Paginas 495-550 en: El cultivo del olivo. D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.

Trapero Casas, A., López Doncel, L. M., Viruega Puente, J. R., 1998. Los "Repilos" del olivo: etiología, epidemiología y estrategias de control. Phytoma 102: 154-158.

Viruega, J. R., Trapero, A., 1996. Importancia de la infección primaveral tardía en la epidemiología del repilo del olivo. VIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Córdoba, España. Pág. 37.

Viruega, J. R., Luque, F., Trapero, A., 1998. Importancia de las hojas infectadas caídas al suelo en la biología de *Spilocea oleagina*, agente del repilo del olivo. IX Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Salamanca, España. Pág. 175.

Vigouroux, A., 1972. Un récent dépérissement de l'olivier en France provoqué par une Verticilliose. Phytoma (Defense des Cultures) 239 : 19-20.

Wilhelm, S., Taylor, J. B., 1965. Control of Verticillium wilt in olive trough natural recovery and resistance. Phytopathology 55: 310-316.



CAPÍTULO 22

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD FINANCIERA DE LAS TRANSFORMACIONES EN REGADIO

Manuel Cabanes Fuentes
Miguel Pastor Muñoz-Cobo





PARTE I .- INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FINANCIERO DE INVERSIONES

1.- El concepto de inversión real o inversión productiva. El flujo de caja.
- 1.1.- El flujo de caja del proyecto: dimensión y temporalidad.
  - 1.1.1.- Cuantía de la inversión o desembolso inicial.
  - 1.1.2.- El horizonte temporal de evaluación o vida del proyecto.
  - 1.1.3.- El flujo anual de caja generado por el proyecto a lo largo de su horizonte temporal.

2.- Supuestos simplificadores en la configuración del flujo de caja.
- 2.1.- Periodificación del flujo.
- 2.2.- Equivalencia ingresos-cobros y costes-pagos.
- 2.3.- Valoración a precios del año base de los ingresos y costes generados por el proyecto a lo largo de su vida.
- 2.4.- La financiación del proyecto de inversión
- 2.5.- La financiación ajena de la inversión mediante préstamos bancarios.
- 2. 6.- Flujos netos de caja alternativos en la valoración de un proyecto de inversión concreto.
  - 2.6.1.- Cálculo del flujo de caja anual de un proyecto que implica creación de empresa, con y sin financiación ajena.
  - 2.6.2.- Determinación del flujo neto de caja relevante a efectos de la valoración financiera de un proyecto de inversión a desarrollar en el seno de una empresa ya existente.
- 2.7.- La valoración de proyectos de inversión: fundamentos
- 2.8.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de rentabilidad
  - 2.8.1.- El criterio del Valor Actual Neto (VAN).
  - 2.8.2.- El criterio de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

2.9.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de liquidez
2.10.- La valoración de proyectos de inversión: criterios que tienen en cuenta el riego.
2.10.1.- El análisis de sensibilidad basado en la determinación de valores críticos.

PARTE II. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA TRANSFORMACIÓN EN REGADÍO DEL OLIVAR DE SECANO: CASO DE APLICACIÓN

1.- Introducción

2.- Evaluación financiera de la inversión: componentes de los flujos de costes e ingresos
2.1.- Coste y horizonte económico de la inversión
2.2.- Costes de producción.
2.2.1.- Costes debidos al riego
2.2.2.- Costes ajenos al acto de regar
2.3.- Ingresos por venta del aceite y subvenciones a la explotación.

3.- Evaluación financiera de la inversión: ejemplo de aplicación
3.1.- Características agronómicas de las parcelas y producción media esperada.
3.2.-Los costes de producción: partidas y prácticas de cultivo consideradas
3.2.1.- Costes de producción en regadío
3.2.2.- Costes de producción en secano
3.3.- Costes unitarios de la maquinaria empleada en las tareas de cultivo, incluida la mano de obra necesaria en su manejo, y costes unitario de jornales.
3.4.- Costes de producción por hectárea en regadío.
3.5.- Cuantía de la inversión inicial en transformación en regadío.
3.6.- Costes de producción por hectárea en secano
3.7.- Resumen de costes de producción en regadío y secano.
3.8.- Ingresos anuales previstos en secano y regadío
3.9.- Flujo neto de caja incremental asociado al proyecto

4.- Valoración del proyecto de inversión en el supuesto de financiación mediante recursos propios.
4.1.- Criterios de valoración del proyecto bajo certidumbre: rentabilidad y liquidez del proyecto.
4.2.- La consideración del riesgo en la valoración del proyecto: el análisis de sensibilidad.

5.- Uso de recursos ajenos en la financiación del proyecto.

Referencias bibliográficas

PARTE I. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FINANCIERO DE INVERSIONES

1.- El concepto de inversión real o inversión productiva. El flujo de caja.

En sentido estricto se entiende por inversión real la adquisición por la empresa de bienes para su utilización de un modo repetido a lo largo del tiempo, en el desarrollo de los procesos de producción que le son propios. Son los denominados factores de producción duraderos.

Indisolublemente unidas a las corrientes de entrada-salida de bienes y servicios y a los flujos económicos de ingresos y costes, que el ejercicio de la función empresarial comporta, aparecen siempre otras dos corrientes de carácter monetario: una de **entrada de dinero** a la empresa, originada fundamentalmente por el cobro efectivo de los ingresos generados por la venta de sus productos (corriente de cobros); y otra de **salida de dinero** desde la empresa (corriente de pagos), que remunera a los proveedores de los factores necesarios para la producción. La diferencia entre los cobros y pagos previstos en la realización de un determinado proyecto de inversión, constituye el **flujo neto de caja** del mismo. Es la dimensión financiera de las inversiones productivas, que se configura como elemento fundamental en el proceso de valoración de la misma, con vistas a su aceptación o rechazo.

1.1.- El flujo de caja del proyecto: dimensión y temporalidad.

A efectos de evaluación, toda inversión real, independientemente de cual sea la naturaleza del bien en que se invierte, va a quedar caracterizada, pues, por los flujos de cobros y pagos a que da lugar. Por ello, tiene especial relevancia conocer que elementos o parámetros intervienen en la configuración de los mismos, así como los supuestos que se manejan habitualmente en la realización de las distintas estimaciones necesarias para su determinación.

1.1.1.- Cuantía de la inversión o desembolso inicial.

Ésta viene dada por el coste del bien o de los bienes **en los que se invierte** (edificios, instalaciones, maquinaria, etc.) valorados a su **precio de adquisición** (incluidos los gastos de instalación, en su caso) o por su **coste efectivo** en el caso de bienes generados internamente por la empresa que invierte (una edificación o una nueva plantación, por ejemplo).

El **desembolso inicial** puede estar constituido por un pago único o por varios pagos repartidos en el tiempo, dependiendo ello fundamentalmente de que los bienes en los que se invierte provengan del exterior, vía adquisición, o sean generados (producidos) por la propia empresa. Por ejemplo, la adquisición de una maquina-herramienta, será una inversión de pago único, mientras que la realización de una plantación de frutales por la empresa, llevará a un desembolso inicial y a varios pagos más repartidos en el tiempo.

1.1.2.- El horizonte temporal de evaluación o vida del proyecto.

Es otro elemento o parámetro clave en el proceso de evaluación financiera de las inversiones. La **vida del proyecto** viene dada por el período de tiempo comprendido entre el momento en que se realiza el desembolso inicial (o el primer pago parcial del mismo, en su caso) y el momento a partir del cual, a juicio del decisor, el proyecto se torna irrelevante para la consecución de los objetivos de la empresa. Dicho **período se suele medir en años**, coincidiendo en su duración con la vida útil del bien en el que se invierte si éste es único, o del más importante, cuando la puesta en marcha del proyecto implique el uso conjunto de varios bienes duraderos.

1.1.3.- El flujo anual de caja generado por el proyecto a lo largo de su horizonte temporal.

Está constituido por el **flujo de cobros** generado por el proyecto en su fase de explotación menos el **flujo de pagos** a él asociado. El origen del primero es, básicamente, el flujo de ventas y el del segundo el flujo de costes que trae consigo la explotación o puesta en funcionamiento de los proyectos. Hay que decir al respecto, que el valor estimado al final del período de evaluación para los bienes en los que se invirtió inicialmente, o de aquellos que los hayan sustituido por renovación, deberá ser considerado como **un cobro más del proyecto**, a imputar en ese momento. Evidentemente, cuando haya renovación de un bien a lo largo de la vida del proyecto, el valor residual de éste deberá ser considerado como un cobro más del año en que se efectúa la renovación. De igual forma, el valor del bien que sustituye al anterior deberá ser tratado como un pago más de dicho año.

2.- Supuestos simplificadores en la configuración del flujo de caja.

2.1.- Periodificación del flujo.

Tanto el flujo de cobros como el de pagos, suelen estar constituidos en la práctica por partidas de cuantía no uniforme y repartidas de forma irregular en el tiempo. Intentar prever los

flujos tal y como se presentarán en la realidad, dota al proceso de análisis y evaluación del proyecto de una gran complejidad y dificultad operativa, no compensada, en modo alguno, por la ganancia en fiabilidad que tal proceder pudiera conllevar.

Por ello, a la hora de estimar los flujos de cobros y pagos de los proyectos de inversión, se acostumbra a subdividir el período total en subperíodos de duración uniforme (generalmente anual), localizando al final de cada uno todos los cobros y pagos que se prevea se van a producir dentro del mismo. Es decir, se sustituyen corrientes más o menos irregulares por sucesos puntuales, que se supone ocurren al final de cada subperíodo, facilitando así los cálculos relativos a la valoración del proyecto

2.2.- Equivalencia ingresos-cobros y costes-pagos.

En el análisis de proyectos de inversión, donde lo relevante a todos los efectos son los flujos de cobros y pagos en detrimento de los de ingresos y costes, se juega normalmente con la hipótesis de venta al contado y con la hipótesis de que los actos de compra de factores de producción de un solo uso (factores no duraderos) coinciden en el tiempo con los actos de consumo de los mismos en el proceso productivo y ambos con los de pago de su importe a proveedores. La consecuencia práctica de ello es la equivalencia en el tiempo de las corrientes de ingresos con las de cobros y las de costes por consumo de factores no duraderos, con la de los pagos a que su compra da lugar. Evidentemente, no existirá nunca tal equivalencia entre los costes y pagos asociados al consumo de factores duraderos, pues aunque la compra de los mismos se efectúe al contado, teniendo el pago de los mismos un carácter puntual, su consumo se efectuará a lo largo del tiempo, viniéndonos dado el coste pertinente por la cuantía de la cuota de amortización técnica del período de referencia, la cual nunca supondrá un pago (se paga cuando se compra, no cuando se consume). Por ello, e independientemente del sesgo de los impuestos, no habrá nunca equivalencia entre el beneficio correspondiente a un período y el flujo de caja (de fondos) de dicho período.

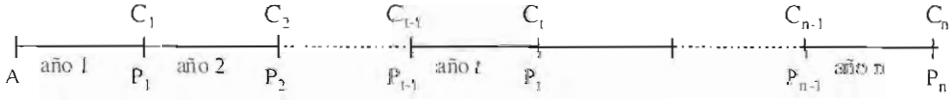
2.3.- Valoración a precios del año base de los ingresos y costes generados por el proyecto a lo largo de su vida.

Normalmente, la valoración de los flujos de productos (bienes y/o servicios) generados o demandados (consumidos) por el proyecto, se valoran a precios del año base, entendiéndose habitualmente por tal, aquel en que se procede a la valoración del proyecto o el inmediatamente anterior.

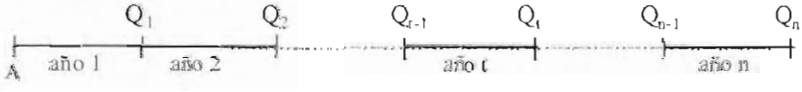
Trabajar con precios *del año base* para todo el período de evaluación del proyecto implica, en definitiva, trabajar con precios constantes, tanto para la estimación del valor de los productos generados por el proyecto como para la estimación del valor de los factores consumidos en su obtención. Esta forma de operar, muy frecuente en la practica, puede ser abando-

nada por el analista, si así lo estimara oportuno, no teniendo que hacer otra cosa para ello que manejar los precios nominales correspondientes a cada uno de los períodos anuales contemplados en la valoración. Son las dificultades operativas presentes en el cálculo de los distintos precios y de la tasa de variación anual del nivel general de precios, lo que lleva, prácticamente en la totalidad de los casos, a la cuantificación de los flujos a precios constantes. Ello no significa, contra lo que pudiera parecer a primera vista, que la inflación no se tiene en cuenta en el análisis. Sí se considera, pero bajo la hipótesis particular de que tanto los precios de los productos como los de los factores, se van a ver afectados por la inflación, pero a tasas iguales y equivalentes a su vez a la tasa de crecimiento de nivel general de precios. De esta manera, el efecto de la inflación se contrarresta y puede prescindirse de la consideración explícita de la misma en el análisis.

A tenor de lo hasta aquí dicho, y si consideramos para simplificar el caso de un proyecto de inversión con desembolso inicial de pago único, podemos representar el flujo de cobros y pagos representativo del mismo mediante el diagrama temporal que exponemos a continuación. En dicho diagrama, el tiempo se representa mediante una línea horizontal, simbolizando los intervalos de la misma los subperíodos en que viene dividido el período total de evaluación. Sobre la línea se sitúan las variables que representan cobros brutos o netos y debajo de la misma las que simbolizan pagos, situándose tanto unos como otros al final del subperíodo dentro del que se generan, excepción hecha del desembolso inicial que se sitúa al inicio del subperíodo 1 (momento cero). Cuando el período total de planificación se subdivide en años, que es el caso más frecuente, el diagrama adopta la siguiente configuración:



o lo que es equivalente:



donde:

A = Desembolso inicial o tamaño de la inversión

C_t = Cobro o entrada de dinero generada por el proyecto en el año t (cobros por ventas, subvenciones a la explotación, etc.)

P_t = Pago o salida de dinero provocada por el proyecto en el año t (sueldos y salarios, mate-

rias primas, energía, etc.).

Q_t = Flujo neto de caja del año t ($Q_t = C_t - P_t$)

n = Duración de la inversión medida en años.

2.4.- La financiación del proyecto de inversión

Para financiar sus inversiones (sus activos) la empresa puede utilizar distintos tipos de recursos o medios financieros, clasificables en función de su procedencia en dos grandes subconjuntos: medios internos y medios externos.

Son **medios financieros internos** los generados por la propia empresa en el ejercicio de su actividad, destacando al respecto los beneficios retenidos o reservas.

Son **medios financieros externos** los que provienen del exterior de la empresa, como:

- las aportaciones de los propietarios,
- las aportaciones de terceros de carácter temporal y a título oneroso (préstamos, obligaciones, etc.) y
- las aportaciones de terceros de carácter permanente y a título gratuito, como son las subvenciones de capital, normalmente de procedencia pública.

Los medios internos, las aportaciones de los propietarios y las subvenciones de capital, constituyen los **recursos propios de la empresa,** mientras que las aportaciones de terceros a título oneroso constituyen los **recursos ajenos.**

Toda decisión de **inversión** implica otra simultanea de **financiación**, dependiendo la aceptación o rechazo de un proyecto concreto no sólo de las características técnico-económicos específicas del mismo (el proyecto en sí), sino también de la forma como se financie, pues si bien lo primero determina la rentabilidad del proyecto, la **forma de financiación** determina la rentabilidad mínima que debe aportar el mismo para ser aceptado, pues, en buena lógica, ésta coincidirá en su cuantía con el coste medio ponderado de la mezcla de medios utilizada en su financiación.

En el análisis de inversiones, la consideración de la variable financiación puede hacerse de dos formas alternativas: de **forma implícita** o de **forma explícita**.

La **forma implícita**, considera la financiación a través del valor asignado al tipo de interés calculatorio o tasa de actualización de los flujos del proyecto. Dicho valor se hace coincidir con el coste medio ponderado de la mezcla de financiación del proyecto, que representa la rentabilidad mínima que el mismo debe generar, pues solo así se podrán remunerar, según sus respectivos costes, todos los capitales aportados.

La **forma explícita** incorpora al flujo de fondos del proyecto en sí, las entradas y salidas de fondos que tengan su origen en el uso de medios de financiación ajenos. De esta manera, el importe de los préstamos conseguidos, de las obligaciones emitidas, de las subvenciones de capital, etc., se incorporarán como nuevos cobros al flujo inicial; y la remuneración al capital ajeno, en forma de intereses, así como las devoluciones parciales de éste (devolución del principal), se incorporarán como pagos. El desembolso inicial queda así limitado a las aportaciones de los propietarios, estando destinado el flujo neto de fondos resultante a remunerar en exclusiva a dichas aportaciones, pues la remuneración del resto de los capitales aportados está ya incluida en el flujo.

En estas páginas haremos referencia sólo a la **forma explicita** cuando incluyamos los medios ajenos en la financiación de los proyectos, pues consideramos que es la que más se ajusta a las características económico-empresariales de la parcela de la realidad que ahora ocupa nuestra atención. Evidentemente, cuando se trabaja bajo tales premisas, hay que ser conscientes de que el flujo neto de caja del proyecto en sí y el flujo neto de caja del proyecto financiado en exclusiva mediante recursos propios, son la misma cosa.

2.5.- La financiación ajena de la inversión mediante préstamos bancarios.

El **préstamo bancario** implica la transferencia temporal por parte del prestamista, de la disposición sobre un capital (importe del préstamo) por el tomador del mismo, quedando éste obligado al pago de los intereses estipulados y a la devolución del capital prestado en el tiempo preestablecido.

En las operaciones de préstamo debe quedar claramente estipulada:

- la cuantía del préstamo;
- la duración de la operación, medida generalmente en años;
- la duración de los períodos parciales en que se divide el período total, a efectos de pago de intereses y devolución del principal;
- el tipo de interés nominal;
- el período de carencia, si lo hubiere;
- el método de cálculo de la cantidad a pagar en cada período parcial en concepto de intereses y devolución del principal (término amortizativo) y
- la modalidad de pago de intereses (por adelantado o postvencido).

Se entiende por **coste efectivo** o **tasa anual equivalente** (TAE), la tasa de descuento que iguala el valor actual de los fondos recibidos por el prestatario (importe nominal del préstamo menos comisiones y demás gastos a cargo del prestatario) con el valor actual de los fondos desembolsados por éste para atender el pago de intereses y la devolución del principal. El coste efectivo y el interés nominal coinciden cuando el pago de intereses se

hace por períodos vencidos y no existen gastos a cargo del prestatario originados por la operación de préstamo. Como al menos esos gastos sí van a existir siempre, puede decirse que en la práctica el coste efectivo y el interés nominal no coincidirán, siendo el primero superior al segundo, dependiendo la diferencia, a igualdad de todo lo demás, de que los intereses se paguen o no por períodos vencidos y de la cuantía de los gastos por comisiones y similares.

En la determinación del término amortizativo, es práctica común el uso de períodos de tiempo uniformes (años, semestres, trimestres, meses...). Para el cálculo de su cuantía se usan diversos métodos, siendo los tres que siguen los más comúnmente utilizados:

- El método francés
- El método de devolución del principal mediante cuotas constantes
- El método americano

Nos referimos a continuación sólo al **método francés,** por ser el que con más frecuencia se emplea en la práctica bancaria. Bajo dicha modalidad el **término amortizativo** (pago de intereses más devolución del principal) es igual a una renta constante de la misma duración y periodicidad que el préstamo, cuyo valor actual coincide con la cuantía de éste, al ser actualizada a un tipo de interés calculatorio igual al interés nominal del préstamo. Por consiguiente, el **importe del término amortizativo** nos vendrá dado por:

$$R = P\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

siendo:

R = importe del término amortizativo
P = cuantía del préstamo
i = interés del préstamo por unidad monetaria y unidad de tiempo
n = duración de la operación en unidades de tiempo

En el primer año los intereses a pagar, I_1, serán iguales a:

$$I_1 = i \cdot P$$

Por su parte, la cuota de amortización del préstamo, A_1, será igual a:

$$A_1 = R - i \cdot P = R - I_1$$

En el segundo año los intereses a pagar, I_2, serán:

$$I_2 = (P - A_1) \cdot i$$

siendo la cuota de amortización, A_2, igual a:

$$A_2 = R - (P - A_1) \cdot i = R - I_2$$

Y así sucesivamente, hasta el año **n**. Evidentemente, al final de la operación de préstamo, la suma de las cuotas de amortización será igual a **P**.

2. 6.- Flujos netos de caja alternativos en la valoración de un proyecto de inversión concreto.

El **flujo neto de caja** que define a un proyecto de inversión de naturaleza y características técnicas dadas, puede variar en función de que:

a) utilicen o no recursos ajenos en la financiación del proyecto.
b) Se evalúe el proyecto antes o después de impuestos.
c) La puesta en marcha del proyecto implique creación de una nueva empresa o éste se desarrolle, por el contrario, en el seno de una empresa ya existente.

¿Qué elementos y partidas hay que manejar en cada caso para el cálculo del flujo de caja relevante a efectos de valoración financiera del proyecto y cómo se llega a su determinación?

Responderemos a esta cuestión en forma sucesiva, empezando, lógicamente, por el caso más simple y acabando en el más complejo, pero manteniéndonos siempre dentro de la hipótesis de **valoración *antes de impuestos***, al objeto de no alargar excesivamente la exposición.

2.6.1.- Cálculo del flujo de caja anual de un proyecto que implica creación de empresa, con y sin financiación ajena.

La **tabla 22.1** recoge la configuración del flujo anual de caja en ausencia de financiación ajena, mientras que la **tabla 22.2** recoge la configuración del flujo en presencia de financiación ajena. En el primer caso, el flujo de fondos correspondiente al momento cero tendrá signo negativo y por importe el coste de los activos en los que se invierte. Cuando se usa financiación ajena, este último importe estará minorado por el montante de dicha financiación.

Tabla 22.1: Flujo de caja anual sin financiación ajena.

	Ingresos de explotación correspondientes al año t
+	Ingresos por venta en el año t de activos fijos amortizados
-	Costes de explotación del año t, excepto cuota de amortización técnica
-	Cuota de amortización técnica del año t
-	Valor contable de los activos fijos vendidos en el año t
=	Beneficio antes de intereses e impuestos del año t
+	Cuota de amortización técnica del año t
+	Valor contable de los activos fijos vendidos
+	Subvenciones de capital cobrados en el año t
-	Importe de las inversiones de renovación efectuadas en el año t
=	**FLUJO NETO DE CAJA DEL AÑO t**

Tabla 22.2: Flujo de caja anual con financiación ajena.

	Beneficio antes de intereses e impuestos del año t
-	Intereses del capital ajeno en el año t
+	Cuota de amortización técnica del año t
=	Beneficio después de intereses y antes de impuestos del año t
+	Valor contable de los activos fijos vendidos en el año t
+	Subvenciones de capital cobrados en el año t
-	Importe de las inversiones de renovación efectuadas en el año t
-	Amortización financiera (parte devuelta del capital ajeno) en el año t
=	**FLUJO NETO DE CAJA DEL AÑO t**

2.6.2.- Determinación del flujo neto de caja relevante a efectos de la valoración financiera de un proyecto de inversión a desarrollar en el seno de una empresa ya existente.

Situados en el marco que corresponda de los descritos en el punto anterior (Tablas 22.1 y 22.2), se determinará el flujo neto de caja de la empresa *con el proyecto* y el flujo neto de caja *sin el proyecto*. El flujo de caja relevante, a efectos de la valoración financiera del proyecto de referencia, se obtiene por diferencia entre el primero de los flujos mencionaos y el segundo. Es el denominado ***flujo neto de caja incremental.***

2.7.- La valoración de proyectos de inversión: fundamentos

Se admite en la actualidad con unanimidad, que la forma correcta de valorar las inversiones en función del flujo neto de caja generado, implica la homogeneización temporal del mismo, refiriendo para ello todas las cantidades a un mismo momento del tiempo mediante la técnica financiera del desplazamiento de capitales. Ello viene motivado por el hecho de que sólo de esa manera es posible introducir en la reflexión el **valor temporal del dinero**, aspecto de importancia capital, pues al existir la posibilidad de inversiones alternativas, no resulta indiferente para el inversor poseer (desprenderse de) una unidad monetaria ahora que transcurridos **n** períodos.

El **desplazamiento de capitales en el tiempo** requiere, como es bien sabido, la determinación previa del valor del dinero por unidad monetaria y por unidad de tiempo (*tipo de interés calculatorio del inversor* o *tasa de actualización*), pues sólo así será posible proceder a dicho desplazamiento, bien **hacia el futuro (operación de capitalización)** o bien **hacia el presente (operación de actualización).** Como lo normal a la hora de homogeneizar cantidades es referirlas al momento presente, se suele identificar homogeneización con actualización, pero ello no tiene necesariamente que ser así, pues lo realmente importante a efectos de la correcta comparación de cantidades es que todas estén referidas al mismo momento del tiempo. La ventaja del momento actual frente a cualquier otro, está en el mayor poder informativo de los valores así obtenidos.

En nuestro caso, y en concordancia con lo dicho hasta aquí, el tipo de interés calculatorio deberá ser, como mínimo, igual al coste de oportunidad de los recursos financieros aportados al proyecto por los propietarios.

La literatura sobre economía de la empresa admite que el objetivo principal de ésta es la maximización de su valor a largo plazo. Por ello, las inversiones habrán de cumplir para su realización la denominada **condición de efectuabilidad** o **suficiencia,** lo cual significa que la rentabilidad de la inversión debe ser superior al coste real o de oportunidad de la financiación. Pero además de la rentabilidad, para que la evaluación sea completa, también se habrán de considerar en el análisis los aspectos relacionados con la liquidez y con el riesgo.

Existe un amplio abanico de criterios que permiten la valoración de las tres dimensiones mencionadas y que incluyen en su estructura la exigencia de trabajar con flujos de caja descontados. En ellos nos apoyaremos con carácter prioritario, sin olvidar la referencia, cuando así lo estimemos oportuno, a los criterios de valoración que no tienen en cuenta el factor tiempo. Son métodos aproximados, que en algunos casos pueden resultar útiles, debido fundamentalmente a su simplicidad. Sin embargo, el analista debe ser consciente de sus limitaciones, evitando así la inducción al error.

2.8.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de rentabilidad

Dos son los criterios considerados fundamentales en la literatura, a la hora de enjuiciar la bondad de un proyecto de inversión desde el punto de vista de su rentabilidad: el criterio del **Valor Actual Neto (VAN)** y el criterio de la **Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)**. Los dos criterios son dinámicos, en el sentido de que manejan flujos de caja actualizados, y equivalentes en las decisiones de aceptación-rechazo de una inversión aislada.

2.8.1.- El criterio del Valor Actual Neto (VAN).

Se entiende por valor actual neto de un proyecto de inversión, el valor de los rendimientos netos generados, al referirlos al momento actual. Es decir, la diferencia entre el valor actual de todos los cobros y el valor actual de todos los pagos, incluido, lógicamente el desembolso inicial. En términos matemáticos, sería:

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t - P_t}{(1+r)^t} = -A + \sum_{t=1}^{n} \frac{Q_t}{(1+r)^t}$$

siendo:

VAN = Valor actual neto de la inversión
A = Desembolso inicial o tamaño de la inversión
C_t = Cobros correspondientes al año t
P_t = Pagos correspondientes al año t
Qt = Flujo neto de caja del año t (diferencia entre los cobros y pagos del año t)
$(1+r)^{-t}$ = Factor de actualización
r = Tipo de interés calculatorio del inversor (tasa mínima exigida de rentabilidad) .
n = Horizonte económico considerado (duración de la inversión)

Desde el punto de vista operativo, el método no presenta problema alguno. Su resultado puede ser:

VAN > 0
VAN = 0
VAN < 0

El criterio formal de decisión consiste en **aceptar sólo los proyectos cuyo valor actual neto sea positivo para el tipo de interés calculatorio considerado en la valoración**, pues son los únicos que contribuyen al **logro del objetivo** general de la empresa relativo al **aumento de su valor**.

Un valor neto positivo significa que el proyecto, a lo largo de su vida, promete una rentabilidad sobre la parte de la inversión no recuperada en cada momento, igual a la tasa de actualización, más un excedente (superbeneficio) repartido de forma más o menos regular en el tiempo, con un valor actual equivalente al valor actual neto del proyecto. Por consiguiente, un valor actual neto igual a cero significa que el proyecto promete una rentabilidad exactamente igual a la tasa de actualización, resultando, por ello, indiferente para el sujeto decisor.. Y un valor actual neto negativo, significa que el proyecto promete una rentabilidad inferior a la tasa de actualización, desaconsejándose, en consecuencia, su realización.

Como se deduce de la observación de la fórmula matemática del VAN, éste es función decreciente de la tasa de actualización, si se suponen constantes todos los demás parámetros de los que depende su valor, de manera que un mismo proyecto de inversión puede ser interesante para unos inversores y no interesante para otros, según cual sea el tipo de interés calculatorio de cada uno de ellos.

La **figura 22.1** recoge la evolución del VAN de un hipotético proyecto de inversión en función de **r**. Como la misma pone de manifiesto, dicho proyecto será interesante para todo inversor que tenga un tipo de interés calculatorio inferior a r_o, no será interesante para los que tengan un tipo superior a r_o y será indiferente para todos aquellos inversores cuyo tipo de interés calculatorio coincida con r_o.

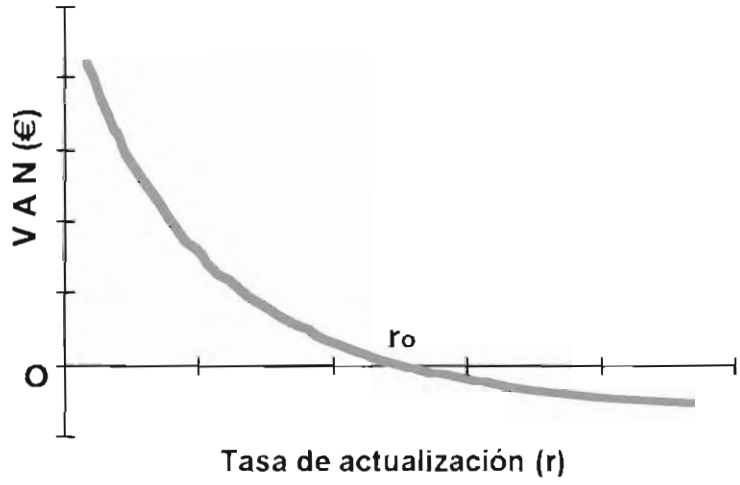


Figura 22.1. Evolución del valor actual neto de un proyecto (VAN) en función de la tasa de actualización (r).

2.8.2.- El criterio de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

Se entiende por **tasa interna de rentabilidad de una inversión** el tipo de actualización o descuento para el que el valor actual neto de la misma se hace igual a cero. En la **figura 22.1**, dicho valor viene representado por r_o.

Para el caso de un proyecto de inversión con desembolso inicial único, la tasa interna de rentabilidad es aquel valor de **r** que satisface la ecuación.

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^{n} \frac{Q_t}{(1+r_o)^t} = O$$

siendo:

A = desembolso inicial o tamaño de la inversión
Q_t = flujo neto de caja del año t
n = horizonte económico considerado
r_o = tasa interna de rentabilidad del proyecto de inversión

La ecuación anterior puede expresarse en forma alternativa como sigue:

$$A = \sum_{t=1}^{n} \frac{Q_t}{(1+r_o)^t}$$

Por consiguiente, la **tasa interna de rentabilidad** puede definirse también como el tipo de interés calculatorio que iguala el valor actual del flujo neto anual de caja del proyecto con su coste inicial.

Bajo este criterio, una inversión es aconsejable si su tasa interna de rentabilidad es superior al tipo de interés calculatorio del inversor; será indiferente si los dos valores coinciden, y no será aconsejable si el tipo de intereses calculatorio del inversor es superior a la tasa interna de rentabilidad.

La mera observación de la **figura 22.1**, pone de manifiesto la equivalencia de los criterios **VAN** y **TIR** en las situaciones de aceptación-rechazo de una inversión aislada. En efecto:

a) Para que una inversión sea aceptable desde el punto de vista del **VAN**, éste tiene que ser positivo, pero ello sólo ocurre cuando el tipo de interés calculatorio es menor que r_o.

b) Para que una inversión sea indiferente desde el punto de vista del **VAN**, éste tendrá que ser igual a cero, pero ello sólo ocurre cuando el tipo de interés calculatorio es igual a r_0.

c) Para que una inversión sea no aceptable desde el punto de vista del **VAN**, éste debe ser negativo, pero ello solo ocurre cuando el tipo de interés calculatorio es superior a r_0.

2.9.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de liquidez

La **liquidez de un proyecto de inversión** se asimila, en general, a la **rapidez** con la que el mismo es capaz de generar los fondos suficientes para compensar el desembolso en que se incurre con la inversión inicial.

Aunque existen varios criterios que permiten medir lo anterior, aquí sólo nos referiremos al criterio del período de recuperación, por ser el que con más frecuencia se menciona en la literatura y se utiliza en la práctica.

Se entiende por **período de recuperación (z) de una inversión**, el tiempo que transcurre hasta que los cobros acumulados igualan o superan a los pagos acumulados. Esta comparación se efectúa frecuentemente manejando sumas no actualizadas, siendo el período de recuperación aquel valor del tiempo, **z**, para el que se verifica:

$$\sum_{t=1}^{z} Q_t \geq A$$

Y cuando utilizamos valores actualizados:
siendo:

$$\sum_{t=1}^{z} \frac{Q_t}{(1+r)^t} \geq A$$

A = Desembolso inicial
Q_t = Flujo neto de caja del año t
z = Periodo de recuperación de la inversión
r = Tipo de interés calculatorio

El **período de recuperación utilizando valores no actualizados** tiene dos importantes deficiencias, a saber:

a) Sólo se considera el período de tiempo hasta la recuperación del capital invertido, no considerándose, por tanto, lo que sucede a partir de ese momento.

b) No se tiene en cuenta el valor temporal del dinero.

El **método dinámico del período de recuperación** supera este último inconveniente al jugar con valores actualizados de los flujos de cobros y pagos, pero sigue adoleciendo del primero de los inconvenientes mencionados.

Desde este criterio, las inversiones serán juzgadas tanto más interesantes cuanto más corto sea su período de recuperación. La aplicación del criterio en forma estricta lleva a la fijación de un valor (z_o), por encima del cual no es aceptado ningún proyecto.

El método es muy usado en la práctica debido a su facilidad de cálculo y comprensión, defendiéndose su aplicación en inversiones con un alto nivel de riesgo y fondos alejados en el tiempo y afectados de una muy baja probabilidad de ser conseguidos. Nosotros pensamos que la verdadera utilidad del criterio no está en su empleo aislado en la valoración de proyectos, sino en su uso como criterio complementario, acompañando a los que miden la rentabilidad.

2.10.- La valoración de proyectos de inversión: criterios que tienen en cuenta el riesgo.

Por **riesgo** se entiende las posibles variaciones en la rentabilidad de la inversión, originadas por la falta de certeza en la predicción de los valores que pueden tomar los parámetros de los que depende el flujo neto de caja. Lo normal es que dicha predicción, al contrario de lo supuesto hasta ahora, no pueda hacerse con absoluta certeza. El futuro siempre es incierto y a lo más que se puede aspirar es a establecer unos intervalos de variación para las distintas variables de las que depende la bondad del proyecto. Cuanto menor sea la amplitud dentro de la que se pueden mover los valores de las variables, menor será el intervalo de variación del resultado y, por tanto, el riesgo, pero nunca nos encontraremos, por desgracia, ante intervalos de valor cero o, lo que es equivalente, ante la certeza absoluta sobre los valores de las variables y como consecuencia, de los resultados.

Existen diferentes métodos que permiten incorporar el **riesgo** en los criterios **VAN** y **TIR**. Aquí vamos a tratar sólo uno de ellos, por considerarlo el más operativo en el ámbito de reflexión de este trabajo, pues la aplicación de otros más sofisticados toparía con dificultades insalvables, derivadas de la falta de la información necesaria para su aplicación. Nos referimos al **análisis de sensibilidad**.

Pero ello lo haremos no sin antes referirnos, siquiera sea brevemente, al **método del período de recuperación y** al **método del ajuste de la tasa de actualización**.

Además de como método o criterio para medir la liquidez, el **período de recuperación** suele también ser usado en la apreciación del **nivel de riesgo de las inversiones**. El principio que prima al respecto es que las inversiones incorporarán tanto **más riesgo cuanto mayor sea el período de recuperación**, por la simple razón de que la previsión del comportamiento futuro de los flujos es tanto más difícil cuanto más alejados en el tiempo se sitúen éstos. A pesar de su uso frecuente en el análisis de inversiones, no deja de ser un procedimiento poco sofisticado que lleva a una medición poco rigurosa del riesgo, pero como instrumento complementario sí representa, a nuestro entender, una contribución positiva.

El **ajuste de la tasa de actualización** a las condiciones de incertidumbre es posiblemente la forma más sencilla de **introducir el riesgo en el proceso de selección de inversiones**, pues consiste en añadir a la tasa de actualización **r**, propia de las inversiones sin riesgo o con riesgo normal, una prima, **p**, más o menos elevada en función del nivel de riesgo que se estima acompaña a la inversión objeto de análisis y valoración. El problema, a la hora de su aplicación, es de orden operativo: **¿ cuánto debe valer p ?**. Es una pregunta de respuesta nunca fácil, pues siempre se tendrá la duda sobre la pertinencia del valor fijado.

2.10.1.- El análisis de sensibilidad basado en la determinación de valores críticos.

Se trata de ver la sensibilidad del resultado obtenido bajo condiciones de certeza, al variar los valores inicialmente asignados a las distintas magnitudes que configuran el flujo de fondos de la inversión. De esta manera se tiene una idea del grado de confianza asociado a dicho resultado.

Para ello se ha de **determinar el valor crítico** o valor límite de cada una de las magnitudes que caracterizan el flujo de fondos de la inversión en cuestión, entendiendo por tal, aquel valor de la variable en estudio para el que el VAN del proyecto se hace cero, a igualdad de todo lo demás. Si la magnitud que estamos considerando es de las que contribuyen a la configuración del flujo de cobros, el valor crítico se corresponde con el límite por debajo del cual el proyecto deja de ser viable. Por el contrario, si la magnitud en cuestión contribuye a la configuración del flujo de pagos, su valor crítico establece el límite por encima del cual la inversión dejal de ser viable.

Por razones metodológicas, el cálculo de valores críticos se ha de hacer de forma individualizada para cada una de las magnitudes consideradas importantes, permaneciendo constantes los valores de las restantes variables de las que depende el flujo de caja.

Por consiguiente, si hay **h** variables sometidas a análisis, se habrá de resolver **h** veces la ecuación representativa del **VAN,** igualando ésta a cero y poniendo como incógnita la varia-

ble representativa de la dimensión a investigar. Es decir, habrá que resolver **h** veces la siguiente ecuación:

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t - P_t}{(1+r)^t} = 0$$

situando cada una de las veces como incógnita a la variable que corresponda. Así por ejemplo, si en la fórmula anterior consideramos como incógnita el desembolso inicial, **A**, el valor encontrado al resolver la ecuación nos dice hasta donde puede subir el importe del desembolso inicial sin que el proyecto deje de ser viable, pues para valores superiores el VAN se haría negativo, que es la condición de no-aceptabilidad.

Resulta fácil darse cuenta de que el método ya se aplicó cuando expusimos los fundamentos del criterio **TIR**, pues el cálculo del mismo equivale a determinar el valor de **r** por encima del que la inversión deja de ser interesante.

La aplicación del método resulta particularmente interesante en aquellas situaciones en las que, por falta de información precisa, no es posible estimar el valor numérico más probable de alguna o algunas de las magnitudes relevantes de la inversión. En esos casos se determinará el **valor crítico**, debiendo el decisor ver a continuación si, según su opinión, el valor futuro de la variable, será realmente superior o inferior al valor critico encontrado.

Dentro del **análisis de sensibilidad** existe **otro enfoque** de posible aplicación, que consiste en generar **tres flujos de caja alternativos** (el inicial o **más probable**, el **optimista** y el **pesimista**), calculando a continuación los índices de rentabilidad para cada uno de ellos. Es otra forma de aumentar el corpus de información a disposición del decisor, si bien nosotros preferimos el enfoque basado en la determinación de valores críticos, debido a que el conocimiento de los mismos permite al decisor considerar en la decisión su particular aversión al riesgo.

De cualquier forma, salvo que se aborde el análisis del riesgo mediante modelos de probabilidad, **el análisis de sensibilidad,** bajo una u otra modalidad**, debe acompañar al VAN y a la TIR calculados en condiciones de certeza**, pues, cualquiera que sea el enfoque elegido, la información adicional generada con su uso, contribuirá, sin duda, a la mejora de la calidad y de la pertinencia de las decisiones tomadas.

PARTE II. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA TRANSFORMACIÓN EN REGADÍO DEL OLIVAR DE SECANO: CASO DE APLICACIÓN

1.- Introducción

El importe unitario (por hectárea, por planta, etc.) de la transformación en regadío suele ser elevado, cualquiera que sea la modalidad de aprovisionamiento del agua necesaria para regar. Por ello, resulta sumamente conveniente conocer con anterioridad a la ejecución de los proyectos, la viabilidad de los mismos desde el triple punto de vista de la **rentabilidad**, de la **liquidez** y del **riesgo**, mejorando de esta manera la calidad de las decisiones tomadas y asegurando así la existencia rentable de la empresa a largo plazo.

La valoración de proyectos de transformación de secano en regadío de plantaciones de olivar ya existentes se apoyará, lógicamente, en el flujo neto de fondos que se obtiene al detraer del flujo de fondos *con* el proyecto, el flujo *sin* el proyecto. Es lo que se conoce con el nombre de **flujo de fondos incremental**.

Antes de proceder a la caracterización del proyecto y confección de su flujo de fondos, debemos efectuar una serie de puntualizaciones que ayudarán a la realización del análisis y facilitará la interpretación de los resultados. Dichas puntualizaciones afectan tanto al coste de la inversión como al de funcionamiento de la explotación, refiriéndose a lo siguiente:

a) **Tipo de instalación**: dependerá del tipo de suelo y de las necesidades hídricas del cultivo (tipo de plantación, climatología, etc.), que determinan en gran medida el sistema de riego a emplear, así como el caudal a manejar, el cual depende a su vez del gasto de los emisores y del número de sectores de riego.

b) **Tamaño de la parcela**: evidentemente cuando se realiza un proyecto para parcelas de grandes dimensiones o comunidades de regantes, el coste por hectárea de las instalaciones es sensiblemente inferior al coste en las pequeñas explotaciones.

c) **Densidad de plantación**: cuando se proyecta una instalación, el coste por olivo será inferior en una plantación intensiva que en otra tradicional, pues los metros de tubería por olivo son inferiores a los empleados en una plantación con marco tradicional, aunque para unas características agroclimáticas dadas, el coste final por hectárea en plantaciones intensivas será muy superior.

d) **Desnivel geométrico**: la variabilidad de los costes de bombeo son grandes ya que existen unas instalaciones que riegan con aguas superficiales cercanas a la parcela a regar y topografía muy llana y otras que necesitan bombear agua hasta parcelas lejanas, situa-

das en cotas de 200-300 metros sobre el punto de bombeo, lo que se traduce en un alto coste del metro cúbico de agua utilizado.

e) **Disponibilidad de agua**: es el factor que en mayor medida va a determinar la rentabilidad del proyecto, ya que, dentro de ciertos límites, la capacidad productiva del olivar depende de la cantidad de agua aportada, y de ello va a depender el que se puedan mantener árboles de mayor o menor tamaño y, por tanto, más o menos productivos.

2.- Evaluación financiera de la inversión: componentes de los flujos de costes (pagos) y de ingresos (cobros).

A continuación se describe el proceso a seguir en el cálculo de las distintas partidas configuradoras de los flujos constitutivos de la inversión, especificando los elementos que intervienen en el análisis:

2.1.- Importe y horizonte económico de la inversión.

En la cuantificación de los costes de inversión se incluirán los costes de todos y cada uno de los componentes de la instalación. Cada instalación de riego es diferente y con una complejidad determinada, dependiendo de la topografía del terreno, del tipo de suelo, de la densidad de plantación del olivar, de la disponibilidad de agua, etc. El coste de una instalación depende igualmente de las prestaciones exigidas a dicha instalación y de los elementos que la constituyen, como equipo de bombeo, tamaño de balsa de almacenamiento y/o regulación, cabezal de riego, sistema de distribución y emisores. En el momento actual dicho coste final se sitúa entre los 2.000 y 4.000 €/ha, siendo mayor, lógicamente, en el caso de una plantación intensiva que en el caso de un olivar tradicional; y mayor aún cuando se proyecta una instalación de riego que permita aportar el agua necesaria para cubrir las máximas necesidades del cultivo. En un suelo con escasa capacidad de almacenar agua (poco profundo o poco profundo y arenoso) que obligue a disponer de una instalación capaz de regar diariamente en verano y mojando una gran superficie, la inversión es mucho mayor que la que habría que realizar en un suelo con gran capacidad de almacenamiento, situación esta última en la que las dotaciones y caudales punta serían menores

Se supone una duración del proyecto igual a diez años, coincidente con la vida media estimada a las instalaciones de regadío con características similares a las de la inversión aquí considerada.

2.2.- Costes de producción.

A continuación se enumeran y analizan las partidas que es necesario considerar para el cálculo de los costes de producción en el cultivo del olivar. Más adelante se realizará el desglose pormenorizado del coste medio para una explotación (empresa) concreta.

2.2.1.- Costes debidos al riego

a) Coste de la energía en el bombeo del agua de riego

Debe contemplarse el consumo de energía necesario para impulsar el agua desde el punto de bombeo hasta cada uno de los olivos de la plantación que vamos a regar. Ello supone una partida importante dentro del coste total de producción. Más adelante (ver 3.4 g), se expone la metodología seguida en el cálculo de esta partida.

b) Costes fijos de riego

Este coste se establece para cada explotación o comunidad de regantes. En él se incluye tanto el canon de regulación cobrado por la Confederación Hidrográfica (€/ha), como los gastos generales de mano de obra en la aplicación del riego y en el mantenimiento de las instalaciones comunes (revisión de la instalación, fertirrigación, reparaciones de averías, etc).

c) Mantenimiento de la instalación de riego por el agricultor en su parcela

Se refiere al coste a aplicar en el caso de las fincas en las que se riega en comunidades de regantes. Además del coste fijo anterior, se incluiría el de revisión de goteros por parte del agricultor y el originado por la reparación de sus propias averías.

2.2.2.- Costes ajenos al acto de regar

a) Abonado

Para establecer unas condiciones medias hemos elegido, tanto para secano como para regadío, las dosis de abonado de acuerdo con las recomendaciones del capítulo 17, cuya aplicación se especifica más adelante. Como para el resto de las partidas que siguen, a efectos de cálculo, se deberá considerar sólo la diferencia de coste existente entre una plantación en regadío y otra en secano de similares características.

b) Poda y desvareto

Consideramos tanto la poda como el desvareto y la eliminación de los restos de poda. Se deberá tener en cuenta al respecto, que en regadío la poda es anual y en secano, bianual.

c) Mantenimiento de suelo

Tanto en secano como en regadío, la cuantía del coste correspondiente a este concepto suele ser muy variable, ya que depende de la orografía de la parcela y del sistema peculiar adoptado por cada agricultor, según su propio criterio.

d) Tratamientos fitosanitarios

Cuando una parcela se encuentra en regadío, el volumen de la copa y frondosidad suelen ser muy superiores a los de las plantaciones de secano. Ello ocasiona que la probabilidad de ataque de hongos (repilo fundamentalmente) sea mayor que en secano, debido a una menor aireación dentro de la copa, por lo que puede ser necesario mojar los árboles con un mayor volumen de agua en cada tratamiento y, en ocasiones, realizar un mayor número de tratamientos. Entre las plagas y enfermedades más frecuentes que pueden aparecer en una plantación de riego se encuentra el repilo (*Spilocaea oleagina*) y el vivillo o aceituna jabonosa (*Colletotrichum gloeosporioides*). Normalmente se aprovechan estos tratamientos para aplicar simultáneamente los abonos foliares, técnica de contrastada eficacia en olivar.

e) Recolección

El olivar es un cultivo que presenta importantes oscilaciones en el volumen unitario de producción entre campañas, lo que afecta a la cantidad de mano de obra necesaria para la recolección de aceituna. Independientemente de lo anterior, y por razones de eficiencia, el empleo de maquinaria adecuada a cada situación se suele simultanear con el de la mano de obra.

f) Transformación del producto en la almazara

Da lugar a costes derivados de la molturación de la aceituna y extracción del aceite. A ello hay que añadir los costes en concepto de limpieza, envasado y comercialización de la aceituna. Algunas almazaras industriales incluyen en este coste el transporte desde la finca a fábrica.

2.3.- Ingresos por venta del aceite y subvenciones a la explotación.

Los ingresos percibidos en olivar vienen desglosados en dos conceptos:

- **Ingresos por la venta del producto**: es el importe percibido por el agricultor por los kilogramos de aceite producidos y vendidos a un determinado precio.

- **Ayudas UE**: la ayuda establecida por la Unión Europea es en este momento de 1'33 € (220 ptas) por kilogramo de aceite producido, siempre que no exista penalización para el país productor por sobrepasar en el año de referencia la Cantidad Nacional Garantizada. En nuestro país en la mayoría de los años se supera dicha cuota, lo que origina una penalización media del 30%, aproximadamente. Ello hace que la ayuda por kilogramo de aceite realmente recibida, sea notablemente inferior a la cifra inicialmente establecida para nuestro país.

Para la determinación de la cosecha media prevista de la plantación, tanto en secano como en regadío, utilizamos un modelo de simulación de producción, en el que ésta se calcula en función de la superficie exterior de la copa de los árboles, según la siguiente expresión (ver capítulo 17):

$$\textbf{Producción (kg/ha)} = S \times ic = N \times \pi \times D \times H \times ic$$

La producción está expresada en kilogramos de aceituna con un 20% de rendimiento graso, siendo **S** la superficie exterior (m^2/ha) de la copa de los olivos, que se puede estimar realizando mediciones del diámetro medio de la planta **D** (m) y de la altura media de la copa del árbol **H** (m); **N** es el número de olivos por hectárea y finalmente **ic** es el índice de cosecha, que se define como los kilogramos de cosecha por unidad de superficie externa del árbol (m^2). Este último parámetro se ha determinado experimentalmente, siendo los valores para regadío y secano los que se indican a continuación:

ic = 0,65-0,85 para un olivar de regadío
ic = 0,25-0,35 para un olivar de secano

3.- Evaluación financiera de la inversión: ejemplo de aplicación

El caso al que vamos a aplicar la metodología general descrita, hace referencia a una explotación tipo de olivar con marco de plantación de 10x10, árboles adultos de secano en plena producción y con el coste de plantación ya amortizado. El propietario decide transformar su parcela en riego por goteo, para lo cual contrata a una empresa que le hace el proyecto de regadío y el correspondiente presupuesto de inversión. En una primera instancia se supone que la financiación de la inversión se realiza con capital propio exclusivamente, exigiéndole a la inversión una rentabilidad mínima del 5,50%, siendo éste, por tanto, el **tipo de interés calculatorio** a manejar en nuestras operaciones.

En la evaluación de la inversión proyectada se considerarán los distintos criterios estudiados en la Parte I de este capítulo. Empezaremos refiriéndonos a los **criterios de rentabilidad** en condiciones de certeza (**VAN** y **TIR**), después traeremos a colación el **criterio del perío-**

do de recuperación de la inversión, para acabar aplicando el **análisis de sensibilidad** basado tanto en la determinación de valores críticos, como en la generación de escenarios de evaluación alternativos.

3.1.- Características agronómicas de las parcelas y producción media esperada.

a) Características de la plantación y producción media esperada en regadío

Datos agronómicos de la parcela una vez transformada en regadío:

- Disponibilidad de agua de riego: 1.500 m^3/ha.
- El volumen de copa de los olivos es de 9.000 m^3/ha, lo que se consigue con árboles de 4,67 metros de altura y 6,07 m de diámetro.
- Producción media esperada suponiendo un índice de cosecha de 0,75 kilogramos de aceituna por metro cuadrado de superficie productiva:

Superficie productiva: $S = N \times \pi \times D \times H = 100 \times 3.14 \times 6,07 \times 4,67 = 8.905$ m^2/ha

Producción en regadío: $P = S \times ic = 8.905$ m^2/ha $\times$ 0,75 kg/m^2 = **6.675 kg/ha**

b) Características de la plantación y producción media esperada en secano

- Datos agronómicos de la parcela explotada en secano:
- El volumen de copa es de 7.000 m^3/ha, lo que se consigue con árboles de 4,29 m de altura y 5,58 metros de diámetro.
- Producción media esperada suponiendo un índice de cosecha de 0,35 kilogramos de aceituna por metro cuadrado de superficie productiva:

Superficie productiva: $S = N \times \pi \times D \times H = 100 \times 3.14 \times 5,58 \times 4,29 = 7.520$ m^2/ha

Producción en secano: $P = S \times ic = 7.520$ m^2/ha $\times$ 0,35 kg/m^2 = **2.632 kg/ha**

3.2.- Los costes de producción: partidas y prácticas de cultivo consideradas.

3.2.1.- Costes de producción considerados en regadío

a) Abonado

Se realiza una aportación de fertilizantes aplicando la técnica de fertirrigación; las dosis de nutrientes a aportar se determinan en función de la producción media esperada.

b) Poda y eliminación de restos de poda y desvareto

La poda se realiza anualmente, empleando motosierra, triturándose mecánicamente los restos de poda. En verano se hace el desvareto de brotaciones producidas en los pies a lo largo de la estación de crecimiento (desvareto). Más adelante se desglosan los rendimientos horarios en cada una de las mencionadas operaciones.

c) Mantenimiento de suelo

En cultivo de **regadío** se practica un **semilaboreo**, dejando las bandas bajo las copas de los olivos sin labrar, con un ancho de banda un metro mayor que el diámetro medio de la copa de los olivos, a cada lado. La banda se trata con herbicidas (terbutilazina) en preemergencia de las malas hierbas (3 litros/ha de formulado comercial) empleando una barra instalada en el tractor, tratamiento que debe hacerse con suficiente antelación a la caída al suelo de la aceituna. Se realizará un segundo tratamiento en primavera en postemergencia de las malas hierbas empleando 2 kg/ha de diuron (formulado comercial) más 3 litros de glifosato (p.c. 36%). En verano se hace un tratamiento de parcheo sobre los rodales de hierba, empleando 1 litro/ha de glifosato (p.c. 36%) en tratamiento con mochila, operación con un coste en mano de obra de 0,5 jornales / ha. También en verano se soplan los suelos de los olivos para eliminar la hoja caída, facilitándose así la recolección de las aceitunas en el supuesto de que se produzca caída natural de frutos al suelo tras la maduración. En esta operación se invierten 0,5 jornales / ha de mano de obra y máquina sopladora de mochila.

d) Tratamientos fitosanitarios

Se realizan anualmente tres aplicaciones: la primera en primavera contra repilo (cobre + nitrato potásico al 2,5% + urea al 1%), la segunda al final de la primavera contra prays (dimetoato +cobre, si fuese necesario + nitrato potásico 2,5 % + urea al 1,0 %) y la tercera en otoño contra repilo (cobre + nitrato potásico al 2,5 % + urea al 1,0 %). En cada tratamiento se aplican 10 litros de caldo por árbol. Las aplicaciones se hacen con atomizador, operación en la que en tratamiento a dos caras por el centro de la calle, se consumen 0,75 horas /ha.

e) Recolección

Dado el tamaño de la explotación se supone que se realiza de forma semimecanizada, empleando vibradores manuales de mochila con motor de gasolina, ayudando el derribo con vareo. La aceituna se recoge sobre lienzos de malla de plástico. Se supone que el 25 % del fruto cae al suelo de forma natural y que su recolección se hace por barrido y soplado, separando *suelo y vuelo*. La retirada del fruto de la parcela una vez recogido, se hace empleando un tractor con grúa (pluma) y remolque.

f) Transformación de aceituna y comercialización

El proceso y coste asociado dependerán de la cooperativa o almazara industrial a la que se lleve el fruto para la extracción del aceite y posterior comercialización de éste.

g) Costes imputables al riego

En estos costes se incluyen los costes de bombeo del agua a la parcela, mantenimiento de las instalaciones, reparaciones y aplicación de los fertilizantes en fertirrigación.

3.2.2.- Costes de producción considerados en secano

Los costes de producción en cultivo de **secano** se calculan según las prácticas de cultivo que, a continuación, se especifican para cada concepto o partida:

a) Abonado

A los árboles se les aporta al suelo y con abonadora 1,5 kilogramos de urea por olivo, además de los fertilizantes incluidos en los tratamientos foliares.

b) Poda y desvareto

Se realiza cada 2 años, empleando motosierra y triturando mecánicamente los restos de poda. En verano se realiza el desvareto para eliminar las brotaciones de los troncos y pies. Más adelante se especifican los rendimientos horarios de cada una de las mencionadas operaciones.

c) Mantenimiento de suelo

Se realiza un semilaboreo mediante una labor cruzada en centro de las calles, dejando la zona bajo la copa de los olivos sin labrar (un cuadrado de 7 x 7, equivalente al diámetro de copa más 1,5 m). Los suelos se tratan en otoño, en preemergencia de la hierba y antes de la caída de la aceituna, con un herbicida residual, utilizando para la aplicación una barra de herbicida. Además se hace una aplicación de parcheo con mochila sobre rodales de malas hierbas en primavera, empleándose 1 litro de glifosato/ha y mano de obra igual a 0,5 jornales / ha.

d) Tratamientos fitosanitarios

Se realiza el mismo número de tratamientos y con los mismos productos y concentraciones que en regadío, pero debido al menor volumen de la copa de los olivos se aplican 6 litros de caldo por árbol en lugar de diez.

e) Recolección

En las mismas condiciones que se expusieron para el olivar de regadío. El rendimiento de la mano de obra será más bajo que en el olivar de riego, debido a la menor producción unitaria.

f) Transformación de aceituna y comercialización

El proceso y coste asociado dependerán también ahora de la cooperativa o almazara industrial a la que se lleve el fruto, una vez realizada la recolección.

3.3.- Costes unitarios de la maquinaria empleada en las tareas de cultivo, incluida la mano de obra necesaria en su manejo, y costes unitarios de jornales.

Los costes de los trabajos agrícolas dependen de las condiciones de cada explotación. Tomamos como representativos para 2003 los recogidos en la **tabla 22.3,** obtenidos mediante capitalización de precios correspondientes a 2001. Para efectuar dicha capitalización hemos utilizado la tasa de crecimiento interanual (septiembre-septiembre) del nivel general de precios.

Tabla 22.3 : Costes unitarios de maquinaria y costes de jornales en cultivo de olivar. Año 2003.

Labores y utilización de maquinaria	Coste de maquinaria
Tractor con cultivador	26,8 €/hora
Tractor con vibrocultivador	23,6 €/hora
Tractor con rulo	23,6 €/hora
Tractor con abonadora	23,6 €/hora
Tractor con grada de discos	28,9 €/hora
Tractor con grada de discos	28,3 €/hora
Tractor con barra de herbicidas y cuba	26,8 €/hora
Tractor con atomizador	28,3 €/hora
Tractor con picadora de restos de poda	34,6 €/hora
Tractor con remolque y pluma cargadora	23,6 €/hora
Transporte	9,45 €/tonelada
Vibrador manual de ramas	34,6 €/día
Motosierra	22,0 €/día
Sopladora	11,5 €/día
Jornal del mano de obra (6 horas y 20 minutos)	40,9 €/día
Jornal del podador	47,2 €/día

(Fuente: J. Gil Ribes , 2001

3.4.- Costes de producción por hectárea en regadío.

a) Abonado en fertirrigación

Como se comentó antes, este abonado se realiza en función de las extracciones de la cosecha y teniendo en cuenta que la producción estimada es de 6.675 toneladas por hectárea. Las aportaciones totales de principios fertilizantes, incluidas las correcciones por análisis de suelo y foliar, son:

Nitrógeno:	6,675 t x 15 kg/t = 100,1 kg de N/ha
Fósforo:	6,675 t x 5 kg/t = 33,37 kg de P_2O_5/ha
Potasio:	6,675 t x 20 kg/t = 133,5 kg de K_2O/ha

Una parte de estas necesidades totales son aportadas en los tratamientos foliares, aportándose el resto mediante fertirrigación. La distribución del total aportado entre las dos modalidades, es como sigue:

- Aportación en tratamientos foliares:

Nitrato potásico (13 %N):	3.000 l/ha x (2,5 kg / 100 l) x (13 / 100) = 9,75 kg/ha
Nitrato potásico (46 %K_2O):	3.000 l/ha x (2,5 kg / 100 l) x (46 / 100) = 34,5 kg/ha
Urea (46 % N):	3.000 l/ha x (1,0 kg / 100 l) x (46 / 100) = 13,8 kg/ha

- Aportación en fertirrigación:

Nitrógeno (N):	100,1 kg total – (9,75+13,8) kg en aplicación foliar = 76,55 kg/ha
Fósforo (P_2O_5):	33,37 kg /ha
Potasio (K_2O):	133,5 kg total – 34,5 kg en aplicación foliar = 99,0 kg/ha

Para proporcionar el nitrógeno se utiliza el compuesto N-32, que es una solución de urea y nitrato amónico con riqueza total del 32 % (p/p) de nitrógeno. El fósforo se aporta en forma de ácido fosfórico con el 52 % de P_2O_5 y el potasio en forma de cloruro potásico, con una riqueza del 60 % de K_2O. Las cantidades resultantes por hectárea, son:

N-32:	76,55 kg/ha x 100/32 = 239,2 kg/ha
Ácido fosfórico:	33,37 kg/ha x 100/ 52 = 64,2 kg/ha
Cloruro potásico:	99,00 kg/ha x 100/60 = 165,0 kg/ha

Siendo el coste por hectárea de cada uno de los conceptos, el siguiente:

N-32:	239,2 kg/ha x 0,16 €/kg = 38,3 €/ha
Ácido fosfórico:	64,2 kg/ha x 0,24 €/kg = 15,4 €/ha

Cloruro potásico: 165,0 kg/ha x 0,31 €/kg = 51,1 €/ha

El coste total de los **fertilizantes** utilizados en fertirrigación es, por consiguiente:

38,3 €/ha + 15,4 €/ha + 51,1 €/ha = **104,8 €/ha**

b) Poda y desvareto

En una jornada normal de trabajo se pueden podar en torno a 75 árboles sin *escamujar* la leña, siendo el coste de la operación:

- Mano de obra: [100 olivos/ha / 75 olivos/día] x 47,2 €/día = 62,9 € /ha
- Motosierra: [100 olivos/ha / 75 olivos/día] x 21 €/día = 28 €/ha

Total = 90,9 € /ha

El coste propio del *escamujado* asciende a:

- Mano de obra: 1,5 jornales / ha x 40,2 €/jornal = 60,3 €/ha
- Motosierra: 1 jornada / ha x 21 €/jornal = 21 €/ha

Total = 81,3 € /ha

La **leña fina de poda** se pica con una trituradora cuya velocidad de desplazamiento es de 0,1 metros por segundo y si una hectárea tiene 100 árboles a un marco de 10x10 metros, la distancia que tiene que recorrer el tractor son de 1.000 metros. En consecuencia, el tiempo empleado por hectárea sería :

[1000 m/ha / 0,1 m/s] / 3.600 s/h = 2,75 horas/ha

ascendiendo el coste total de la operación a :

- Coste de empleo de la trituradora : 2,75 h/ha x 34,6 €/h = 95,15 €/ha
- Mano de obra en alimentación de la trituradora : 2,75 h/ha x 6,5 €/ha =17,9 €/ha

Total = 113,05 € /ha

Se considera que la **leña gruesa** se retira y se vende a un precio que sólo compensa los gastos de la operación (carga en remolque y transporte).

Coste de desvareto: 1 día / ha x 40,9 €/día = 40,9 €/ha

Por consiguiente, el coste total en concepto de **poda y desvareto** sería igual a **326,15 €/ha**.

c) Mantenimiento de suelo

Laboreo:
- 2 horas de cultivador/ha x 26,8 €/hora = 53,55 €/ha
- 2 hora de grada/ha x 28,3 €/hora = 56,6 €/ha
- 1 hora de vibrocultivador x 23,6 €/hora = 23,6 €/ha
- 1 hora de rulo x 23,6 €/hora = 23,6 €/ha

Total coste **laboreo = 157,45 €/ha**

Aplicación de herbicidas a *todo el terreno*:

- Maquinaria: 2 aplicaciones x 0,75 horas/ha x 26,8 €/ha = 40,2 €/ha
- Productos:
  - Terbutilazina (formulado comercial) = 3,0 l/ha x 7,0 €/l = 21,0 €/ha
  - Diuron (formulado comercial) = 2,0 kg/ha x 7,2 €/kg = 14,4 €/ha
  - Glifosato (formulado comercial) = 3,0 l/ha x 5 €/l = 15 €/ha

El coste total por consumo de herbicidas sería de 50,4 €/ha si la superficie aplicada coincidiera con la superficie total, pero como se deja sin tratar una banda en las líneas de los árboles, que ocupa aproximadamente el 30 % de la superficie, el coste definitivo por **herbicidas** resulta ser:

50,4 €/ha x 0,7 = **35,28 €/ha**

Aplicación de herbicidas en *parcheo con mochila* sobre rodales de malas hierbas en verano:

Un litro de glifosato/ha x 5 €/l = 2,5 €/ha
Mano de obra: 1,0 jornal / ha x 40,9 €/jornal = 40,9 €/ha
Total = 43,4 €/ha

Eliminación de hojas bajo la copa del árbol:

- Mano de obra: 0,5 jornales/ha x 40,9 €/jornal = 20,45 €/ha
- Sopladora : 0,5 jornales/ha x 11,5 €/jornal = 5,75 €/ha

Total = 26,2 €/ha

El coste total del **mantenimiento de suelo** asciende, por tanto, a:

157,45 €/ha + 40,2 €/ha + 35,28 €/ha + 43,4 €/ha + 26,2 €/ha = **302,58 €/ha.**

d) Tratamientos fitosanitarios

Maquinaria: 3 aplicaciones x 0,75 horas/ha x 28,3 €/hora = 63,7 €/ha

Productos fitosanitarios: 10 litros de caldo por olivo, por 100 olivos por hectárea, por 3 aplicaciones al año, da un total de 3000 litros de caldo por hectárea y año, que implica los siguientes consumos y costes:

- Sulfato de cobre: 3.000 l/ha x (0,8 kg/100 l) x 2,25 €/kg = 54 €/ha (3 aplicaciones)
- Urea: 3.000 l/ha x (1,0 kg/100 l) x 0,18 €/kg = 5,4 €/ha (3 aplicaciones)
- Nitrato potásico: 3.000 l/ha x (2,5 kg/100 l) x 0,55 €/kg = 41,20 €/ha (3 aplicaciones)
- Dimetoato : 1.000 l/ha x (0,125 l/100 l) x 6 €/l = 7,5 €/ha (1 sola aplicación)

El coste total de **aplicación de fitosanitarios** es, por consiguiente:

63,7 €/ha + 54 €/ha + 5,4 €/ha + 41,20 €/ha + 7,5 €/ha = **171,8 €/ha.**

e) Recolección de aceituna

Como se dijo anteriormente, la **recolección es semimecanizada** empleando un vibrador manual con motor de gasolina, recogiéndose de este modo el 75 % de la aceituna total desde el árbol y el 25 % restante (aceituna en suelo) utilizando una sopladora y rastrillos. Para cargarla en el remolque se utiliza un tractor con grúa que recoge las sacas en las que los operarios han depositado la aceituna. Un equipo de seis personas abastece un vibrador manual mientras que otras tres personas realizan la carga y recolección de *suelos*. Se considera un rendimiento global de recolección de 475 kg/persona/día, cifra que lleva a los siguientes costes:

- Mano de obra: [6.675 kg / ha/ 475 kg / jornal] x 40,9 €/jornal = 574,75 €/ha
- Vibrador: [6.675 kg / ha/ 475 kg / jornal] x [34,6 €/jornada máquina / 6 jornales] = 81,04 €/ha
- Sopladora: 1 día/ha x 11,5 €/día = 11,5 €/ha
- Tractor con grua y remolque: 2,5 horas/ha x 23,6 €/hora = 59,0 €/ha
- Transporte de aceituna a la almazara: 6,675 t/ha x 9,45 € / t = 63,08 €/ha

En la evaluación del coste de desplazamiento al campo, se considera que el trabajador va por sus propios medios y que el empresario le compensa con 3,0 € / día. Como el número de jornales empleados por hectárea es 14,05 (6.675 kg/ha / 475 kg/día), el coste total de desplazamiento a la parcela es igual a:

3,0 €/jornal x 14,05 jornales / ha = 42,15 €/ha

Los costes totales de **recolección** ascienden, por tanto, a:

574,75 €/ha + 81,04 €/ha + 11,5 €/ha + 59,0 €/ha + 63,08 €/ha + 42,15 €/ha = **831,52 €/ha**

f) Transformación de la aceituna y comercialización

El coste total anual estimado asciende a: 6,675 t / ha x 35 € / t = **233,62 € / ha**

g) Costes de bombeo del agua de riego

Para conocer el consumo necesario de energía para llevar el agua a la presión requerida desde el punto de bombeo hasta cada uno de los olivos a regar, deben realizarse los siguientes cálculos (ver capítulo 12):

Cálculo de la **potencia P requerida para bombear el agua** hasta el olivar:

$$\textbf{Potencia (cv)} = \textbf{Q (m}^3\textbf{/h) x Hm (m) / 270 x } \eta$$

Siendo **Q** el caudal utilizado, **Hm** la altura manométrica (suma del desnivel geométrico, las pérdidas de carga y la presión de trabajo) y η el rendimiento de la bomba que suele variar entre 0,6 y 0,7, según marca y modelo.

Cálculo de la **energía consumida** (kw.h):

Energía (kw.h) = Potencia (cv) x 0.736 (kw/cv) x número de horas de funcionamiento

Para calcular el **coste de bombeo** en una campaña, sólo hay que multiplicar por el precio del kw.h, que depende del tipo de tarifa contratada por el usuario:

Coste de la energía (€/campaña) =Energía (kw.h) x precio de la energía (€/kw.h)

En el caso que estamos analizando suponemos una dotación anual de agua de **1.500 m³/ha** y un coste de **0,18 €/m³**, por lo que el coste energético anual ascenderá a:

Coste (€/ha) = 0,18 €/m³ x 1.500 m³/ha = **270 €/ha**

Más adelante, al ocuparnos del estudio de la viabilidad del proyecto propiamente dicho, analizaremos cómo influye un aumento o disminución del coste por metro cúbico bombeado sobre la rentabilidad del proyecto (análisis de sensibilidad mediante la determinación del valor crítico de este factor).

h) Mantenimiento de la instalación, averías, revisión, etc

En esta operación se ha establecido un consumo medio de mano de obra igual a 1,80 jornales por hectárea y año, por lo que el coste de esta partida será:

1,8 jornales/ha x 40,9 € / jornal = **73,62 €/ha**

i) Canon de riego del organismo regulador de la cuenca

Se estima en una cantidad anual igual a 60 € / ha.

j) Costes indirectos

Se consideran equivalentes al 10 % de los costes directos totales.

3.5.- Importe de la inversión inicial en la transformación en regadío.

El coste de instalación (inversión inicial) se considera igual a **3.600 €/ha** en una hipótesis realista que refleja la situación actual de la transformación en regadío de olivares lejanos del punto de captación del agua y con la necesidad de realizar embalses para almacenamiento. Cuando no concurran estas circunstancias la inversión inicial puede ser notablemente inferior (alrededor de 2.600 €/ha). La magnitud de la inversión es uno de los componentes clave del proyecto. Por ello, en el momento de la evaluación del mismo, se procederá a la determinación de su valor crítico (análisis de sensibilidad del desembolso inicial). El **valor de recuperación de la inversión** inicial al final de la vida útil del proyecto, estimada como sabemos en 10 años, se considera igual a cero.

3.6.- Costes de producción por hectárea en secano

a) Abonado

- Maquinaria: 0,75 hora/ha x 23,6 €/ha = 17,7 €/ha
- Mano de obra: 0,17 jornales/ha x 40,9 €/jornal = 6,95 €/ha
- Urea: 1,5 kg/olivo x 100 olivos/ha x 0,18 €/ha = 27,0 €/ha

En consecuencia, el coste total por este concepto asciende a:

17,7 €/ha + 6,95 €/ha + 27,0 €/ha = **51,65 € /ha**

b) Poda y desvareto

Ejecución material de la poda:

- Mano de obra: [100 olivos/ha/ 75 olivos/día] x 47,2 €/día = 62,9 €/ha
- Motosierra: [100 olivos/ha/ 75 olivos/día] x 21,0 €/día = 28,0 €/ha
- Escamujado (mano de obra): 1 jornal / ha x 40,9 €/jornal = 40,9 €/ha
- Escamujado (motosierra): 1 jornal / ha x 21,0 €/jornal = 21,0 €/ha

Destrucción de restos de poda:

- Desbrozadora: 2,75 h/ha x 34,6 €/h = 95,15 €/ha
- Mano de obra alimentando desbrozadora: 2,75 h/ha x 6,5 €/h = 18,9 €/ha

El coste total de la **poda** es, por consiguiente:

62,9 €/ha + 28 €/ha + 40,9 €/ha + 21 €/ha + 95,15 €/ha + 18,9 €/ha = **266,85 €/ha** cada dos años, ascendiendo el coste anual equivalente a **133,4 €/ha**.

El desvareto se realiza todos los años. Su coste, en concepto de mano de obra, asciende a:

- Mano de obra: 1 jornal / ha x 40,9 €/día = 40,9 €/ha

En consecuencia, el coste total anual de las operaciones de **poda y desvareto** sería:

133,4 €/ha + 40,9 €/ha = **174,3 €/ha**

c) Mantenimiento de suelo

Laboreo:

- Tractor con cultivador: 1,5 horas/ha x 26,8 €/ha = 40,2 €/ha
- Tractor con grada de discos: 1,5 horas/ha x 28,3 €/ha = 42,5 €/ha
- Tractor con vibrocultivador: 0,75 horas/ha x 23,6 €/ha = 17,7 €/ha
- Tractor con rulo: 1,0 hora/ha x 23,6 €/ha = 23,6 €/ha

Total coste laboreo = **124,0 €/ha**

Aplicación de herbicidas:

- Maquinaria: 1 aplicación x 0,75 horas/ha x 26,8 €/ha = 20,1 €/ha
- Herbicida residual (terbutilazina + diuron): 3,0 l/ha x 7,0 €/l = 21,0 €/ha
- Glifosato (formulado comercial 36 %): 3,0 l/ha x 5 €/l = 15,0 €/ha

Como la superficie total cubierta por el herbicida es de 4.900 m^2/ha (7 x 7 m^2/olivo x 100 olivos/ha), el coste real de aplicación será, aproximadamente, el 50 % de la cantidad total resultante de la cuenta anterior. Es decir:

36 €/ha x 0,5 = 18,0 €/ha

Por consiguiente, el coste total en **mantenimiento de suelo** es:

124,0 €/ha + 20,1€/ha + 18,0 €/ha = **162,1 €/ha**

d) Tratamientos fitosanitarios

Maquinaria : 3 tratamientos x 0,75 horas/ha x 28,3 €/ha = 63,7 €/ha

Productos fitosanitarios: 6 litros de caldo por olivo, por 3 tratamientos/año, por 100 olivos/ha, da un total de 1.800 litros de caldo por ha, con los siguientes consumos y costes:

- Sulfato de cobre: 1.800 l/ha x (0,8 kg/100 l) x 2,25 €/kg = 32,4 €/ha
- Urea: 1.800 l/ha x (0,5 kg/ 100 l) x 0,18 €/kg = 1,62 €/ha
- Nitrato potásico: 1.800 l/ha x (2,5 kg/ 100 l) x 0,55 €/kg = 24,75 €/ha
- Dimetoato: 600 l /ha x (1,5 kg/ 100 l) x 6 €/l = 5,4 €/ha

El coste total de los **tratamientos fitosanitarios**, resulta igual a:

63,7 €/ha + 32,4 €/ha +1,62 €/ha + 24,75 €/ha + 5,4 €/ha = **127,87 €/ha**

f) Recolección de aceituna

La recolección se realiza en las mismas condiciones y con el mismo nivel de mecanización que en regadío , considerando que el 25 % de la cosecha se encuentra en el suelo. El rendimiento de recolección se considera igual a 325 kilogramos por persona y día, resultando los siguientes costes por conceptos y total:

Mano de obra:

[2.632 kg/ha/ 325 kg/jornal] x 40,9 €/jornal = 331,23 €/ha

Maquinaria:

- Vibrador: [2.632kg/ha / 325 kg/jornal]x [34,6 €/jornal de máquina / 6 jornales] = 46,7 €/ha
- Sopladora: 0,75 día/ha x 11,5 € /día = 8,62 €/ha
- Tractor con grúa y remolque: 1,5 horas/ha x 23,6 €/hora = 35,4 €/ha
- Transporte de aceituna a la almazara: 2,632 t/ha x 9,45 €/t = 24,87 €/ha

Se considera que cada trabajador se desplaza por sus propios medios a la parcela y que el empresario le abona 3,0 €/día por ese concepto. Teniendo en cuenta que el número de jornales empleados por hectárea es 8,1 (2.632 kg/ha/ 325 kg/jornal), el coste por hectárea en concepto de desplazamiento será:

3,0 €/jornal x 8,1 jornales/ha = 24,3 €/ha

Los costes totales de **recolección** son, en consecuencia, los siguientes:

331,23 €/ha + 46,70 €/ha + 8,62 €/ha + 35,4 €/ha + 24,87 €/ha + 24,3 €/ha = **471,12 €/ha**

g) Transformación de la aceituna y comercialización

El coste total anual se estima igual a:

2,632 t / ha x 35 € / t = **92,12 € / ha**

3.7.- Resumen de costes de producción en regadío y secano.

La tabla 22.4 recoge los costes de producción en regadío y secano, resultado de los supuestos y cálculos antes efectuados.

Tabla 22.4: Costes de producción en secano y regadío desglosados por conceptos

CONCEPTOS	Costes riego	Costes secano	Riego-Secano
Abonado (€/ ha)	104,80	51,65	53,15
Poda y devareto (€/ ha)	326,15	174,3	151,85
Mantenimiento del suelo (€/ ha)	302,58	162,1	140,48
Tratamientos fitosanitarios (€/ ha)	171,80	127,87	43,93
Recolección aceitunas (€/ ha)	831,52	471,12	360,40
Transformación y comercialización (€/ha)	233,62	92,12	141,50
Costes directos de cultivo (€/ ha)	1.970,47	1.079,16	891,31
Coste energía en bombeo (€/ ha) (1)	270,00	0,00	270,00
Mantenimiento instalación y reparaciones (€/ ha)	73,62	0,00	73,62
Cánon de riego (€/ ha)	60,00	0,00	60,00
Costes asociados al riego (€/ ha)	403,62	0,00	403,62
Costes indirectos (€/ ha) (2)	197,05	107,92	89,13
Total costes (€/ ha)	**2.571,14**	**1.187,08**	**1.384,06**

(1) Considerando un coste energético de 0,18 €/ m^3
(2) Se considera un 10 % de los costes directos de cultivo

3.8.- Ingresos anuales previstos en secano y regadío

Los **ingresos** anuales de la actividad están constituidos, como ya se ha dicho, por dos partidas fundamentales: los ingresos por venta del aceite producido y las subvenciones (ayudas) a la producción del mismo, concedidas por la Unión Europea (UE).

Para el cálculo de los ingresos por venta de aceite, se supone un rendimiento graso de la aceituna del 20% en peso (100 kgs de aceituna dan lugar a 20 kgs de aceite) y un precio de venta del kilogramo de aceite igual a 1,80 €.

La ayuda concedida por la UE se supone constante durante la vida del proyecto e igual a 0,90 €/kg de aceite. A esta cifra se llega al considerar una ayuda media sin penalización igual a 1,30 €/kg. y una penalización media por superproducción (producción por encima de la cantidad garantizada) equivalente al 30% de la ayuda inicialmente estimada.

Las anteriores cantidades unitarias unidas a las producciones medias manejadas para secano y regadío, nos llevan a las siguientes cifras de ingreso, incluido el IVA sobre ventas:

a) Ingresos por hectárea en regadío:

6.675 kg aceituna /ha x 0,2 kg de aceite/kg de aceituna = 1.335 kg aceite/ha
1.335 kg aceite /ha x (1,8+0,9) €/kg aceite = 3.604,5 €/ha
IVA = (1.335 x 1,8) €/ha x 0,08 = 192,24 €/ha
Total = 3.604,5 €/ha + 192,2 €/ha = **3.796,74 €/ha**

b) Ingresos por hectárea en secano

2.632 kg aceituna/ha x 0,2 kg de aceite/kg de aceituna = 526,4 kg aceite/ha
526,4 kg aceite /ha x (1,8 +0,9) €/kg aceite = 1.421,28 €/ha
IVA = (526,4 x 1,8) €/ha x 0,08 = 75,80 €/ha
Total = 1.421,28 €/ha + 75,80 €/ha = **1.497.08 €/ha**

3.9.- Flujo neto de caja incremental asociado al proyecto

El flujo neto de caja incremental por hectárea, queda recogido en la última columna de la siguiente tabla, siendo el mismo resultado de los distintos supuestos e hipótesis en que se han venido sustentando nuestras reflexiones:

Tabla 22.5. Flujo neto de caja incremental del proyecto (€)

AÑO	Inversión inicial (1)	Ingresos incrementales de explotación (Regadío-Secano) (2)	Costes incrementales de explotación (Regadío-Secano) (3)	Flujo neto de caja incremental (4)=(2)-(3)-(1)
0	3.600,00	—	—	- 3.600,00
1	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
2	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
3	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
4	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
5	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
6	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
7	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
8	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
9	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6
10	—	2.299,66	1.384.06	+ 915,6

4.- Valoración del proyecto de inversión en el supuesto de financiación mediante recursos propios.

A efectos de la valoración financiera de la inversión, el flujo de caja de referencia, coincidirá en este caso con el flujo de caja del proyecto en si, recogido en la última columna de la **tabla 5**. En la determinación de los valores de los distintos indicadores de viabilidad, se trabaja con un **tipo de interés calculatorio del inversor** (rentabilidad mínima exigida) **igual al 5,5 %** (r = 0,055).

Como ya hemos tenido ocasión de decir, los valores correspondientes a la inversión inicial, coste unitario del agua, precio de venta del aceite y cuantía de la ayuda a la producción, ascienden a:

Inversión inicial = 3.600 €/ha
Coste del agua = 0,18 €/m^3
Precio de venta del aceite = 1.80 €/Kg.
Ayuda a la producción = 0,90 €/Kg.

4.1.- Criterios de valoración del proyecto bajo certidumbre: rentabilidad y liquidez del proyecto.

Las **tablas 22.6** y **22.7** recogen los valores calculados para los distintos **criterios de valoración propuestos** bajo condiciones de certeza. Estos valores son:

- Valor Actual Neto (**VAN**) = 3.301,44 €
- Tasa Interna de Rentabilidad (**TIR**) = 0,2193, equivalente al 21,93 %
- Valor Actual Neto / Inversión Inicial (**Beneficio / Inversión**) = 0,92
- Período de Recuperación de la Inversión(**PR**) = 5 años

Tabla 22.6: Flujo neto incremental de caja del proyecto y cálculo del VAN, de la relación Beneficio / Inversión y del Periodo de Recuperación

Año	Inversión inicial financiación propia (1)	Financiación ajena (2)	Ingresos incrementales (riego-secano) (3)	Costes incrementales (riego-secano) (4)	Flujo neto de caja (5) = (3)-(4)-(2)-(1)	Flujo neto de caja actualizado
0	3.600,0				-3.600,0	-3.600,0
1		0	2.299,7	1.384,1	915,6	867,9
2		0	2.299,7	1.384,1	915,6	822,6
3		0	2.299,7	1.384,1	915,6	779,7
4		0	2.299,7	1.384,1	915,6	739,1
5		0	2.299,7	1.384,1	915,6	700,6
6		0	2.299,7	1.384,1	915,6	664,0
7		0	2.299,7	1.384,1	915,6	629,4
8		0	2.299,7	1.384,1	915,6	596,6
9		0	2.299,7	1.384,1	915,6	565,5
10		0	2.299,7	1.384,1	915,6	536,0
				VAN		3.301,44
				Beneficio / Inversión		0,92
				Plazo recuperación inversión		5 años

A la vista de los valores hasta ahora encontrados, es claro que el proyecto de inversión analizado resulta viable para nuestro hipotético empresario, a reserva, claro está, de lo que pueda derivarse del conocimiento del nivel de riesgo del proyecto. En efecto, un valor actual neto de 3.301,44 € significa que, a lo largo de la vida del proyecto, el inversionista (el empresario, en nuestro caso) recupera la inversión efectuada, obtiene cada año una rentabilidad del 5,5% sobre el capital aún no recuperado y recibe un excedente adicional a dicha rentabilidad, equivalente en valor actual al valor actual neto del proyecto. Por otra parte, dicho excedente equivale a 0,92 € por euro inicialmente invertido, como muestra el valor tomado por la relación **Valor Actual Neto / Inversión inicial**.

Tabla 22.7: Flujo neto incremental de caja del proyecto y cálculo de la TIR

Año	Inversión inicial financiación propia (1)	Financiación ajena (Anualidad) (2)	Ingresos incrementales (riego-secano) (3)	Costes incrementales (riego-secano) (4)	Flujo neto de caja (5) = (3)-(4)-(2)-(1)	Flujo neto de caja actualizado
i0	3.600,0				-3.600,0	-3.600,0
1		0	2.299,7	1.384,1	915,6	750,9
2		0	2.299,7	1.384,1	915,6	615,8
3		0	2.299,7	1.384,1	915,6	505,1
4		0	2.299,7	1.384,1	915,6	414,2
5		0	2.299,7	1.384,1	915,6	339,7
6		0	2.299,7	1.384,1	915,6	278,6
7		0	2.299,7	1.384,1	915,6	228,5
8		0	2.299,7	1.384,1	915,6	187,4
9		0	2.299,7	1.384,1	915,6	153,7
10		0	2.299,7	1.384,1	915,6	126,0

r = 0,2193 VAN = 0,0 €

La **tasa interna de rentabilidad** (TIR) asciende a 0,2193 (equivalente al 21.93 %). Ello nos dice que el proyecto de inversión analizado será interesante para nuestro empresario siempre que le exija al mismo una rentabilidad inferior al 21,93 %; será indiferente si le exige una rentabilidad coincidente con la TIR (en este caso nuestro empresario obtendría una rentabilidad igual a este último valor, sin excedente adicional alguno) y dejaría de ser interesante si le exigiera una rentabilidad superior a la tasa interna de rentabilidad, pues entonces el valor actual neto del proyecto seria negativo, que es, como sabemos, la condición de no aceptabilidad.

Por lo que concierne a la **liquidez**, y a tenor del valor del período de recuperación, el proyecto también se presenta favorable, pues dicho período toma valores claramente satisfactorios, al ser éste inferior a 5 años cuando se calcula con valores actualizados e igual a 4 años cuando el cálculo se efectúa con valores no actualizados.

4.2.- La consideración del riesgo en la valoración del proyecto: el análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad mediante valores críticos, efectuado mediante la parametrización sucesiva del importe de la inversión inicial, el coste del agua de riego y el precio de venta del aceite, proporciona los siguientes resultados:

- Valor crítico de la **inversión inicial** igual a 6.900 €/ha

- Valor crítico del **coste del agua de riego** igual a 0,472 €/ m^3
- Valor crítico del **precio del aceite** de oliva igual a 1,29845 €/Kg.

A la vista del anterior conjunto de valores, podemos afirmar que no existe riesgo apreciable de que la inversión deje de ser viable para nuestro empresario, pues para ello y a igualdad de todo lo demás:

- La **cuantía de la inversión inicial** tendría que situarse por encima de los 6.900 €/ha (91,6 % de incremento relativo) lo que tiene escasa o nula probabilidad de ocurrencia, según opinión de los expertos en riego consultados. Para los mismos, el coste de la instalación de riego se podría situar como máximo en los 4.800 €/ha, siendo para ello necesario que la gestión del proyecto se realizara en forma absolutamente ineficiente, tanto desde el punto de vista técnico como económico.
- El **coste del agua de riego** tendría que situarse por encima de 0,472 €/m^3 (162,22 % de incremento relativo), cosa también poco probable, pues se estima que el coste no llegaría siquiera a los 0,22 €/m^3 en las condiciones más desfavorables de distribución del agua a la parcela desde el lugar de captación,
- El **precio del aceite** tendría que situarse por debajo de 1,29845 €/kg, lo cual se nos muestra como muy poco probable, cualesquiera que sean las hipótesis que se manejen en la previsión del precio de mercado a corto, medio o largo plazo.

La afirmación de que **estamos ante un proyecto poco arriesgado**, viene también corroborada por el valor del **período de recuperación de la inversión**, igual, como ya hemos visto, a 4 años cuando se calcula con valores no actualizados (valores nominales) y comprendido entre los cuatro y cinco años, cuando se usan para el cálculo valores actualizados.

Las conclusiones anteriores están basadas en la hipótesis de que la ayuda de la Unión Europea (UE) a la producción se mantendrá, como mínimo, al nivel actual (0,90 €/kg de aceite). La caída de la misma por debajo del anterior importe aumentaría, lógicamente, la sensibilidad del proyecto a variaciones negativas de los valores inicialmente asignados a cada una de las tres dimensiones del flujo de caja analizadas: la inversión inicial, el coste del agua y el precio del aceite.

Para ahondar en esta idea, el análisis anterior lo hemos complementado con el cálculo del VAN de la inversión en el marco de un escenario pesimista, cuyas características han sido establecidas por el sujeto decisor, en los términos que, a continuación se exponen:

- Cuantía de la inversión inicial = 4.800 €/ ha.
- Coste del agua de riego = 0,21 €/m^3
- Ayuda a la producción = 0,00 €/kg
- Los valores de las restantes variables que definen el proyecto no sufren variación.

Para tal conjunto de valores, el valor actual neto del proyecto se hace negativo, siendo la cuantía del mismo igual a menos 3.723 €. En consecuencia, caso de darse tal escenario, carac-

terizado fundamentalmente por la ausencia de subvención, el proyecto dejaría de ser viable. Y ello, a pesar de que se le exige una rentabilidad mínima bastante modesta.

Los cálculos pertinentes ponen de manifiesto que en un escenario definido por los anteriores valores de la inversión inicial y coste del agua de riego, el **valor crítico de la ayuda a la producción** sería **0,61 €/kg**. Para este valor, el valor actual neto del proyecto sería cero y sólo cifras superiores de la ayuda llevarían a valores actuales netos positivos.

Digamos, por último, que si llevamos los valores de todas las variables que configuran el flujo de caja a su valor inicial y hacemos igual a cero la ayuda a la producción, el valor del VAN se hace negativo, como puede fácilmente comprobarse. Ello nos dice que la ayuda a la producción sigue siendo necesaria, aún en el supuesto de máxima eficiencia técnica en la ejecución y explotación del proyecto, si bien es verdad que el valor crítico (mínimo) de la ayuda a la producción ascendería ahora a tan sólo 0,358 €/kg.

5.- Uso de recursos ajenos en la financiación del proyecto.

El uso de recursos ajenos en la financiación de los proyectos de inversión aumenta la rentabilidad de los recursos aportados por los propietarios, siempre y cuando las características de las operaciones de préstamo (coste efectivo de los recursos ajenos, etc.) sean tales que el valor actual de los intereses a pagar al prestamista resulte inferior al valor actual neto del proyecto en ausencia de financiación ajena. Estaríamos, en definitiva, ante el denominado **efecto de palanca financiera**.

Al objeto de desarrollar la idea anterior, analizaremos nuevamente el proyecto de referencia, considerando dos formas alternativas de financiación del mismo con recursos ajenos (préstamos bancarios). Una y otra se diferencian sólo en la cuantía del préstamo, que en el primer caso es equivalente al 50 % de la inversión inicial y en el segundo al 70 % de dicho importe. Las restantes características de la operación, presentes en uno y otro caso, son:

- Duración de la operación igual a 5 años.
- Tipo de interés nominal igual al 5,50 % (coincidente, por hipótesis, con el costo efectivo y con el tipo de interés calculatorio del inversor).
- Pago de intereses por períodos anuales vencidos.
- Método francés de amortización del préstamo.
- No existe período de carencia.

La cuantía del préstamo es igual, por consiguiente, a 1.800 € en el primer caso (modalidad de financiación 50-50) y a 2.520 € en el segundo (modalidad 30-70). Los nuevos **flujos de fondos del proyecto y los resultados de las evaluaciones** efectuadas, dan contenido a las **tablas 22.8** y **22.9**, que pueden verse a continuación.

Tabla 22.8: Flujo de caja del proyecto y resultados de la valoración (Financiación ajena 50%

Año	Inversión Inicial (1)	Financiación ajena (2)		Ingresos incrementales (riego-secano) (3)	Costes incrementales (riego-secano) (4)	Flujo neto de caja (5) = (3)-(4)-(2)-(1)	Flujo neto de caja actualizado
		Importe del préstamo	Anualidad				
0	3.600,0	1.800,0				-1.800,0	-1.800,0
1			421,5	2.299,7	1.384,1	494,1	468,3
2			421,5	2.299,7	1.384,1	494,1	443,9
3			421,5	2.299,7	1.384,1	494,1	420,8
4			421,5	2.299,7	1.384,1	494,1	398,8
5			421,5	2.299,7	1.384,1	494,1	378,1
6			0	2.299,7	1.384,1	915,6	664,0
7			0	2.299,7	1.384,1	915,6	629,4
8			0	2.299,7	1.384,1	915,6	596,6
9			0	2.299,7	1.384,1	915,6	565,5
10			0	2.299,7	1.384,1	915,6	536,0

VAN	3.301,52 €
Beneficio / Inversión	1,83
Plazo recuperación inversión	5 años
TIR = 0,3007	

Tabla 22.9: Flujo de fondos del proyecto y resultados de la valoración (Financiación ajena 70%).

Año	Inversión Inicial (1)	Financiación ajena (2)		Ingresos incrementales (riego-secano) (3)	Costes incrementales (riego-secano) (4)	Flujo neto de caja (5) = (3)-(4)-(2)-(1)	Flujo neto de caja actualizado
		Importe del préstamo	Anualidad				
0	3.600,0	2.520,0				-1.080,0	-1.080,0
1			590,1	2.299,7	1.384,1	325,5	308,5
2			590,1	2.299,7	1.384,1	325,5	292,4
3			590,1	2.299,7	1.384,1	325,5	277,2
4			590,1	2.299,7	1.384,1	325,5	262,7
5			590,1	2.299,7	1.384,1	325,5	249,1
6			0	2.299,7	1.384,1	915,6	664,0
7			0	2.299,7	1.384,1	915,6	629,4
8			0	2.299,7	1.384,1	915,6	596,6
9			0	2.299,7	1.384,1	915,6	565,5
10			0	2.299,7	1.384,1	915,6	536,0

VAN	3.301,52 €
Beneficio / Inversión	3,06
Plazo recuperación inversión	4 años
TIR = 0,3771	

Como puede observarse, el VAN es el mismo en uno y otro caso e igual al obtenido en su momento, al evaluar la inversión bajo el supuesto de financiación de la misma sólo con recursos propios. El hecho constatado se debe simplemente a que en los tres supuestos estamos trabajando con el mismo coste medio ponderado de capital, debido a la coincidencia entre el coste efectivo de la financiación ajena y el tipo de interés calculatorio del inversor. Y lo hemos planteado así, sólo para que se entienda mejor el razonamiento.

La mencionada igualdad no es óbice para que en ambos casos aumente la rentabilidad del dinero aportado por los propietarios en comparación con la obtenida al financiar toda la inversión con capital propio, siendo mayor el aumento en el segundo caso que en el primero. Dicho aumento, puesto de manifiesto a través de la evolución del valor de la relación **VAN / Inversión**, se debe a que el destino del valor actual neto generado por el proyecto es siempre la remuneración con carácter extraordinario del capital aportado por los propietarios. Y éste es cada vez menor, mientras que el montante a repartir entre el mismo permanece constante. Por consiguiente, resulta completamente lógico que aumente la rentabilidad del capital propio a medida que aumenta la participación del capital ajeno en la financiación total del proyecto, siempre, claro está, que se cumplan las condiciones expuestas al principio de este epígrafe. Los valores de la relación **VAN / Inversión** para cada una de las modalidades de financiación contempladas, son los siguientes:

- Financiación exclusivamente con recursos propios..... 0,92
- Financiación mixta 50% propio – 50 % ajeno..... 1,83
- Financiación mixta 30% propio – 70 % ajeno..... 3,06

Evidentemente, el uso de recursos ajenos en la financiación de inversiones, no siempre será conveniente, debiendo analizarse en cada caso concreto la pertinencia de su empleo, que dependerá tanto de la cuantía del flujo de fondos del proyecto en si, como de las características específicas de cada una de las operaciones de financiación mediante recursos ajenos que el decisor contemple como posible.

En el análisis de viabilidad de proyectos de inversión en los que se use capital ajeno en su financiación, será siempre interesante conocer el **valor crítico del tipo de interés del préstamo**, que vendrá dado, como sabemos, por aquel **valor del mismo para el que el valor actual neto del proyecto se hace igual a cero**, a igualdad de todo lo demás.

Al objeto de profundizar en la anterior idea, clarificando su contenido y alcance, volvemos nuevamente al proyecto de inversión constitutivo de nuestro caso de estudio. El mismo ha sido ya evaluado bajo la hipótesis de su financiación exclusivamente con capital propio (ver **tablas 22.6** y **22.7**) y bajo la hipótesis de uso del capital ajeno en su financiación, contemplándose en este caso dos modalidades alternativas: modalidad 50-50 y modalidad 30-70. Los flujos de caja del proyecto para cada una de estas dos modalidades de financiación y los resultados de las evaluaciones efectuadas pueden verse en las **tablas 22.8** y **22.9**.

Si bajo la **modalidad de financiación 50-50** parametrizamos el tipo de interés del préstamo, el valor crítico encontrado es igual a **0,60, siendo igual a 0,46 bajo la modalidad de financiación 30-70**. En el caso, poco probable, de que la financiación fuera exclusivamente con capital ajeno, dicho valor seria igual **a 0,35**. Ello significa que, a igualdad de todo lo demás y supuesta una exigencia mínima de rentabilidad del 5,50 %, el tipo de interés del préstamo puede llegar hasta el 60,00 % bajo la modalidad 50-50, al 46,00% bajo la modalidad 30-70 y al 35,00 % bajo la modalidad de financiación 0-100, sin que el proyecto deje de ser rentable para el sujeto decisor. La evolución del valor crítico pone de manifiesto como éste disminuye a medida que aumenta la financiación ajena, lo cual es lógico, pues cuanto mayor sea la cuantía del préstamo, menor tipo de interés se necesitará para que el valor actual de los intereses totales a pagar al prestamista, se iguale con el valor actual neto correspondiente al proyecto financiado en exclusiva con recursos propios.

Los valores críticos encontrados son sumamente sugestivos, pero ello no debe confundir al analista, llevándolo a una decisión errónea, pues la decisión no puede basarse solamente en indicadores de rentabilidad calculados bajo condiciones de certeza (VAN y TIR), debiéndose considerar también, como sabemos, la liquidez y el riesgo del proyecto. Y ello, porque, como nos enseña el Análisis Financiero, estas dos dimensiones empeoran indefectiblemente a medida que aumenta la participación relativa del capital ajeno en la financiación total para un tipo de interés dado o a medida que aumenta el tipo de interés para una participación dada del capital ajeno en la financiación total.

En nuestro caso concreto, y dejando a un lado el uso de procedimientos de análisis más sofisticados, dicho empeoramiento lo vamos a poner de manifiesto a través del valor del período (plazo) de recuperación de la inversión. En efecto: como puede fácilmente comprobar el lector apoyándose en los datos de la **tabla 22.7**, el período de recuperación con valores no actualizados de nuestra inversión, es ligeramente inferior a cuatro años, cuando es financiada exclusivamente con recursos propios. Sin embargo, se sitúa en los 8,5 años bajo la modalidad de financiación 50-50 y un tipo de interés del 60,00%; en los 8,75 años, cuando el proyecto se financia bajo la fórmula 30-70 y un tipo de interés del 46,00%, y prácticamente en los nueve años, cuando se financia sólo con capital ajeno al 35,00 % de interés.

Referencias bibliográficas

Alonso Sebastián, R., Iruretagoyena Osuna, Mª T., 1992. Evaluación financiera de inversiones agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid

Cordonnier, P., Carles, R., Marsal, P.,1973. Economía de la Empresa Agraria. Ed. Mundi-Prensa, Madrid

Gittinger, P. , 1983. Análisis económico de proyectos agrícolas. Ed. Tecnos. Madrid

Sapag Chain, N. , 1993. Criterios de evaluación de proyectos. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid

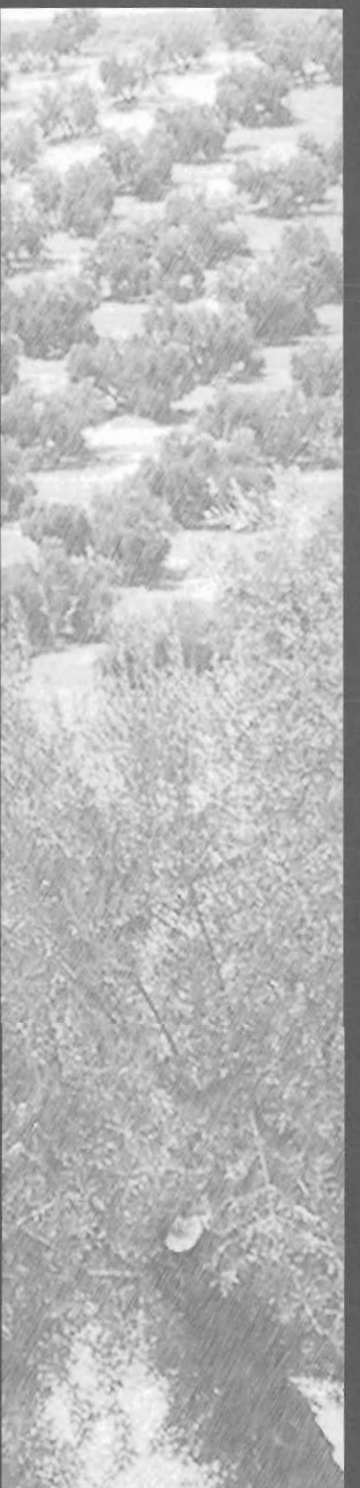
Suárez Suárez, A., 1995. Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa. Ed. Pirámide. Madrid.



Programación del Riego y la
Fertirrigación en Olivar

MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA





Esta aplicación informática es un sencillo Libro de Microsoft Excel perteneciente al programa de Microsoft que pretende facilitar el trabajo de quién desee aplicar de manera eficiente el agua y los fertilizantes en una plantación de olivar. Ha sido diseñado conjuntamente por **Juan Carlos Hidalgo**, **Miguel Pastor**, y **Victorino Vega**, del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Alimentaria, Pesquera y de Agricultura Ecológica (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa – Junta de Andalucía) y por **Francisco Orgaz** del Instituto de Agricultura Sostenible (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

La aplicación informática recoge todos los principios expuestos en los capítulos 5, 6, 8, 10, 16, 17 y 18 del libro **"Cultivo del Olivo con riego localizado. Diseño y manejo del cultivo y las instalaciones. Programación de riegos y fertirrigación"**.

A esta aplicación se accede haciendo doble clic sobre el archivo de Excel: **FERTIRRIGACIÓN 2004.xls**. A continuación pulsar con el ratón la opción **Habilitar macros**, y a partir de este momento tenemos activada y a nuestra disposición la aplicación.

Esta aplicación informática está compuesta por 7 ***hojas de cálculo*** que se recogen dentro de un Libro Excel. Los nombres correspondientes a cada una de las hojas de cálculo que constituyen la aplicación aparecen en unas ***pestañas*** en la parte inferior del interfaz de usuario de Excel. Son las siguientes:

1.- Datos de entrada
2.- Análisis
3.- Riego
4.- Fertirrigación
5.- Informe Riego
6.- Informe Fertirrigación
7.- Recomendaciones

Las cuatro primeras hojas es en las que se deben **introducir los datos** necesarios para realizar los cálculos: los del olivar (densidad de plantación, volumen de copa, edad de la plantación, capacidad productiva), datos climáticos para el cálculo de la ETo (o archivos de datos de ETo) y lluvia, análisis foliar, análisis de aguas y suelo, características del sistema de riego (número de sectores, número de goteros por árbol, características de los goteros, geometría de los bulbos, etc.), eficiencia de aplicación del agua de riego, etc.; las hojas 3 y 4 sirven asimismo para realizar los **cálculos de las dosis de riego y abonado**; y finalmente las hojas 5, 6 y 7 son **hojas de informe**, que muestran un resumen de las dosis de agua de riego y fertilizantes calculadas, además de diversas recomendaciones de interés para el olivarero.

Como norma de utilización general del programa conviene destacar que en las cuatro primeras hojas de cálculo aparecen celdas de distintos colores:

- **Amarillas:** son las ***ÚNICAS CELDAS en las que se introducen los datos***. A partir de los valores que se le asignan a estas celdas el programa realizará automáticamente los cálculos necesarios.
- **Azules:** son celdas que muestran ***valores calculados por el programa***, y en ellas no se permite introducir valores ni realizar modificaciones.
- **Grises y Blancas:** reflejan ***datos parciales calculados***. En estas celdas NUNCA se deben de introducir valores.

Esta aplicación informática muestra un ejemplo totalmente resuelto con la programación de la fertirrigación de un olivar. No altere los datos hasta haber leído detenidamente este manual.

A continuación se describe cada una de las hojas de cálculo y la forma más correcta de utilizarlas.

Pulsar en primer lugar la pestaña de la **hoja 1** ...

1. Datos de Entrada

En esta primera hoja, se deben introducir los datos generales de la plantación como son:

DATOS PERSONALES

Permiten identificar bien a la persona que realiza el programa, o bien al propietario de la finca; el nombre de la finca en la que se encuentra el olivar; y la fecha en que se realiza el cálculo de las necesidades de riego y fertirrigación.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL OLIVAR

1.1.- DENSIDAD DE PLANTACIÓN

Se trata de un parámetro fundamental ya que determina el número de árboles por hectárea, lo que condiciona las dosis de agua, de fertilizantes, etc. La aplicación ofrece dos posibilidades para rellenar este campo:

- ***Primero:*** si se conoce el número exacto de árboles por hectárea basta con activar la opción **Densidad de Plantación**, para ello pulsar (o) con el *ratón* y rellenar la celda amarilla con el valor deseado.

- ***Segundo:*** si no se conoce el número exacto de olivos por hectárea, pero se conoce el **marco de plantación** hay que activar dicha opción (o). Al hacerlo se vuelven activos tres tipos de marcos: **Rectangular**, **Cuadrado** y **Tresbolillo** (triángulo equilátero). Hay que seleccionar la opción que corresponda a la plantación para la que se esté calculando el fertirriego y rellenar las celdas amarillas que se habilitan. De esta forma, la aplicación calcula automáticamente la **densidad de plantación**.

1.2.- VOLUMEN DE COPA

Es otro parámetro imprescindible a la hora de calcular las necesidades de agua y nutrientes de una plantación. Igual que en el caso anterior se ofrecen dos posibilidades para introducir su valor:

- ***Diámetro medio y altura*** de los olivos**:** si se conocen estos valores, basta con señalar esta opción y rellenar las celdas que se habilitan para que el programa calcule después el **volumen de copa**.
- ***Volumen de Copa*****:** si se conoce el valor de este parámetro se puede introducir directamente activando esta opción.

1.3.- EDAD DE LA PLANTACIÓN

La aplicación reconoce dos tipos de plantaciones:

- ***Plantación joven*** : se trata de plantaciones de olivos con una edad comprendida entre 1 y 4 años. En este caso, debido a que el sistema radical de las plantas previsiblemente no explora totalmente el

suelo, y a la limitada posibilidad de extraer agua a partir de una cierta distancia al emisor, durante el período juvenil de la plantación no se considera prudente considerar el agua contenida en el perfil (***reserva***) a la hora de realizar la programación del riego, ya que en esta fase de la vida de la plantación lo importante es que los olivos crezcan sin restricciones, por lo que no es aconsejable causar estrés hídrico en ningún momento del ciclo vegetativo.

- ***Plantación adulta:*** se trata de plantaciones de olivos con una edad que supera los 4 años. En este caso sí que **se considera la reserva de agua almacenada en el suelo** a la hora de programar el riego, ya que las plantas poseen un sistema radical bien desarrollado que les permite extraer el agua de un gran volumen de suelo.

1.4.- CAPACIDAD PRODUCTIVA

Este parámetro permite calcular la producción estimada de un olivar, en función de un factor conocido como **índice de cosecha**, que relaciona la producción con la superficie exterior de la envolvente de la copa de los árboles (kg de aceituna / m^2 de superficie de copa). Esta superficie de copa es un estimador de la cantidad de radiación solar interceptada por la plantación. La aplicación tiene predeterminado un valor para este índice igual a **0,80** (**índice de cosecha predefinido**) que representa un valor medio para plantaciones convencionales de riego. No obstante, si disponemos del valor correspondiente a nuestra plantación debe activarse la opción **Introducir Índice de Cosecha** (activar (o) con ayuda del *ratón*), y en la celda de color amarillo deberá introducirse el valor que deseemos emplear.

1.5.- CUADRO RESUMEN

Se trata de un pequeño resumen de los valores que hemos introducido más los valores calculados, que servirán para programar tanto el riego como la fertirrigación: densidad de plantación, volumen de copa, índice de forma, índice de cosecha, superficie de fructificación, producción estimada y edad de la plantación.

Al completar esta hoja pulsar la pestaña de la **hoja 2 ...**

2. Análisis

Para complementar la información anterior y conseguir optimizar la aplicación de agua y nutrientes es necesario, en primer lugar, conocer el estado nutritivo de la plantación, así como las propiedades químicas del agua de riego. Para ello se deben realizar siempre dos tipos de análisis:

- ***ANÁLISIS FOLIAR*** : las muestras de hojas serán tomadas en el mes de julio, momento para el que se dispone de valores estandar de referencia. Las hojas deben lavarse meticulosamente antes de enviarlas para su análisis a un laboratorio de garantía.

- ***ANÁLISIS DE AGUA:*** realizar un análisis a principio de la campaña de riego, y otros adicionales para conocer si las propiedades del agua puedan haber cambiado a lo largo de la campaña (por ejemplo en agua captadas en ríos o arroyos, aguas residuales...). Se utilizarán valores medios anuales.

2.1.- ANÁLISIS FOLIAR

Permite conocer el estado nutritivo de la plantación y nos indica si es necesario aumentar, mantener e incluso disminuir la dosis de abonado utilizadas, en función del nivel de los distintos macro y micronutrientes encontrados en el análisis. Para ello se deben rellenar las celdas amarillas con los valores que nos haya suministrado el laboratorio para todos y cada uno de los elementos (N, P, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Cu, B). Teniendo en cuenta dichos valores la aplicación realiza automáticamente una interpretación del estado nutritivo de las plantas (columna **INTERPRETACIÓN**), y de forma automática el programa establece unos factores de corrección de las dosis de abonado para los tres principales macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio (valores no mostrados), y en la hoja **Recomendaciones de Abonado** se genera un apartado en el que se indica si existen deficiencias nutritivas en alguno de los restantes elementos, y en cualquier caso se realizan las correspondientes recomendaciones de actuación.

2.2.- ANÁLISIS DE AGUA

Es importante realizar este análisis por dos motivos, el primero es poder evaluar si el agua disponible es apta o no para el riego de olivar. Atendiendo a la **conductividad eléctrica del agua** la aplicación informática calcula en todos los casos una **fracción de lavado** y la aplicará en todos los programas de riego que se realicen. Además se advierte al usuario que la aplicación de esta fracción de lavado es tanto más necesaria cuanto mayor es la CE del agua de riego. Igualmente se advierte de la posible toxicidad por boro. La segunda utilidad del análisis de agua es permitir el cálculo del aporte de nutrientes (N, K, Ca y Mg) que puede producirse al regar con este agua, se calcula en función de los cationes y aniones que contenga. Los datos analíticos pueden teclearse como meq/l o mg/l, ya que en ocasiones los laboratorios pueden dar los datos en ambas unidades.

¡ OJO ! Esta aplicación informática advierte al usuario (nota al pie de tabla correspondiente al análisis de agua) si existen dudas sobre la calidad analítica de los resultados proporcionados por laboratorio de análisis, en cuyo caso se recomienda mandar repetir la analítica.

Al completar esta hoja pulsar la pestaña de la **hoja 3 ...**

3. Riego

En esta hoja se van a calcular las necesidades de agua de riego de nuestro olivar, tratando de cubrir así la ETc máxima del cultivo. Para ello los datos necesarios son los siguientes:

3.1.- DATOS CLIMÁTICOS

Los parámetros climáticos necesarios para realizar una correcta programación del riego son la **evapotranspiración de referencia (ETo)**, la **lluvia** y el **número de días de lluvia**. Esta aplicación ofrece tres opciones diferentes:

Introducir Datos Climáticos: si disponemos de los datos necesarios basta con marcar esta opción con el *ratón* (o) e introducir los valores en las celdas de color amarillo para los distintos meses del año. La aplicación informática calcula los valores anuales (celdas color azul).

Datos Climáticos de archivo: si no se dispone de datos climáticos locales de suficiente garantía, al marcar esta opción la aplicación informática pone a disposición del usuario una base de datos con información de 86 estaciones meteorológicas correspondientes a las ocho provincias andaluzas, así como datos del SAR Jaén (5 estaciones más). En ellas se recogen datos interanuales medios mensuales relativos a la ETo (calculados empleando la expresión de Hargreaves), la lluvia y el número de días de lluvia. Una vez marcada esta opción con el *ratón* (o), marcar después la provincia, y a continuación (▼), desplegándose el nombre de las estaciones para las que se dispone de información. Seleccione la estación deseada (sombrear su nombre) y automáticamente en la tabla adjunta se incorporan los datos correspondientes, quedando disponibles para el cálculo de las necesidades de agua de la plantación.

Cálculo de la ETo utilizando la expresión de Hargreaves: en el caso en que no se disponga de datos de ETo para nuestra localidad, se puede recurrir a emplear la expresión de Hargreaves, que en este caso utiliza valores medios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, datos que en general suelen estar fácilmente disponibles. En esta opción hay que señalar la latitud del lugar en que se encuentra la plantación (▼), y la aplicación incorpora automáticamente al cálculo los valores mensuales de **Ra**; y a continuación debemos rellenar las celdas de color amarillo utilizando en este caso nuestros valores medios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, lluvia y número de días de lluvia. El programa irá calculando mensualmente la temperatura media y la ETo.

3.2.- CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS

El suelo juega un papel importante en la programación del riego, ya que durante el invierno en él se almacena una fracción importante del agua de lluvia, constituyendo una reserva que será utilizada por los olivos durante el período vegetativo como complemento al agua suministrada por la instalación de riego. A su vez, el suelo también influye en la capacidad de intercambio de nutrientes en el sistema agua de riego - suelo - olivo, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de programar la fertirrigación.

En primer lugar la aplicación informática nos solicita el número de horizontes del perfil. Una vez seleccionada con el *ratón* la opción 1, 2 ó 3 horizontes, se aportarán, horizonte por horizonte, su profundidad (cm), y los datos analíticos relativos a contenidos de arcilla (%), limo fino (%) y carbonato cálcico (%). Estos datos los utiliza la aplicación informática para calcular la reserva del suelo y en la programación de la fertilización sirven para establecer los oportunos índices correctores.

3.3.- CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO

En este apartado se describen las características de la instalación de riego. Se introducirán en las celdas de color amarillo los datos relativos al **número de sectores** de riego, y el **número de riegos** que vamos a dar **por semana**. Después debe seleccionarse el tipo de **Sistema de Riego**. La aplicación permite dos opciones:

Emisores aislados: cuando los goteros se *pinchan* sobre la tubería portagoteros y se ubica esta sobre la superficie del terreno, o en muchos casos cuelgan de microtubos que transportan el agua desde la tubería enterrada hasta los emisores. En este caso se necesita conocer el **número de emisores por olivo**, el **caudal unitario** de dichos emisores, y el **diámetro medio del bulbo húmedo** formado sobre la superficie del suelo.

Emisores integrados en la tubería y colocados a una distancia reducida: con este sistema se forma una banda continua humedecida sobre la superficie del suelo. En este caso es necesario conocer el **número de emisores instalados por olivo**, el **caudal unitario** de los emisores, **ancho de la franja humedecida** y **ancho de la calle** de plantación del olivar.

Cuando regamos utilizando una instalación de **riego subterráneo**, sistema en el que una tubería con emisores integrados se entierra a cierta profundidad, si el sistema se maneja correctamente los *bulbos* húmedos no deben llegar a la superficie del terreno, por lo que non despreciables las pérdidas de agua por evaporación desde los emisores. En este caso para que el cálculo de las necesidades de agua de riego sea correcto debemos introducir el valor **CERO** en el apartado **Ancho de la franja húmeda**.

3.4.- EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Nos indica la cantidad de agua, sobre el volumen total aplicado, que es aprovechada por el cultivo. Este concepto de eficiencia de la aplicación en este caso engloba por un lado la **uniformidad** de riego conseguida en el conjunto de emisores que componen la instalación, y por otro las **pérdidas de agua** que se producen, al no quedar la totalidad de ésta a disposición de los árboles. La aplicación informática asigna a este parámetro un valor por defecto del ***90%***, pero permite la opción de introducir manualmente otro valor en el caso en que se conozca el valor real para la instalación que vamos a manejar.

3.5.- PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

En este apartado se recoge en primer lugar los valores calculados por el programa relativos a la **máxima cantidad de agua que permite aplicar la instalación** y **déficit de agua en el suelo permisible** (reserva máxima que en nuestro caso podría utilizarse en programación de riego). Además se hace una recomendación para programar el riego de forma eficiente:

"***regar de modo que hasta final de septiembre no agotemos la reserva de agua del suelo, aplicando, si la capacidad de retención del suelo lo permite, similares cantidades de agua de riego durante los meses que componen la campaña de riegos. No es recomendable iniciar el riego cuando ya hemos agotado la reserva***".

A continuación aparece una tabla resumen en la que mensualmente se registran los parámetros que afectan al cálculo de las necesidades (**ETc, precipitación efectiva**), así como la evolución mensual de la **Reserva** de agua en suelo, que han sido definidos y calculados por esta aplicación a partir de los datos que le hemos suministrado anteriormente.

La programación del riego está previsto se haga de forma semiautomática. Para ello es necesario ir introduciendo mes a mes, en la 4ª columna, correspondiente a **RIEGO,** y en las casillas de color amarillo, los valores de las cantidades de riego que queremos aplicar, expresadas en litros por olivo y día. Hay que tener muy en cuenta el valor que va apareciendo en la columna **reserva real**, que nos informa de la cantidad de agua que tenemos almacenada en el suelo como reserva, ya que debemos conseguir que **el valor de la misma vaya decreciendo gradualmente a lo largo de la campaña, y no alcance el valor cero hasta septiembre**. Procurar no gastar la reserva en los primeros meses, ya que en los meses de máximas necesidades habría que aplicar grandes cantidades de agua, y posiblemente en ese momento no nos lo permita la instalación de riego por no tener capacidad para ello.

Evitar igualmente que la cantidad de agua de riego que pretendamos aplicar supere a la **máxima cantidad de agua que permite aplicar la instalación,** en este caso aparecería un mensaje de error que advierte que las características de la instalación no permiten aplicar unas dosis de agua tan elevada. De igual modo podríamos intentar regar en un determinado mes con una cantidad excesiva de agua, de modo que superemos la cantidad de agua que se puede almacenarse en el suelo como reserva, lo que ocasionaría pérdidas por precolación profunda fuera del alcance de las raíces. En este caso aparece en la columna **Reserva** un valor escrito en color

azul intenso, pero a efectos de programación de riego la aplicación informática corrige automáticamente este exceso y en la columna **Reserva Real** considera por defecto el valor correspondiente a déficit de agua en el suelo permisible (**DASP**). En este caso debe reducirse la cantidad de agua de riego programada previamente (teclear otra opción) de modo que para ese mes el valor de la **Reserva** no sea superior a la **Reserva Real**.

Finalmente la tabla muestra los valores totales anuales, expresados en mm, correspondientes a la evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (PE) y riego.

3.6.- APLICACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO

Se ha demostrado experimentalmente que las prácticas de riego deficitario permiten regar una gran superficie de olivar utilizando pequeñas dotaciones de agua por hectárea. Esta estrategia permite obtener una alta producción por cada metro cúbico de agua aportado, mayor que cuando se riega para cubrir la ETc máxima del cultivo.

Volviendo a la aplicación informática...

Puede ocurrir que después de haber calculado las necesidades de agua de riego por hectárea para la plantación de olivar que pretendemos regar, lo que permitiría una ETc máxima en nuestro olivar, en la explotación no dispongamos de agua suficiente como para regar la totalidad de la superficie cubriendo dichas necesidades máximas. Esta aplicación informática prevé esta circunstancia, por lo que apoyándonos en datos experimentales obtenidos en ensayos de larga duración se intenta resolver esta problemática. Para ello en primer lugar la aplicación nos pregunta:

¿existen restricciones de agua para el riego de su olivar?

Si **contestamos NO,** debemos pasar a continuación al apartado 3.7.-GRÁFICA DE EVOLUCIÓN, ya que la programación anual del riego habría concluido.

Si **hemos contestado SI**, a continuación la aplicación informática nos muestra dos mensajes dirigidos al usuario:

Si la **conductividad eléctrica del agua de riego es igual o superior a 3 dS/m** nos aparecerá el siguiente mensaje:

"Con el tipo de agua disponible podría no ser recomendable aplicar un programa de riego deficitario. Consulte con un especialista"

Cuando dispongamos de **aguas de mala calidad** no deberíamos emplear estrategias de riego deficitario, aunque si el contenido en sales no es demasiado alto y cuando la pluviometría anual es superior a 400-500 mm, se podrían aplicar estas estrategias de RD, pero siempre debemos ser prudentes en el empleo de este tipo de agua y consultar siempre con un técnico conocedor de la materia para que nos asesore, ya que en la decisión influirá también el tipo de sales que puede contener el agua, lo que da lugar a una casuística variada difícil de resolver con un programa informático sencillo.

Si a pesar de esta alta CE, y una vez meditada la decisión, queremos continuar programando el riego, esta aplicación no nos impide hacerlo, y podemos continuar como se muestra a continuación.

Si el **agua es de calidad aceptable**, el mensaje que nos aparecerá es el siguiente:

"Si lo desea podría realizarse un recorte en las cantidades de agua de riego en la época en la que el olivo es menos sensible al déficit hídrico (16 de julio a 15 de septiembre). Se asumirá de este modo una restricción en la producción del olivar, pero con el agua disponible se podría regar una mayor superficie".

Aceptar esta solución es interesante, ya que normalmente obtendremos mayor producción que con la opción de dejar una parte de la explotación en secano, regando el resto para ETc máxima.

Si estamos de acuerdo con **aplicar el riego deficitario** (RD), a pesar del contenido del mensaje anterior, la aplicación informática nos mostrará el rango de disponibilidad de agua para el que se puede programar el riego deficitario con recorte en el mencionado período.

Después el programa nos preguntará:

¿de cuantos m³/ha dispone?

Existen dos opciones: la primera, pulsar (o) con el *ratón* e introducir en la casilla de color amarillo la cifra que exprese la cantidad de agua de la que disponemos (dentro del rango de disponibilidad más arriba definido); la segunda, programar el riego en función de la cifra que autoriza la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en las concesiones administrativas de agua para olivar: 1.500 m³/ha para densidades de plantación inferiores a 200 olivos/ha; ó 2.500 m³/ha para densidades superiores o iguales a 200 olivos/ha, cifras que esta aplicación incorpora automáticamente al seleccionar (o) la opción **Concesión Administrativa de C.H.G.**

Si dispusiéramos de una cantidad de agua comprendida dentro del mencionado rango de disponibilidad de agua para el que se puede programar el riego deficitario, e introducimos dicho valor en la casilla de color amarillo, al pulsar ENTER y a continuación la *tecla* **Calcular Riego Deficitario**, nos aparecerá una tabla con el programa de riego a aplicar cada mes/quincena, y un mensaje que nos recuerda la forma más conveniente de aplicar el agua de riego en este caso:

"Durante el período de aplicación del riego deficitario le recomendamos aplique la dotación de agua en un número reducido de riegos"

Si dispusiéramos de una **cantidad de agua inferior al valor mínimo** del mencionado rango, e introducimos dicho valor en la casilla de color amarillo, al pulsar ENTER nos aparecerá un mensaje:

"Valor que sale del rango para el que esta aplicación puede calcular el RD.
¿ Desea continuar?"

Si contestamos **SI** y activamos a continuación la *tecla* **Calcular Riego Deficitario**, nos aparece una tabla en la que se calculan las dosis mensuales/quincenales de agua de riego expresadas en l/olivo y día, así como el siguiente mensaje que ofrece diferentes alternativas:

"La cantidad de agua disponible es INSUFICIENTE como para programar un riego deficitario correcto. Siga alguna de las siguientes alternativas:

- *Regar aplicando el agua disponible en las dosis indicadas en la tabla anterior, y reduciendo además el número de hectáreas a regar.*
- *Podar los árboles (reducción del volumen de copa) para reducir la demanda de agua del cultivo.*
- *Recurrir al asesoramiento de un técnico que programe el fertirriego del olivar buscando una estrategia que permita el riego de toda la superficie con el agua disponible"*

Si se opta por la opción **podar los árboles**, debe determinarse el nuevo volumen de copa, y volver a introducir el valor determinado en el apartado 1.2 (volumen de copa) de la hoja Datos de Entrada, y volver a programar el riego volviendo al apartado 3.5.

En cualquier caso, siempre que apliquemos un riego deficitario debemos aplicar en un reducido número de riegos la dotación prevista.

3.7.- GRÁFICA DE EVOLUCIÓN

En cualquiera de las opciones, riego para máxima ETc ó riego deficitario, la aplicación informática nos mostrará un **resumen gráfico** de la evolución anual de la cantidad de agua de riego aplicada, de la precipitación efectiva y de la evolución anual de la reserva de agua almacenada en el suelo. De esta gráfica se puede deducir el momento a partir del cual hemos alcanzado el déficit permisible de agua en el suelo.

Al completar esta hoja pulsar la pestaña de la **hoja 4 ...**

4. Fertirrigación

4.1.- PROGRAMACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

La aplicación facilita la programación del abonado en olivar de riego (Fertirrigación). Para ello hay que introducir una serie de valores en las celdas de color amarillo.

Como en el cultivo del olivar es frecuente la **aplicación de abono potásico por vía foliar**, en esta aplicación informática se permite introducir el porcentaje de **potasio** que se pretende aplicar por este método, para poderlo así descontar de la cantidad que se pretende aplicar en fertirrigación. Advertimos que cuando se fertirriega con suficiente cantidad de K es dudosa la eficacia de la aportación foliar, la experimentación realizada parece así demostrarlo.

A continuación se introducirán los correspondientes ***porcentajes mensuales*** que se desean aportar de cada uno de los tres principales macronutrientes (N –P_2O_5 –K_2O) con relación a la aportación total anual. Existen unos valores considerados en este momento como los más apropiados, valores que vienen predeterminados en esta aplicación informática. Sin embargo, dichos porcentajes se pueden modificar libremente según convenga, sin ningún problema, puesto que se puede volver siempre a los valores predefinidos pulsando el *botón* ***Restablecer porcentajes***. El resultado final son unas cantidades mensuales de N, P_2O_5 y K_2O expresadas en gramos por olivo, y unos equilibrios nutritivos N –P_2O_5 –K_2O. Recordamos que:

estas cantidades deben aplicarse repartidas en todos y cada uno de los riegos y durante la totalidad del tiempo de riego

Las fórmulas de equilibrio debemos darlas al fabricante para que nos formule nuestra solución fertilizante optimizada. Más adelante profundizaremos en este tema

Esta aplicación informática tiene en cuenta las aportaciones de nutrientes por el agua de riego, teniendo en cuenta los cálculos realizados en la programación de riego realizada en la hoja **Riego**, y en función de los datos correspondientes a los análisis de agua (hoja **Análisis**) cuyos datos ya hemos suministrado.

4.2.- ABONOS SIMPLES

Los abonos simples pueden emplearse para preparar la solución nutritiva madre en la propia finca. En este apartado se permite la opción de calcular la dosis de distintos tipos de abonos comerciales para satisfacer los aportes de nitrógeno, fósforo y potasio. Para cada uno de ellos se permite utilizar uno o dos productos diferentes, a seleccionar entre una gama de fertilizantes aptos para fertirrigación; al pulsar en cada caso (?) se despliega un menú que nos muestra una gama de los fertilizantes que podemos seleccionar. En caso de emplear dos productos para aportar un nutriente se debe indicar en la correspondiente celda de color amarillo el porcentaje que queremos que represente cada producto sobre el total. La aplicación tiene en cuenta la eventual circunstancia de que un determinado fertilizante aporte más de un fertilizante, como por ejemplo el nitrato potásico que aporta N y K.

4.3.- ABONADO A LA CARTA

Una alternativa a las mezclas de fertilizantes sólidos para preparar en finca las soluciones nutritivas son las **formulaciones comerciales líquidas**. Una vez que se han calculado las necesidades nutritivas de la plantación y se han definido los porcentajes mensuales de fertilizante a aportar, la aplicación muestra una tabla en la que aparecen las fórmulas mensuales de equilibrio N-P-K, fórmulas que debemos entregar al proveedor de fertilizantes líquidos para que nos oriente sobre la formulación más conveniente en cada caso y nos de presupuesto sobre su coste. Debemos especificar al fabricante el tipo de fertilizantes que debe emplear en la formulación, y en especial las formas de nitrógeno que queremos utilizar (por ejemplo nítrica, amoniacal o uréica). La época del año debe ser igualmente tenida en cuenta para evitar problemas de cristalización en momentos en los que se producen bajadas nocturnas de temperatura (primavera y otoño).

Al completar esta hoja pulsar la pestaña de la **hoja 5** y **6** sucesivamente ...

Informes de riego y fertirrigación.

Una vez que se han completado todos los datos necesarios y que la aplicación ha realizado los cálculos, se pueden obtener dos informes en los que se recogen los principales datos de interés que debemos entregar al agricultor para su aplicación. Pueden imprimirse dichos informes del modo en que habitualmente se hace en Excel : se sombreará la hoja completa, y a continuación con el ratón pulsar sucesivamente: Archivo (se abre el menú desplegable) – Área de impresión – Establecer área de impresión - Vista preliminar (comprobación de que el área seleccionada de impresión es la correcta) - Imprimir.

HOJA nº 5. Informe Riego

Al pulsar la pestaña correspondiente a la hoja **Informe Riego** se obtiene un informe que muestra la información necesaria para la programación del riego en la explotación. Este informe sobre **Programación de riegos** nos suministra datos resumen sobre:

- Características de la plantación a regar
- Características del sistema de riego
- Componentes de la ETc (transpitación, evaporación desde el suelo, evaporación desde los goteros)
- Necesidades diarias (l/olivo) y mensuales (mm) de riego.

- Gráfico resumen de las precipitaciones, riego y evolución de la reserva de agua en el suelo.

Si hubiésemos optado por la opción **APLICACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO** (apartado 3.6 de la hoja Riego), en el **Informe del Programa de Fertirrigación** nos aparece un mensaje escrito en color rojo junto a la tabla resumen del programa de riego que
nos advierte que vamos a aplicar un programa de **RIEGO DEFICITARIO**, además presenta los componentes de la ETc, componentes que se refieren exclusivamente al caso en que no exista restricción de agua, lo que se advierte igualmente (en color rojo) en el Informe emitido por esta aplicación.

HOJA nº 6. Informe Fertirrigación

Al pulsar la pestaña correspondiente a la hoja **Informe de Fertirrigación** se obtiene un informe que muestra la información necesaria para la programación del abonado en la explotación, y que nos suministra datos resumen sobre:

- Características de la plantación y su capacidad productiva e índice de cosecha aplicado
- Aporte de anual de nutrientes por el agua de riego
- Aporte de nutrientes por vía foliar
- Necesidades mensuales de nutrientes y fórmulas mensuales de equilibrio N-P-K
- Recomendaciones a los fabricantes sobre el tipo de fertilizantes sólidos a emplear en las formulaciones líquidas comerciales fabricados en base a las fórmulas de equilibrio.

Finalmente y como complemento al informe de fertirrigación pulsaremos la pestaña de la **hoja 7...**

HOJA nº 7. Recomendaciones abonado

En esta hoja aparece información sobre el modo de aportar los macronutrientes (N, P , K, Ca y Mg), así como instrucciones sobre las aportaciones de los micronutrientes (Mn, Zn, Cu y B) en el caso en que el análisis foliar recomendara su aportación. Para la realización de este informe se tienen en cuenta los análisis de suelo, los de agua y como es natural el análisis foliar.

Índice General

Capítulo 1: ESTRUCTURA DEL REGADÍO DE OLIVAR EN ANDALUCÍA Y ORIGEN Y DISPONIBILIDAD AGUA PARA RIEGO 17

1.- EL REGADÍO DE OLIVAR 19
2.- ORIGEN DEL AGUA PARA RIEGOS 25
3.- AGUAS SUBTERRÁNEAS 28
3.1.- Utilización de aguas subterráneas en Agricultura en Andalucía 28
3.2.- Evaluación de los recursos 29
3.3.- Calidad de las aguas subterráneas 35
3.4.- Recomendaciones generales para la explotación sostenible de las aguas subterráneas 36

Capítulo 2: ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO DE OLIVAR 39

1.- ANTECEDENTES 41
2.- NORMATIVA LEGAL 41
3.- LOS ÓRGANOS GESTORES DE LAS AGUAS EN ANDALUCÍA 42
4.- ORGANIZACIÓN DE UNA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA 42
5.- LEGALIZACIÓN DE APROVECHAMIENTOS 43
5.1.- Procedimiento de concesiones 44
5.2.- Dotaciones 45
6.- INNOVACIONES DEL TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS 46
7.- RÉGIMEN SANCIONADOR DE LA LEY DE AGUAS 48

Capítulo 3 : RELACIONES SUELO – AGUA - PLANTA 49

1.- EL AGUA EN EL SUELO 54
2.- LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS 55

Capítulo 4 : CICLO ANUAL DEL OLIVO Y SENSIBILIDAD AL DÉFICIT HÍDRICO 61

1.- CALENDARIO MEDIO DE LOS CICLOS VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO 63
2.- CRECIMIENTO VEGETATIVO 63
3.- CICLO REPRODUCTIVO 65

3.1.- Inducción floral ... 65
3.2.- Iniciación floral ... 66
3.3.- Reposo de yemas ... 66
3.4.- Desarrollo floral ... 67
3.5.- Floración, polinización y fecundación ... 68
3.6.- Cuajado y caída de frutos ... 69
3.7.- Crecimiento y desarrollo del fruto ... 70
3.8.- La maduración de la aceituna ... 76
4.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO ... 78
4.1.- Período desde brotación de las yemas hasta la floración. ... 78
4.2.- Crecimiento del fruto hasta el endurecimiento del hueso ... 78
4.3.- Endurecimiento del hueso hasta comienzo de la maduración ... 78

Capítulo 5: PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN PLANTACIONES ADULTAS DE OLIVAR. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO EN EL OLIVAR REGADO POR GOTEO ... 83

1.- EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ... 85
1.1.- Evapotranspiración de referencia ... 86
1.2.- El coeficiente de cultivo ... 90
1.2.1.- Transpiración del olivar ... 91
1.2.2.- Evaporación desde la superficie del suelo ... 91
1.2.3.- Evaporación desde la superficie del suelo humedecida por los goteros ... 92
1.3.- Procedimiento de cálculo del coeficiente de cultivo (Kc) ... 93
1.4.- Ejemplo de cálculo del coeficiente de cultivo y de la evapotranspiración de una plantación de olivar 100
1.5.- Consideraciones sobre los valores de Kc y ETc en plantaciones regadas de olivar ... 105
2.- FUNDAMENTO DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR. MÉTODO DEL BALANCE DE AGUA ... 108
2.1.- Déficit de agua en el suelo ... 108
2.2.- Cálculo de las necesidades de agua de riego ... 114
3.- PROGRAMACIÓN DE RIEGOS CUANDO SE EMPLEAN SISTEMAS DE ALTA FRECUENCIA 117
3.1.- Programación de riegos teniendo en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa ... 118
3.2.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante la estación lluviosa ... 119
4.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR ... 120
4.1.- Programación del riego con agotamiento progresivo de la reserva de agua del suelo. ... 120
4.2.- Programación de riegos utilizando la reserva de agua del suelo comenzando la campaña de riegos cuando hemos agotado la reserva. ... 127
4.3.- Programación de riegos sin tener en cuenta la reserva de agua del suelo. ... 130
5.- PRÁCTICA DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN UNA PLANTACIÓN JOVEN ... 131
5.1.- Cálculo de la transpiración de los árboles ... 133
5.2.- Cálculo de la evaporación de agua desde los bulbos humedecidos por los goteros ... 133
5.3.- Ejemplo de cálculo de las necesidades de riego en una plantación joven ... 134
6.- CONCLUSIONES ... 135

Capítulo 6: RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO ... 139

1.- PROBLEMÁTICA DEL RIEGO CON CANTIDADES DEFICITARIAS DE AGUA ... 141

2.- SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO 144
3.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVAR DE ACEITUNA DE MESA EN CALIFORNIA (EEUU) 145
4.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN CATALUÑA. 147
5.- RESULTADOS DE UN ENSAYO DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN ANDALUCÍA. 148
6.- RESULTADOS DE DOS ENSAYOS DE ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO EN ANDALUCÍA. 150
7.- RECOMENDACIONES SOBRE APLICACIÓN DE RIEGOS DEFICITARIOS EN ANDALUCÍA. 157
8.- ÍNDICES FISIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OLIVARES EN LOS QUE SE APLICAN RIEGOS DEFICITARIOS 159
9.- CONSIDERACIONES FINALES. 162

Capítulo 7: INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE Y SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA EN EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN 165

1.- INTRODUCCIÓN 167
2.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL ACEITE 168
2.1.- Experiencia de Andalucía 168
2.1.1.-Olivar adulto de la variedad Picual 168
2.1.2.- Olivar joven de la variedad Arbequina 176
2.2.- Experiencia de Cataluña 177
2.3.- Experiencia de Aragón. 178
2.4.- Experiencia de Italia. 179
2.5.- Conclusiones. 179
3.- INFLUENCIA DEL RIEGO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ACEITUNA DURANTE EL PROCESO INDUSTRIAL DE EXTRACCIÓN. 180

Capítulo 8 : CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. RIEGO CON AGUAS SALINAS 185

1.- LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO 187
1.1.- Naturaleza de las aguas según su procedencia 188
1.2.- Análisis de un agua para riego 189
1.2.1.- Determinaciones analíticas a realizar en el laboratorio 189
1.2.2.- Toma de muestras de agua 190
1.2.3.- Comprobación de la validez de los resultados del análisis de un agua 190
1.3.- Cálculo de las sales que hipotéticamente contiene un agua de riego 192
1.4.- Clasificación de las aguas para el riego 194
1.4.1.- Salinidad 194
1.4.2.- Sodicidad 196
1.4.3.- Toxicidad iónica específica 202
1.4.4.- Carbonato sódico residual 204
1.4.5.- Oligoelementos 204
2.- EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL OLIVO. 205
3.- EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS 208
4.- RESULTADOS DE UN EXPERIMENTO EN CAMPO EN OLIVAR 210
5.- MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN OLIVAR 215

Capítulo 9: LA INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO. MATERIALES DE RIEGO. CALIDAD DE LOS MATERIALES. ... 221

1.- COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO ... 223
2.- BALSAS DE REGULACIÓN ... 223
2.1.- Dimensionamiento de una balsa o embalse de regulación ... 224
2.2.- Construcción de la balsa de regulación ... 233
3.- INSTALACIONES DE PREFILTRADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA ... 235
3.1.- Decantadores ... 235
3.2.- Aireadores ... 239
3.3.- Otros elementos de prefiltrado ... 241
4.- GRUPO DE BOMBEO ... 242
5.- EL CABEZAL DE RIEGO LOCALIZADO ... 243
5.1.- Hidrociclones ... 245
5.2.- Filtros ... 247
5.2.1.- Filtros de arena ... 247
5.2.2.- Filtros de malla ... 252
5.2.3.- Filtros de anillas ... 256
5.2.4.- Filtros hidrociclónicos de mallas ... 259
5.2.5.- Filtros hidrociclónicos de anillas ... 259
5.2.6.- Filtros autolimpiantes automáticos ... 260
5.2.6.1.- Filtros de anillas automáticos autolimpiantes ... 260
5.2.6.2.- Filtros de mallas automáticos autolimpiantes ... 261
5.2.7.- Filtros auxiliares ... 264
5.3.- El sistema de fertirrigación ... 264
5.3.1.- Dispositivos para inyectar fertilizantes ... 265
5.3.1.1.- Tanques de fertilización ... 265
5.3.1.2.- Inyectores tipo Venturi ... 265
5.3.1.3.- Bombas inyectoras eléctricas ... 266
5.3.1.4.- Bombas inyectoras hidráulicas ... 268
5.3.2.- Depósitos para almacenar abonos líquidos para fertirrigación ... 269
5.3.3.- Agitadores y bombas de soplado ... 270
5.3.4.- Controlador de pH y conductividad eléctrica del agua de red ... 272
6.- LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA ... 272
6.1.- Tuberías ... 274
6.1.1.- Tuberías de PVC ... 276
6.1.2.- Tuberías de Polietileno (PE) ... 276
6.1.3.- Elementos singulares de la red de riego ... 279
6.2.- Emisores ... 280
6.2.1.- Goteros ... 283
6.2.2.- Microaspersores y difusores ... 286
6.2.3.- Tuberías emisoras ... 288
6.3.- Elementos de control, medida, protección y automatismos ... 290
6.3.1.- Medidores de caudal ... 290
6.3.2.- Medidores de presión (manómetros) ... 291
6.3.3.- Reguladores de presión ... 291
6.3.4.- Reguladores de caudal ... 292
6.3.5.- Válvulas ... 292
6.4.- Elementos de protección ... 294
6.4.1.- Presostatos ... 294

6.4.2.- Ventosas 294
6.4.3.- Calderines 296
6.5.- Automatismos 297
6.5.1.- Automatización por tiempos 297
6.5.2.- Automatización por volúmenes 298
6.5.3.- Automatización por ordenador 299

Capítulo 10: DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO 301

1.- INTRODUCCIÓN 303
2.- DISEÑO AGRONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO. 305
3.- EJEMPLO DE DISEÑO AGRONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO 307
4.- NÚMERO DE EMISORES A INSTALAR POR OLIVO 311
5.- PÉRDIDAS DE AGUA POR EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO HUMEDECIDO POR LOS GOTEROS 316
5.1.- Plantación adulta 318
5.2.- Plantación joven 320
6.- RIEGO SUBTERRÁNEO. 325
7.- DISEÑO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO. 327
7.1.- Recomendaciones para el diseño de la red de riego 329
8.- COSTES DE BOMBEO EN RELACIÓN CON EL COSTE DE LA TUBERÍA 334
9.- UBICACIÓN DE LAS BALSAS DE RIEGO 344

Capítulo 11: INSTALACIONES Y COSTES DE BOMBEO PARA EL RIEGO DE OLIVAR 347

1.- LA IMPULSIÓN 349
2.- CAUDAL A ELEVAR 349
3.- ALTURA MANOMÉTRICA 350
3.1.- Altura geométrica 350
3.2.- Pérdidas de carga en la red 352
3.3.- Presión de trabajo de los emisores 353
4.- ALTURAS DE TRABAJO 353
4.1.- Cálculo de la altura manométrica que debe suministrar el bombeo 353
4.2.- Altura neta positiva de aspiración 356
5.- BOMBAS PARA RIEGO 357
5.1.- Bombas horizontales 358
5.2.- Bombas verticales. 360
5.3.- Accionamiento de las Bombas 365
5.4.- Rendimiento de los equipos de bombeo 365
5.5.- Normas para el diseño de la aspiración e impulsión de las bombas 366
6.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DE UNA BOMBA 373
7.- CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO Y COSTES DE BOMBEO 374
7.1.- Energía consumida por los motores eléctricos 374
7.2.- Potencia de un motor eléctrico trifásico 375
7.3.- Coste de la energía consumida en el bombeo 375
8.- ELECCIÓN DE UNA MOTOBOMBA ELÉCTRICA 377
8.1.- Curvas características 378
8.2.- Selección de una bomba 378

8.3.- Ejemplo ... 379
8.4.- Varias bombas trabajando en serie ... 382
9.- PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA A LA HORA DE INSTALAR UNA BOMBA ... 384
10.- CUADROS DE ARRANQUE Y PROTECCIÓN PARA MOTORES TRIFÁSICOS ... 384
11.- POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES ... 385
12.- POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS ... 387
13.- MOTOBOMBAS ACCIONADAS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL ... 388
13.1.- Cálculo de la potencia del motor ... 388
13.2.- Coste del combustible consumido ... 388
13.3.- Ejemplo ... 389
14.- DEFECTOS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO ... 390

Capítulo 12: TARIFAS ELÉCTRICAS ... 393

1.- INTRODUCCIÓN ... 395
2. COMPONENTES DE LA FACTURA ELÉCTRICA ... 396
2.1. La tarifa eléctrica ... 397
2.2. Discriminación horaria ... 399
2.3. Contratación de potencia ... 404
2.3.1.- Contratación de potencia Modo 4 ... 405
2.3.2.- Contratación de potencia Modo 5. Estacional Tipo A ... 406
2.4. Energía reactiva ... 408
3.- FACTURACION EN EL MERCADO LIBERALIZADO ... 410
4.- SUPUESTOS PRÁCTICOS ... 411
4.1.- Supuesto 1 ... 411
4.2.- Supuesto 2 ... 416
4.3.- Supuesto 3 ... 420

Capítulo 13: EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO ... 429

1.- INTRODUCCIÓN ... 431
2.- EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO ... 432
2.1.- Equipo de filtrado ... 432
2.2.- Equipo de fertirrigación ... 435
2.3.- Elementos de control, automatismos y piezas especiales ... 436
2.4.- Unidades de riego ... 436
2.5.- Tuberías laterales de distribución y emisores ... 437
3.- EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO ... 438
3.1.- Uniformidad de la subunidad de riego ... 439
3.2.- Uniformidad de instalación ... 444
4.- EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO ... 447
5.- RESUMEN ... 448

Capítulo 14: MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO ... 451

1.- INTRODUCCIÓN ... 453
2.- EL PROBLEMA DE LAS OBTURACIONES ... 454
3.- TIPOS DE OBTURACIONES ... 455

4.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES DE TIPO FÍSICO 457
5.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES QUÍMICAS 458
5.1.- Precipitados calizos 458
5.2.- Precipitados de hierro 463
5.3.- Precipitados de manganeso 465
5.4.- Problemática de las aguas con ácido sulfhídrico 465
5.5.- Precipitados procedentes de fertilizantes 466
6.- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE OBTURACIONES BIOLÓGICAS 467
7. - MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES 470

Capítulo 15: LOS NUTRIENTES Y EL OLIVAR 477

1.- LOS NUTRIENTES ESENCIALES 479
2.- NITRÓGENO 480
3.- FÓSFORO. 483
4.- POTASIO. 485
5.- OTROS ELEMENTOS. 489
5.1.- Boro. 491
5.2.- Hierro. 492
5.3.- Calcio. 500
5.4.- Magnesio. 501
5.5.- Manganeso. 502
5.6.- Cinc 502

Capítulo 16: LA FERTILIZACIÓN EN EL OLIVAR DE RIEGO. 505

1.- INTRODUCCIÓN 507
2.- FACTORES A CONSIDERAR EN LA PROGRAMACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN DEL OLIVAR REGADO POR GOTEO 508
2.1.- Características agronómicas del suelo, de la plantación y de las prácticas de cultivo empleadas 508
2.2.- Estudio de los suelos 509
2.3.- Análisis del agua de riego 510
2.4.- Análisis foliar 510
3.- DINÁMICA EN EL SUELO DE LOS MACROELEMENTOS APORTADOS EN FERTIRRIGACIÓN. 510
3.1.- Nitrógeno 511
3.2.- Fósforo 513
3.3.- Potasio 514
3.4.- Magnesio 516
4.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN EN UN OLIVAR CON RIEGO LOCALIZADO 517
5.- CÁLCULO DE LAS DOSIS ANUALES DE ABONADO 518
5.1.- Necesidades nutritivas anuales 519
5.2.- Eficiencia de utilización de los fertilizantes 520
5.3.- Determinación de las dosis de abonado. 520
5.4.- Estimación de la capacidad productiva de un olivar 522
5.5.- Necesidades de abonado de diferentes tipos de olivar. 524
5.6.- Fraccionamiento de los fertilizantes a lo largo del ciclo de riego 525
6.- EL ANÁLISIS FOLIAR 526

7.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN OLIVAR DE REGADÍO 530
8.- PASOS A SEGUIR EN LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO EN UNA PLANTACIÓN DE OLIVAR DE RIEGO 532
8.1.- Cálculo de las aportaciones de nutrientes por el agua de riego 533
8.2.- Factores de corrección de las dosis de abonado a emplear 536
8.3.- Cálculo de la cantidad de fertilizantes a aportar anualmente. 536
8.4.- Programación de los fertilizantes a emplear mensualmente a lo largo del ciclo de riegos. 538
9.- MICROELEMENTOS 544
10. APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES EN FERTIRRIGACIÓN 544

Capítulo 17: LA FERTIRRIGACIÓN Y LOS FERTILIZANTES PARA LA FERTIRRIGACIÓN 547

1.- CONCEPTO DE FERTIRRIGACIÓN. 549
2.- ELECCIÓN DE LOS FERTILIZANTES A EMPLEAR EN FERTIRRIEGO. 550
3.- FERTILIZANTES SÓLIDOS SOLUBLES 555
4.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS SIMPLES. 559
5.- MICROELEMENTOS 560
6.- PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE PARA FERTIRRIGACIÓN 562
7.- ABONOS LÍQUIDOS PARA FERTIRRIGACIÓN 565
8.- UTILIZACIÓN DE INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN 570
9.- FERTILIZANTES LÍQUIDOS ESPECIALES PARA FERTIRRIGACIÓN. 572
10.- REGLAS PARA EL MANEJO CORRECTO DE SOLUCIONES FERTILIZANTES Y ABONOS LÍQUIDOS. 573
11.- INSTALACIONES PARA FERTIRRIGACIÓN 574

Capítulo 18: FERTILIZACIÓN FOLIAR EN OLIVAR 577

1.- ABONADO FOLIAR EN OLIVAR 579
2.- ENSAYOS DE EFICACIA DE TRATAMIENTOS FOLIARES FERTILIZANTES 580
3.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ABSORCIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES 583
4.- RECOMENDACIONES SOBRE LA APLICACIÓN FOLIAR DE LOS FERTILIZANTES 586

Capítulo 19: MANTENIMIENTO DEL SUELO EN OLIVAR DE REGADÍO: MANEJO DEL SUELO Y LOS HERBICIDAS. 589

1.- INTRODUCCIÓN 591
2.- HERBICIDAS EN EL OLIVAR 593
3.- BUENAS PRÁCTICAS EN EL EMPLEO DE HERBICIDAS 594
3.1.- Buenas prácticas relativas a los herbicidas 594
3.2.- Buenas prácticas relativas a la programación de la lucha contra las malas hierbas 597
4.- MANEJO DEL SUELO EN OLIVARES REGADOS POR GOTEO 599
4.1.- Aspectos técnicos: tuberías portagoteros enterradas o superficiales 600
4.2.- Problemas de control de las hierbas en dos zonas bien diferenciadas: bulbos húmedos y zona no afectada por el riego. 600
4.3.- Sistemas de cultivo 600
4.4.- Forma de aplicar los herbicidas: convencional y/o a través de la red de riego 604
5.- LA HERBIRRIGACIÓN 604
5.1.-Ventajas e Inconvenientes 604

5.2.- Movimiento de herbicidas en el bulbo húmedo 606
5.3.- Control de malas hierbas en herbirrigación 608
5.3.1.- Control en preemergencia de hierbas no germinadas 608
5.3.2.- Control de hierbas emergidas y poco desarrolladas 609
5.3.3.- Control de hierbas desarrolladas 609
5.3.4.- Control de malas hierbas perennes 609
6.- ESTRATEGIAS DE CONTROL DE MALAS HIERBAS EN OLIVAR REGADO POR GOTEO ... 610
6.1.- Estrategias de control en el centro de las calles de la plantación. 610
6.2.- Estrategias de control en la zona seca de la línea de tuberías portagoteros. 611
6.3.- Estrategias de control en los bulbos 611
6.3.1.- Plantaciones adultas 611
6.3.2.- Plantaciones jóvenes 613
6.4.- Estrategias de control malas hierbas perennes 614
6.5.- Elección de herbicidas para herbirrigación en olivar 615
6.6.- Práctica de la herbirrigación en olivar y cálculo de la dosis de herbicida 615

Capítulo 20: PODA Y MANEJO DE PLANTACIONES DE OLIVAR EN REGADÍO. 625

1.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PODA DEL OLIVAR 627
2.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES EN RIEGO. 636
3.- MANEJO DE LAS PLANTACIONES 646
4.- PERIODICIDAD DE LA PODA 650
5.- PODA DE LAS PLANTACIONES INTENSIVAS 651

Capítulo 21: PROBLEMÁTICA FITOSANITARIA EN LA OLIVICULTURA DE REGADÍO 663

1.- INTRODUCCIÓN 665
2.- LA VERTICILOSIS DEL OLIVO 668
2.1.- Importancia y distribución geográfica 668
2.2.- Síntomas 670
2.3.- Etiología 673
2.4.- Ciclo de patogénesis 674
2.5.- Epidemiología 676
2.6.- Control 678
2.7.- Sanidad en viveros de olivo 679
2.8.- Medidas a adoptar antes de la realización de la plantación 681
2.8.1.- Medidas preventivas 681
2.8.2.- Medidas a adoptar en suelos infestados 682
2.9.- Medidas a adoptar en plantaciones ya establecidas 384
2.9.1.- Evitar la dispersión del inóculo 384
2.9.2.- Erradicar o reducir la densidad de inóculo del hongo en el suelo. 685
2.9.3.- Reducir la eficacia del inóculo 689
3.- REPILO 689
3.1.- Importancia de la enfermedad 689
3.2.- Sintomatología 690
3.3.- Etiología y epidemiología 692
3.4.- Control 693
4.- OTRAS ENFERMEDADES 696
4.1.- Aceitunas jabonosas 696

4.2.- Emplomado 699
4.3. -Tuberculosis 702
4.4. -Podredumbres radiculares 704

Capítulo 22: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD FINANCIERA DE LAS TRANSFORMACIONES EN REGADIO. 711

PARTE I .- INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FINANCIERO DE INVERSIONES 713

1.- EL CONCEPTO DE INVERSIÓN REAL O INVERSIÓN PRODUCTIVA. EL FLUJO DE CAJA. 713
1.1.- El flujo de caja del proyecto: dimensión y temporalidad. 713
1.1.1.- Cuantía de la inversión o desembolso inicial. 713
1.1.2.- El horizonte temporal de evaluación o vida del proyecto. 714
1.1.3.- El flujo anual de caja generado por el proyecto a lo largo de su horizonte temporal. 714
2.- SUPUESTOS SIMPLIFICADORES EN LA CONFIGURACIÓN DEL FLUJO DE CAJA. 714
2.1.- Periodificación del flujo. 714
2.2.- Equivalencia ingresos-cobros y costes-pagos. 715
2.3.- Valoración a precios del año base de los ingresos y costes generados por el proyecto a lo largo de su vida. 715
2.4.- La financiación del proyecto de inversión 717
2.5.- La financiación ajena de la inversión mediante préstamos bancarios. 718
2.6.- Flujos netos de caja alternativos en la valoración de un proyecto de inversión concreto. 720
2.6.1.- Cálculo del flujo de caja anual de un proyecto que implica creación de empresa, con y sin financiación ajena. 720
2.6.2.- Determinación del flujo neto de caja relevante a efectos de la valoración financiera de un proyecto de inversión a desarrollar en el seno de una empresa ya existente. 721
2.7.- La valoración de proyectos de inversión: fundamentos 722
2.8.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de rentabilidad 723
2.8.1.- El criterio del Valor Actual Neto (VAN). 723
2.8.2.- El criterio de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) 725
2.9.- La valoración de proyectos de inversión: criterios de liquidez 726
2.10.- La valoración de proyectos de inversión: criterios que tienen en cuenta el riego. 727
2.10.1.- El análisis de sensibilidad basado en la determinación de valores críticos. 728

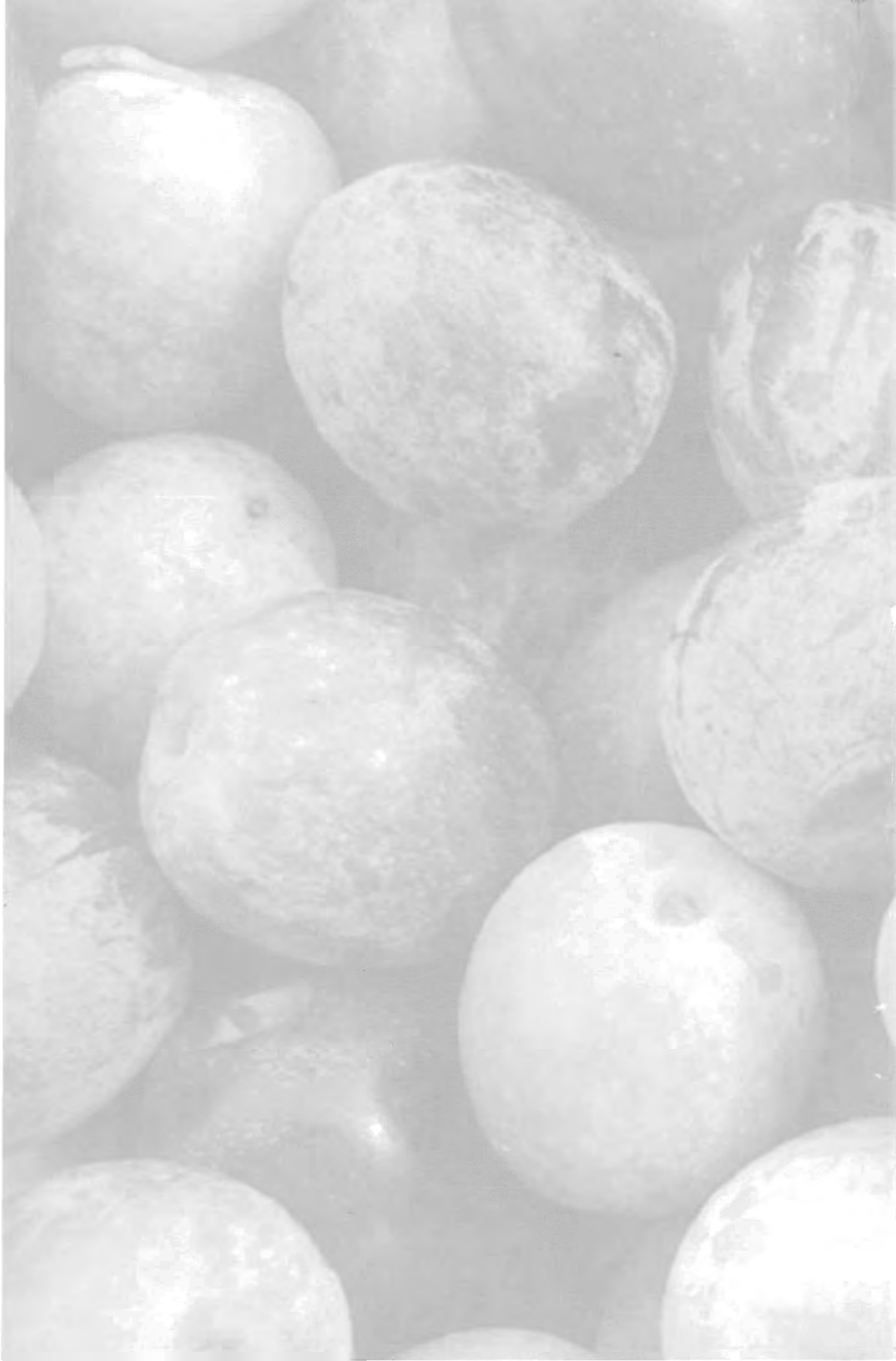
PARTE II. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA TRANSFORMACIÓN EN REGADÍO DEL OLIVAR DE SECANO: CASO DE APLICACIÓN 730

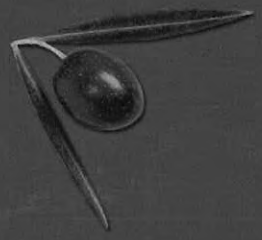
1.- INTRODUCCIÓN 731
2.- EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA INVERSIÓN: COMPONENTES DE LOS FLUJOS DE COSTES E INGRESOS 731
2.1.- Coste y horizonte económico de la inversión 731
2.2.- Costes de producción. 732
2.2.1.- Costes debidos al riego 732
2.2.2.- Costes ajenos al acto de regar 732
2.3.- Ingresos por venta del aceite y subvenciones a la explotación. 733
3.- EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA INVERSIÓN: EJEMPLO DE APLICACIÓN 734
3.1.- Características agronómicas de las parcelas y producción media esperada. 735
3.2.-Los costes de producción: partidas y prácticas de cultivo consideradas 735
3.2.1.- Costes de producción en regadío 735

3.2.2.- Costes de producción en secano 737
3.3.- Costes unitarios de la maquinaria empleada en las tareas de cultivo, incluida la mano de obra necesaria en su manejo, y costes unitario de jornales. 737
3.4.- Costes de producción por hectárea en regadío. 739
3.5.- Cuantía de la inversión inicial en transformación en regadío. 744
3.6.- Costes de producción por hectárea en secano 744
3.7.- Resumen de costes de producción en regadío y secano. 747
3.8.- Ingresos anuales previstos en secano y regadío 748
3.9.- Flujo neto de caja incremental asociado al proyecto 748
4.- VALORACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN EN EL SUPUESTO DE FINANCIACIÓN MEDIANTE RECURSOS PROPIOS. 749
4.1.- Criterios de valoración del proyecto bajo certidumbre: rentabilidad y liquidez del proyecto. 750
4.2.- La consideración del riesgo en la valoración del proyecto: el análisis de sensibilidad. 751
5.- USO DE RECURSOS AJENOS EN LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO. 753

APENDICE:
Programación del Riego y la Fertirrigación en olivar. MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA 759

ÍNDICE 773





I.S.B.N.: 84-8474-169-9 *(Junta de Andalucía)*
I.S.B.N.: 84-8476-229-7 *(Mundi-Prensa)*

JUNTA DE ANDALUCIA
Consejería de Agricultura y Pesca

Mundi-Prensa