

Fundamentos del Riego



Manual y Ejercicios

Consejería de Agricultura y Pesca

Manual de Riego para Agricultores
Módulo 1
FUNDAMENTOS DEL RIEGO

Manual y Ejercicios

Autores

Rafael Fernández Gómez ¹

Ricardo Ávila Alabarces ²

Manuel López Rodríguez ²

Pedro Gavián Zafra ²

Nicolás A. Oyonarte Gutiérrez ¹

¹. Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía S.A.

². Consejería de Agricultura y Pesca. I.F.A.P.A.

AGRADECIMIENTOS

Cuando se abordó la elaboración de este material didáctico para la formación del regante, buscamos reunir la claridad y sencillez con el necesario rigor, de forma que el resultado fuera mucho más que un recetario de aplicación dudosa en circunstancias variables. Con este fin, se hacía precisa la colaboración con universidades y centros públicos de investigación con amplia experiencia en la ciencia y técnica del riego, además de los propios de la Consejería de Agricultura y Pesca. En este ámbito se enmarcan los acuerdos con la Unidad Docente de Hidráulica y Riegos de la Universidad de Córdoba y el Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba (C.S.I.C.). También ha realizado aportaciones Luciano Mateos Iñiguez (C.S.I.C.). Estos acuerdos son continuación de la colaboración permanente entre la Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía y los centros de producción científica.

A las personas y entidades mencionadas queremos agradecer su aportación.

Además, se ha contado también con la colaboración de empresas fuertemente implantadas en la agricultura de riego.

AQUASYSTEM, S.A.; IRRIMÓN-MONDRAGÓN, S.A.; PLASTIMER, S.A.; VALMONT, S.A.

MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES

MÓDULO 1. FUNDAMENTOS DEL RIEGO. MANUAL Y EJERCICIOS

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca
Publica: Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Autores: Rafael Fernández Gómez, Ricardo Ávila Alabarces, Manuel López Rodríguez,
Pedro Gavilán Zafra, Nicolás A. Oyonarte Gutiérrez

Depósito Legal: SE-3034-04

I.S.B.N: 84-8474-133-8

Maquetación e impresión: IRISGRÁFICO (Sevilla)

Unidad Didáctica 1. EL AGUA Y EL RIEGO	5
1.1 Introducción	5
1.2 Ciclos y usos del agua	6
1.3 El agua como recurso limitado	8
1.4 Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego	10
Resumen	12
Autoevaluación	13
Unidad Didáctica 2. MÉTODOS DE RIEGO	15
2.1 Introducción	15
2.2 Riego por superficie	17
2.3 Riego por aspersión	19
2.4 Riego localizado	20
Resumen	22
Autoevaluación	23
Unidad Didáctica 3. IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LOS REGADÍOS	25
3.1 Introducción	25
3.2 Efectos ambientales positivos relacionados con los regadíos	26
3.3 Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos	27
Resumen	32
Autoevaluación	33
Unidad Didáctica 4. EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA	35
4.1 Introducción	35
4.2 Características físicas del suelo	36
4.3 El agua en el suelo	37
4.4 El agua en la planta. Uso del agua por la planta	40
4.5 Pérdidas de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación	41
4.6 Calidad del riego: Eficiencia, uniformidad y déficit	42
Resumen	44
Autoevaluación	45

Unidad Didáctica 5. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO	47
5.1 Introducción	47
5.2 El agua de riego y las sales	48
5.3 Toxicidad	51
5.4 Problemas de infiltración	52
5.5 Otros criterios de calidad	53
5.6 Lavado de sales	54
Resumen	55
Autoevaluación	56
Unidad Didáctica 6. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS	57
6.1 Introducción	57
6.2 Necesidades de agua de los cultivos	58
6.3 El agua del suelo en relación con el riego	62
6.4 Estimación de las necesidades de riego usando el método del balance de agua	63
6.5 Estrategias de riego	66
6.6 Calendarios medios de riego. Programación en tiempo real	67
Resumen	72
Autoevaluación	73
Respuestas a las Autoevaluaciones	74
Glosario	75
Bibliografía	78
Ejercicios	80
Soluciones	92

EL AGUA Y EL RIEGO

1.1 Introducción

El agua representa casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta y constituye un elemento imprescindible para la vida. Con los conocimientos de que hoy se dispone se puede afirmar que **sin agua no hay vida**.

El nacimiento de la **Agricultura** como práctica cultural hace 10.000 años supuso un cambio radical en el comportamiento humano tras percibir que existía determinado tipo de plantas **que podían ser cultivadas** fuera de su entorno silvestre y ser consumidas. La dependencia del agua para la producción agrícola es total y originalmente los cultivos estaban condicionados totalmente por la presencia de lluvia.

La imperiosa necesidad del agua para el desarrollo de la actividad humana hizo que las civilizaciones antiguas se asentaran en los márgenes de los grandes ríos. La Agricultura desarrollada en estas zonas comenzó a utilizar la experiencia adquirida con las crecidas periódicas de los ríos que suministraban agua a sus cultivos para realizar una **Agricultura de regadío** cada vez más perfeccionada. El método de riego originario consistía en aplicar el agua sobre la superficie y dejar que discurriera **por gravedad**, método que con el tiempo se fue perfeccionando con la incorporación de una red de distribución de agua más apropiada y un manejo del riego más racional. Este método, más perfeccionado por supuesto, aún se sigue utilizando masivamente en todo el mundo.

En las últimas décadas, el **desarrollo tecnológico y científico** ha permitido crear la infraestructura necesaria para adaptar los riegos a las necesidades de cada comunidad. El perfeccionamiento de los sistemas de bombeo para dotar al agua de presión, el mejor conocimiento del comportamiento del agua tanto cuando circula en una red al aire libre como cuando circula dentro de una red a presión, el desarrollo de las técnicas de cultivo, el estudio de las necesidades de agua de los cultivos y una mejor comprensión del ciclo del agua, entre otros ámbitos del progreso del conocimiento humano, han permitido la creación de **nuevas técnicas de riego** que se han difundido y expandido extraordinariamente en los últimos 30 a 40 años.

España dispone actualmente de una superficie de regadío próxima a las 3.400.000 has. (hectáreas), superficie que representa cerca del 15% de la superficie cultivada total. **En Andalucía existen hoy día unas 800.000 has. de regadío**, aproximadamente un 23% de la superficie regada a nivel nacional. La Agricultura de regadío permite una **mayor variedad de cultivos** que en secano, especialmente en zonas de clima seco donde la falta de agua es el principal limitante de la producción. En el regadío español destacan por cultivos los indicados en la siguiente tabla:

Cultivo	% de cultivo en regadío
Arroz, flores y cítricos	Aprox. 100
Hortalizas	95
Frutales	65
Cultivos industriales, algodón y remolacha	65
Forrajes	50
Cereales	30
Viñedo	22
Olivar	12



Años de Antigüedad	% de la superficie total de regadío
Más de 200	30
90 - 200	7
20 - 90	36
Menos de 20	27

del sol, pasando a la atmósfera y formando ocasionalmente las nubes. El enfriamiento del vapor genera la **precipitación** (lluvia, nieve o granizo) que devuelve el agua a los mares, océanos, etc. donde de nuevo se evapora o discurre por las corrientes de agua superficiales, bien cae al suelo y se **infiltra** hacia capas más profundas del subsuelo formando las bolsas de agua subterráneas denominadas **acuíferos**, o se devuelve a la atmósfera en forma de vapor por el efecto del calor del sol o la respiración de las plantas. Este continuo movimiento del agua es lo que se denomina **ciclo hidrológico**.

Aún cuando la cantidad de agua existente es enorme, la que realmente se puede considerar **útil para las actividades realizadas por el hombre**, el **agua dulce líquida**, es muy pequeña. Se estima que del total de agua en la Tierra, el 96% es agua salada, en torno al 3% es agua en forma sólida (constituyendo los hie-

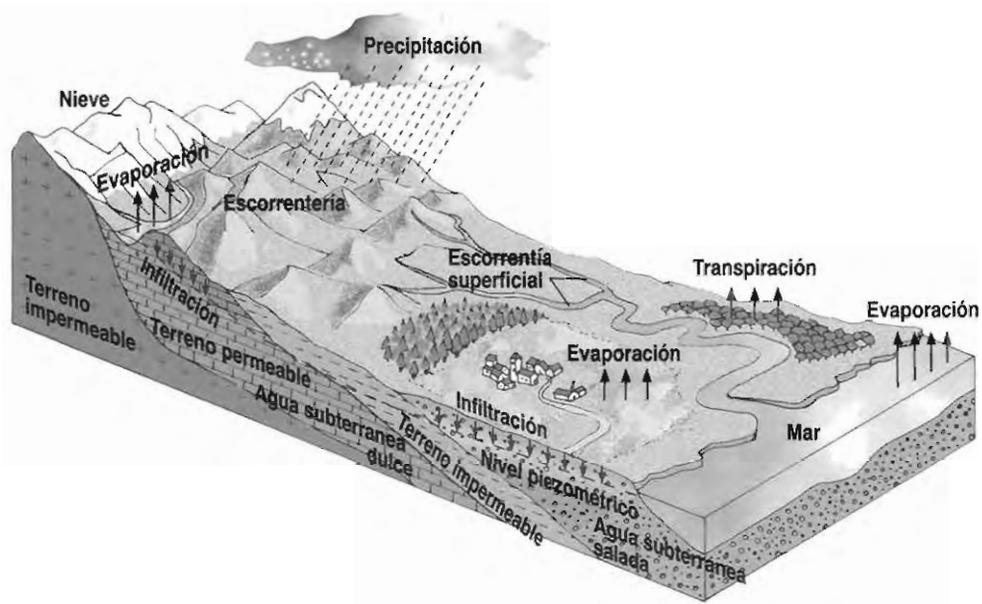
Sin embargo a pesar de la gran importancia que representa la Agricultura de regadío, una parte importante de los regadíos españoles, y también de los andaluces, se encuentran en un **deficiente estado de conservación, adecuación y nivel tecnológico** motivado principalmente por sistemas demasiado antiguos (ver tabla adjunta), a menudo obsoletos, y en los que prácticamente no se ha realizado mantenimiento lo que repercute en mayores costes en obras de mejora o rehabilitación. Se estima que un 45% de los regadíos españoles requieren **obras de mejora, rehabilitación y modernización de infraestructuras** para un mejor aprovechamiento del recurso agua.

1.2 Ciclos y usos del agua

La cantidad de agua que existe en la Tierra prácticamente no cambia con el tiempo, sin que el hombre pueda hacer nada por aumentar tal cantidad. Incluso se puede afirmar que la que se utiliza en la actualidad es la misma que la que existía hace millones de años.

El agua del planeta está en continuo movimiento pudiéndose encontrar en tres estados o fases: líquida, sólida y en forma de vapor. Se almacena temporalmente en los océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, etc. formando parte de las aguas superficiales, desde los cuales se **evapora** (pasa de forma líquida a vapor) por la acción del calor

Figura 1. Ciclo hidrológico



los polares y otras zonas de hielos permanentes) y solo un 1% es agua dulce líquida que se encuentra en lagos, cursos de agua (ríos, arroyos, etc.) y en los acuíferos.

Pues bien, ese 1% del total del agua disponible en la Tierra es utilizado por el hombre para todas las actividades que realiza. El consumo de agua de **uso doméstico** se ha multiplicado por 10 en el último siglo. Se estima que en la actualidad un individuo que viva en una zona desarrollada necesita más de 50 litros de agua diariamente para satisfacer sus necesidades personales y las relativas a su vida en el hogar. El **uso industrial** del agua es otro elemento importante del consumo total y unido al uso doméstico se estima que cada persona consume diariamente una media entre 400 y 500 litros de agua en los países desarrollados, en contraste a los 20 litros por persona y día correspondientes a ambos usos a final del siglo pasado. Sin embargo, la Agricultura es la actividad que consume mayor cantidad de agua en lo que se denomina **uso del agua para regadío**. En España, en torno al 80% del consumo de agua corresponde a los regadíos, mientras que los usos doméstico e industrial consumen respectivamente un 14 y 6% aproximadamente.

Figura 2. Distribución del agua en la tierra

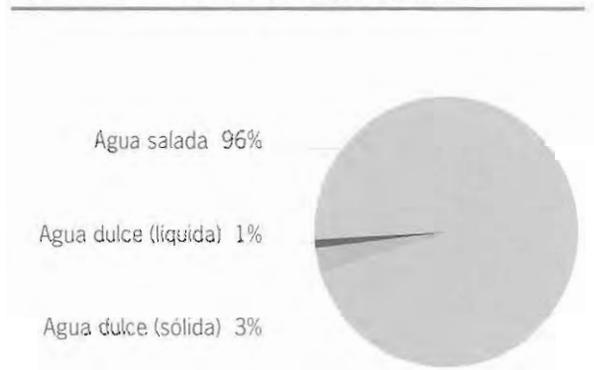
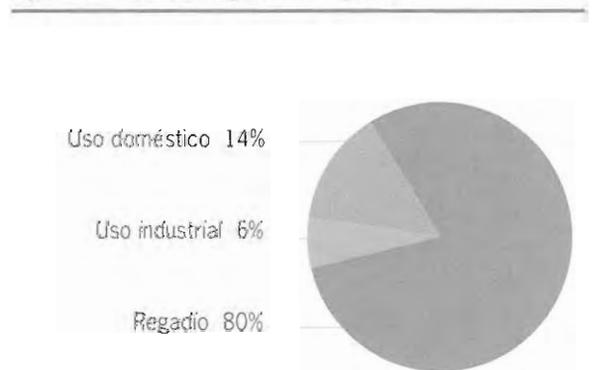


Figura 3. Uso del agua en España



1.3 El agua como recurso limitado

Aunque la cantidad de agua dulce líquida es constante, su movilidad dentro del ciclo hidrológico hace que **se distribuya muy irregularmente en el espacio y en el tiempo**, es decir, no siempre y no en el mismo lugar existe la misma cantidad de agua disponible. En España esa circunstancia se agrava ya que es un país en el que se dan importantes desigualdades en la disponibilidad del agua. Aunque en general se puede considerar un país seco, existe una España húmeda que consume menos agua de la que dispone, mientras que la España seca tiene un **importante déficit o falta de agua**. A este respecto, baste indicar que el 41% del agua disponible en nuestro país se concentra en sólo el 11% del territorio, mientras que el otro 89% dispone del 59% restante. Es por lo tanto en estas zonas donde el uso del agua ha de estar convenientemente regulado con objeto de satisfacer todas las necesidades. También es evidente la distribución irregular en el tiempo de los aportes de agua, aunque este hecho se produce de manera más acusada en zonas tradicionalmente secas. Obsérvese por ejemplo el gráfico de la Figura 4 en el que se muestran las precipitaciones totales anuales en una capital andaluza producidas en los últimos 57 años, donde se ponen en evidencia unos **aportes de agua muy irregulares** lo que dificulta que puedan realizarse estimaciones de la disponibilidad de agua, si bien una adecuada política de regulación y aprovechamiento eficaz de los recursos hídricos puede hacer que este problema sea mucho menor de lo que es en la actualidad.

Figura 4. Precipitación anual en Sevilla desde el año 1940 hasta la actualidad

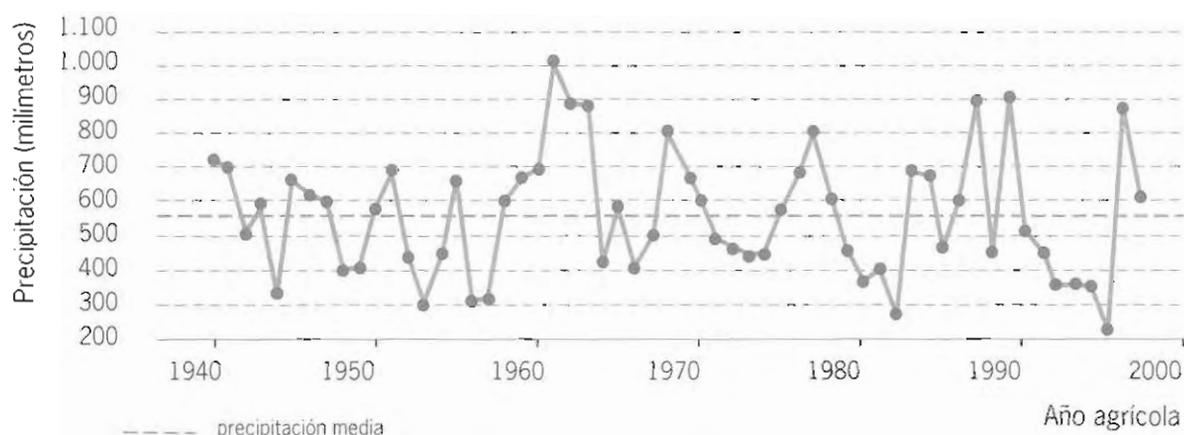
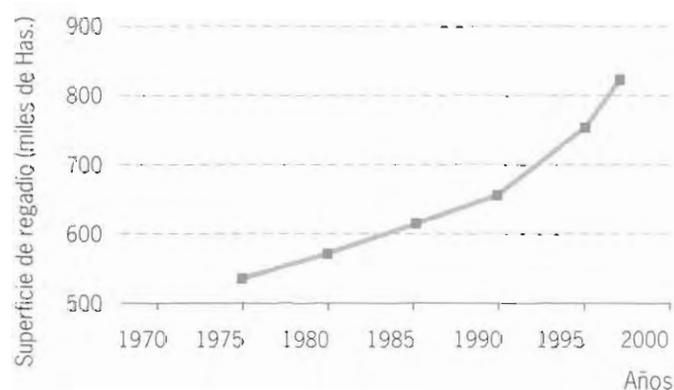


Figura 5. Evolución de la superficie de regadío en Andalucía en los últimos 20 años



A la distribución temporal y espacial irregular del agua hay que sumar que **la demanda de agua crece progresivamente con el tiempo**. Los usos industrial y doméstico han venido incrementándose constantemente, mientras que el aumento de la superficie de regadío en España (desde las 1.500.000 hectáreas en los años 50 a las 3.400.000 en la actualidad) ha doblado las demandas de agua para riego. En Andalucía, una región eminentemente seca, la superficie de regadío ha pasado desde las 300.000 has. en los años 50 hasta las 800.000 actuales, lo que también ha supuesto un **notable incremento en las demandas de agua para regadío**.

Un último efecto, pero no menos importante, reside en un **uso muy poco racional del agua**. Se tiende a sobre-explotar los acuíferos, derrochar el agua de uso doméstico, y la depuración de los vertidos urbanos e industriales aún no es suficiente para evitar la contaminación incesante de nuestros ríos. Asimismo se han venido realizando prácticas de riego poco eficientes en el uso del agua, aunque es un hecho que está cambiando, no sólo por un mayor conocimiento por parte de los agricultores sino también por el desarrollo de nuevas tecnologías en materia de riegos que ahorran agua y la utilizan de manera más eficiente.

Por todo ello, existe una tendencia al aumento de las demandas mientras que las disponibilidades de agua se mantienen en unos valores más o menos constantes, lo que supone que el déficit de agua en determinadas zonas y particularmente en Andalucía se acreciente considerablemente.

La **disponibilidad de agua en una zona** está condicionada fundamentalmente a la configuración y características físicas de sus **cuencas hidrográficas**, que son las superficies del terreno donde se recoge el agua de lluvia o deshielo que fluye en cursos de agua (ríos, arroyos, etc.) yendo a parar al mar o siendo regulada por embalses y presas. Los recursos hídricos de una cuenca están formados por:

- **Aguas superficiales:** las procedentes de la lluvia, deshielos o nieve que discurren por la superficie.
- **Aguas subterráneas:** las que después de infiltrarse en el suelo corren o están almacenadas en el subsuelo.
- **Aguas de trasvase:** las que proceden de otras cuencas hidrográficas.
- **Aguas de retorno:** provienen de agua sobrante en otro lugar dentro de la cuenca.
- **Aguas depuradas:** de la depuración de aguas de uso doméstico o industrial.

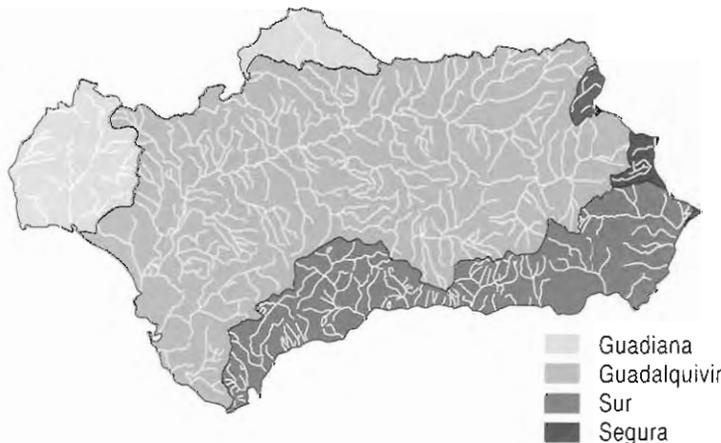
Considerando todas las cuencas hidrográficas, la superficie de cultivo regada en Andalucía con agua de diferentes orígenes se especifica en la tabla adjunta:

Origen del agua	has. de riego	%
Superficial	547.000	70.1
Subterráneo	225.000	28.8
Trasvase	2.800	0.4
Retorno	35	0.01
Depurada	5.650	0.7

La superficie de Andalucía está dividida en varias cuencas, la del **Guadalquivir**, que ocupa la mayor superficie (59%), seguida de la cuenca **Sur** (36%), la del **Guadiana** (4%) y del **Segura** (1%). Si exceptuamos la cuenca del Segura, por su escasa superficie respecto a las demás, existen notables diferencias entre la cuenca

Figura 6. Distribución de la superficie de Andalucía por cuencas hidrográficas

LÍMITE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS



DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE ANDALUCÍA POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS

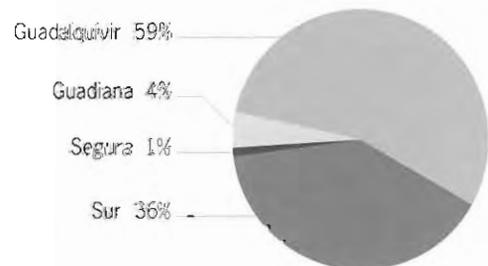
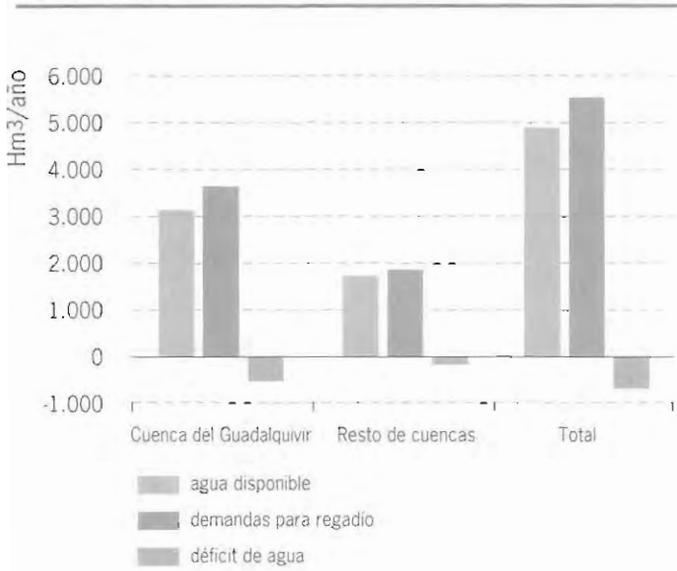


Figura 7. Recursos hídricos en Andalucía



del Guadalquivir y las cuencas Sur y Guadiana basadas en el tipo de cultivos, sistemas de riego y origen de las agua de riego, ya que en la primera de ellas predomina el **origen superficial** mientras que en las otras dos el **empleo del agua subterránea** es más preponderante. Esto ha provocado una explotación excesiva de los acuíferos, lo que es especialmente grave en zonas costeras donde se ubican estas cuencas, lo que por otro lado ha permitido paliar el efecto de las sequías prolongadas sufridas en la cuenca del Guadalquivir.

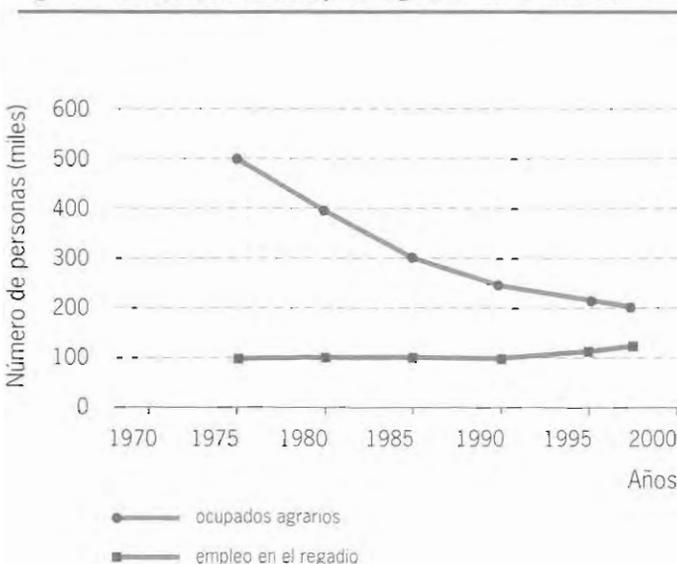
En cualquier caso, la situación de los recursos hídricos en Andalucía es **deficitaria**, es decir, hay menos agua que la que se demanda. Puede observarse como la cuenca del Guadalquivir, que usa mayor proporción de agua superficial presenta mayor déficit de agua, mientras que el resto de las

cuencas, entre las que se encuentran las cuencas costeras Sur y Guadiana tienen menor déficit debido al uso de agua subterránea a costa de sobreexplotar, en muchos casos, los acuíferos. **La situación general de déficit de agua es insostenible** y son necesarias soluciones rápidas pero que surtan también efecto a largo plazo.

1.4 Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego

En multitud de zonas de España, que pueden considerarse incluidas en la España seca, la agricultura de secano ha supuesto únicamente una actividad de bajos ingresos por unidad de superficie para los agricultores, lo que ha derivado en la falta de interés de la población joven que ha ocasionado en muchos casos la despoblación de los núcleos rurales, el abandono de las tierras y los problemas de desertización de tierras y degradación medioambiental. Tradicionalmente, la **Agricultura de regadío** ha supuesto la única alternativa posible para el desarrollo de multitud de zonas rurales, fomentando una **agricultura productiva y rentable**, tanto económica como socialmente.

Figura 8. Evolución del empleo agrario en Andalucía



Por lo general los cultivos de regadío **son más exigentes en mano de obra** que los de secano. En la actualidad, el regadío genera anualmente en España unos 550.000 empleos, lo que supone más de la tercera parte del empleo total generado en el sector agrario. En Andalucía esa proporción está por encima del 50% ya que de los 220.000 ocupados agrarios, la agricultura de regadío genera más de 120.000 empleos. Con respecto a la agricultura de secano, **la proporción de empleados es de unas 7 a 8 veces mayor en regadío** (como media de las agriculturas españolas), cifra que aumenta notablemente en determinadas zonas (como las de agricultura de regadío bajo plástico y producciones hortícolas, por ejemplo) en las que se genera un importante incremento de empleados agrarios.

La mano de obra que crea la agricultura de regadío tiene también un importante efecto en la **evolución de las poblaciones** (como lo atestigua, por ejemplo, el claro incremento de la población del Poniente almeriense a medida que la superficie de cultivo regado bajo plástico aumenta) y a su vez en la **economía de la zona**. No en vano, en Andalucía la agricultura de regadío produce anualmente alrededor del 53% de la producción final del subsector agrario, a pesar de contar sólo con un 19% de la superficie agraria, y todo ello teniendo en cuenta que **reciben proporcionalmente menor cantidad de ayudas directas** de la Comunidad Europea que los cultivos de secano.

Hoy en día, la Agricultura de regadío genera una **producción final** muy superior al del resto de los sistemas agrícolas aún cuando la superficie de cultivo regada es muy inferior. Asimismo, la actividad empresarial relacionada con el regadío es ingente, contando con áreas tan dispares como suministros de material de riegos, fertilizantes, fitosanitarios, transformación y comercialización de productos o asesoramiento agronómico e hidráulico. Pero tampoco se debe olvidar el aspecto social, la generación de empleo, la redistribución de la población en torno a zonas de regadío, etc. Datos referidos a 1993 indicaban que la productividad media del regadío en España era más de 7 veces mayor que la del secano (en Andalucía en torno a 6 veces mayor), y en 1994 el 60% de la producción final agrícola, cerca de dos billones de pesetas, se originó sólo en el 15% de la superficie total de cultivo que es representada por el regadío. Tampoco debe olvidarse la dependencia de numerosas empresas de muy diversa índole y actividad a la producción agrícola de regadío, como por ejemplo las de transformación o agroalimentarias, sin cuyos productos su suministro se vería mermado o bien tendrían que soportar gastos de importación elevados.

Toda implantación de un sistema de regadío así como la transformación de un sistema de secano en regadío, supone en la mayoría de los casos alterar el entorno de la zona y provocar cierto **impacto ambiental**. Un gran número de regadíos tradicionales constituyen hoy día entornos de **gran valor paisajístico**, reflejo de una cultura popular que los convierte en zonas que merecen una conservación y cuidado especial (Figura 10). Pero lo habitual es que una mayor intensidad de cultivo implique una **mayor agresividad al medio ambiente**, lo que suele ser frecuente en la agricultura de regadío. Son claros ejemplos la sobreexplotación de *acuiferos*, que en zonas costeras genera una entrada de agua salina en las bolsas de agua subterránea que deterioran la calidad del agua; el uso masivo de productos químicos (fertilizantes, fitosanitarios,...) que van a parar a cursos de agua y *acuiferos* contaminándolos e inutilizándola para usos posteriores; la generación de desechos como en el caso de los plásticos agrícolas en zonas de invernaderos; y la erosión y degradación del suelo con determinadas prácticas de riego y como consecuencia de ello una disminución en la calidad de las aguas.

Figura 9. El regadío andaluz frente al resto del sector agrícola

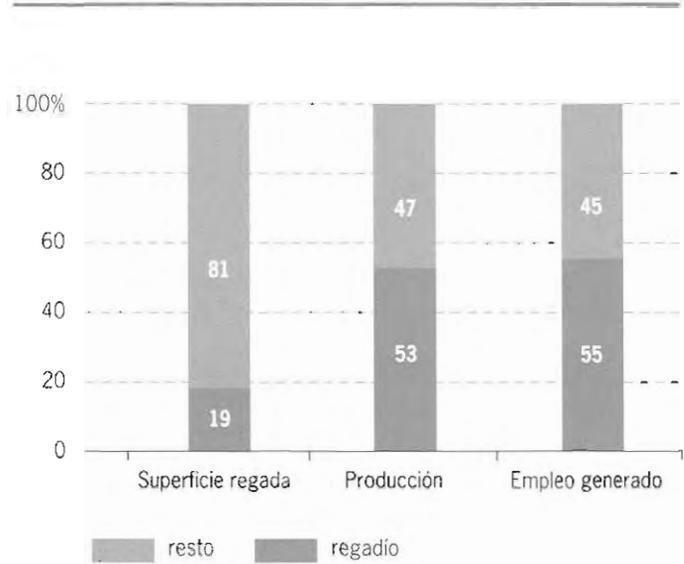


Figura 10. Ciertos sistemas de regadío constituyen entornos de alto valor paisajístico.

Unidad Didáctica 1. EL AGUA Y EL RIEGO

RESUMEN

El agua, como elemento esencial para la vida, es un factor limitante en la producción de los cultivos. El nacimiento de la Agricultura de regadío se originó como simple práctica cultural asociada a los ciclos naturales de los ríos y hasta hoy se ha perfeccionado con el avance de la ciencia y la técnica hasta sistemas de riego modernos y eficientes. Así, los regadíos se convierten en una alternativa mucho más productiva, y económica y socialmente más rentable que la de secano, pero cuenta con el gran inconveniente de la escasez del recurso agua, más aún en un país de grandes desigualdades hídricas como España y en una región seca como Andalucía.

En nuestro país y también en Andalucía, la superficie de regadío crece constantemente y el uso de agua para sus cultivos se sitúa ya en torno al 80% del total. Este hecho, junto con unos aportes muy poco estables en el tiempo ha provocado importantes déficits de agua en el conjunto de la región a lo que es necesario poner solución con una eficaz política de gestión de los recursos hídricos. Otra vía de actuación muy necesaria estriba en la mejora y modernización de infraestructuras en gran número de zonas con objeto de mantener regadíos competitivos y eficientes.

El efecto positivo del regadío es evidente en el ámbito social, principalmente relacionado con un mayor empleo, y en el económico al representar gran parte de la producción final agraria con mucha menor superficie de cultivo. Sin embargo el impacto ambiental de los sistemas de regadío debe ser mejorado, contribuyendo a potenciar aspectos visuales y culturales de determinadas zonas y minimizando el impacto negativo de los mismos ■

Unidad Didáctica 1. EL AGUA Y EL RIEGO

AUTOEVALUACIÓN

1. Aunque en el conjunto de Andalucía la mayor parte del agua destinada al riego es de origen superficial, en las cuencas costeras o litorales (Sur y Guadiana) predomina el uso de agua.
 - a) Depurada
 - b) De retorno
 - c) De trasvase
 - d) Subterránea
2. La superficie de regadío en Andalucía ha sufrido un importante incremento en los últimos años, situándose en la actualidad en torno a
 - a) 200.000 has.
 - b) 600.000 has.
 - c) 800.000 has.
 - d) 1.000.000 has.
3. En la agricultura española, ¿cuál de los siguientes cultivos se produce en su mayoría en regadío?
 - a) Olivar
 - b) Cereales
 - c) Hortalizas
 - d) Viñedo
4. Durante el movimiento del agua dentro del ciclo hidrológico, parte del agua se encuentra en el subsuelo almacenada o discurriendo por unas capas de suelo denominadas
 - a) embalses
 - b) acuíferos
 - c) afluentes
 - d) bolsas de agua
5. En España, más de las tres cuartas partes del consumo de agua está destinada a
 - a) uso urbano
 - b) uso para regadío
 - c) uso industrial
 - d) uso doméstico
6. Las superficies del terreno en las que se recoge el agua de lluvia o deshielo para formar parte de los cursos de agua superficial o subterráneos se denominan cuencas hidrográficas.

Verdadero / Falso
7. La cuenca hidrográfica que ocupa la mayor parte de la superficie andaluza es la del
 - a) Sur
 - b) Guadiana
 - c) Segura
 - d) Guadalquivir
8. La superficie de cultivo de regadío en Andalucía es superior a la de secano, lo que hace que más de la mitad de la producción final agrícola corresponda al regadío.

Verdadero / Falso
9. Implantar cualquier sistema de regadío implica generar en el medio ambiente que lo rodea sólo impactos o efectos ambientales negativos.

Verdadero / Falso

MÉTODOS DE RIEGO

2.1 Introducción

Para un correcto desarrollo de los cultivos de forma que se consiga obtener de ellos una producción máxima, debe siempre procurarse que tengan **satisfechas sus necesidades de agua**. En los sistemas agrícolas de secano el agua es aportada sólo por la lluvia, que en climas húmedos puede satisfacer todas las necesidades de agua de los cultivos, sin embargo en los secos es muy poco frecuente. Con el riego se trata, por tanto, de **completar las necesidades de agua** de los cultivos aportando una cantidad extra a la que cae con la lluvia.

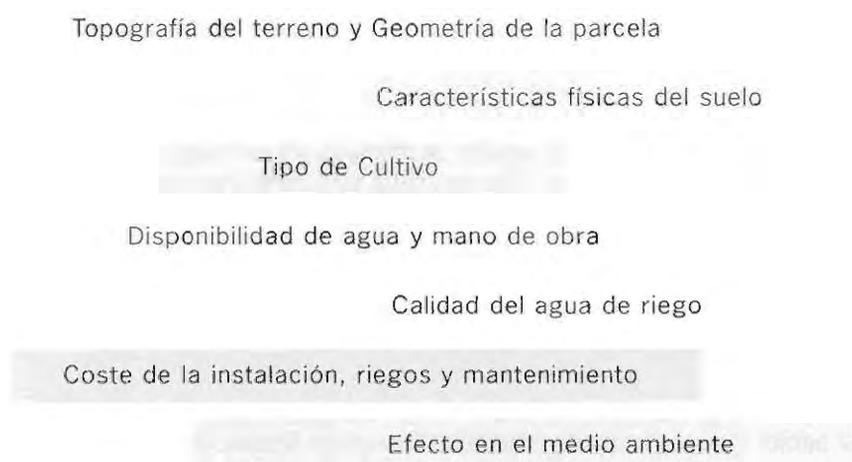
Los métodos de riego engloban las diferentes formas que existen de **aplicar el agua al suelo**. Han evolucionado notablemente con el tiempo, desde la ejecución del riego en las primeras civilizaciones basándose en la observación de las crecidas y bajadas del nivel del agua en los ríos y el manejo adecuado del agua y el suelo, hasta los riegos totalmente tecnificados, controlados y automatizados que aprovechan el conocimiento que existe en la actualidad de ciencias como la agronomía, hidráulica o la electrónica.

El uso de un método de riego u otro depende de numerosos factores, entre los que es preciso destacar los siguientes:

- La **topografía** del terreno y la **forma** de la parcela, es decir la pendiente, longitud y anchura, si existen caminos, acequias u otro tipo de elemento que pueda interferir en el riego y la posibilidad de que el agua pueda ser llevada hasta la parcela sin un coste excesivo.
- Las **características físicas del suelo**, en particular las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego que debe ser puesta a disposición de las raíces de las plantas.
- **Tipo de cultivo**, del que es especialmente necesario conocer sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua.
- **La disponibilidad de agua**, aspecto muy relevante en cuanto puede ser necesario programar los riegos no en función de las necesidades de agua del cultivo sino de la posibilidad de que exista agua suficiente para regar y el precio de la misma.
- **La calidad del agua de riego**, lo que puede ser determinante en la elección tanto del método de riego como de ciertos componentes de la instalación.

- La **disponibilidad de mano de obra**, con la que se garantice la ejecución de todas las labores precisas durante el desarrollo del cultivo, en particular las referidas al riego.
- El **coste de la instalación** de cada sistema de riego en particular, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la ejecución de los riegos y mantenimiento del sistema.
- El **efecto en el medio ambiente**, especialmente en el uso eficiente del agua, la calidad de las aguas de escorrentía y la erosión del suelo.

Figura 1. Factores a considerar en la elección del método de riego



Teniendo en cuenta éstos, además de otros factores, se elige un método de riego. A su vez, dentro de cada método existen bastantes **tipos de sistemas o variantes** cuya elección se realizará teniendo en cuenta aspectos más particulares que están más relacionados con la forma de manejar el suelo y el cultivo y con técnicas concretas de aplicación del riego en las que, por ejemplo, cada agricultor se encuentre más familiarizado.

En la actualidad son tres los métodos de riego utilizados como forma de aplicar el agua al suelo: riego **por superficie**, riego **por aspersión** y riego **localizado**. A escala mundial, el 95% de los más de 220 millones de has. de regadío se riegan por superficie, sin embargo esta cifra disminuye en los países desarrollados situándose entre el 60 y el 80%. Esto se debe fundamentalmente a que aspersión y localizado son métodos que necesitan tecnología y material más avanzados que el riego por superficie. En España es del 59%, bajando en Andalucía hasta el 42% como consecuencia de un importante incremento en los últimos años de la superficie destinada a riego localizado.

Hectáreas de regadío por métodos de riego				
	Superficie	Aspersión	Localizado	Total
España	2.000.000	815.000	585.000	3.400.000
Andalucía	330.000	175.000	295.000	800.000

Figura 2. Reparto de la superficie de regadío en España (Total: 3.400.000 has)

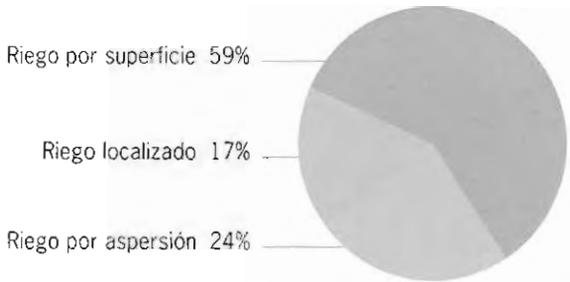
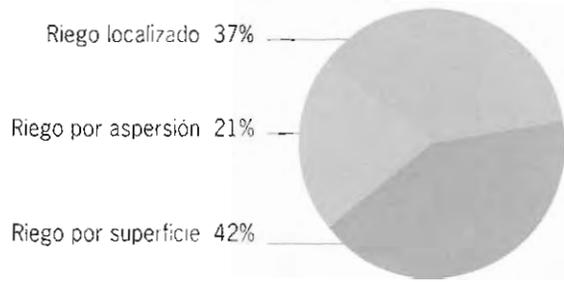


Figura 3. Reparto de la superficie de regadío en Andalucía (Total: 800.000 has)



2.2 Riego por superficie

El riego por superficie es el método de riego **más antiguo, conocido y aplicado** durante miles de años en todo el mundo con técnicas muy diversas y diferentes niveles de perfeccionamiento. Reúne un **gran número y variedad de sistemas** en los que el agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo simplemente **por gravedad o escurrimiento**.

Una de las principales características de estos riegos es que el propio suelo es el que actúa como sistema de distribución dentro de la parcela de riego, guiando el agua desde la zona próxima al lugar de suministro, denominada **cabecera de parcela**, hasta llegar a todos los puntos de ella. A medida que el agua avanza a lo largo y ancho de la parcela, se va infiltrando en el suelo y pasando a la zona de raíces donde será almacenada y puesta a disposición de las plantas. Finalmente **el agua alcanza la cola de parcela**, que es el lugar más lejano a la cabecera y donde normalmente llega más tarde.

El agua puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, bien por tuberías (normalmente a baja presión) o por una **red de canales o acequias** donde el agua circula por gravedad. Sin embargo una vez que el agua está en cabecera, no es preciso dotarla de presión ya que se vierte sobre el suelo y discurre libremente, lo que supone evitar tener en parcela un complejo sistema de tuberías y piezas especiales para distribuir el agua a presión así como un **ahorro de energía** ya que no se precisan sistemas de bombeo. Para distribuir el agua adecuadamente es muy frecuente **disponer surcos o caballones** que favorezcan la circulación o escurrimiento del agua sobre el suelo, a lo que también contribuye **la pendiente** que suelen tener las parcelas de riego por superficie en la dirección de escurrimiento del agua, aún cuando existen **parcelas a nivel** en las que la pendiente es cero.

El riego por superficie es un método particularmente recomendable en **terrenos llanos o con pendientes muy suaves** en los que no sea preciso realizar una *explanación* del suelo, lo que es costoso y puede afectar negativamente al suelo. Es el método de riego **menos costoso en instalación y mantenimiento**, además de que una vez que



Figura 4. El riego por superficie es el método tradicional de riego, aplicado durante miles de años.



Figura 5. El agua suele llegar a la parcela mediante un sistema de distribución formado por canales o acequias.



Figura 6. Los terrenos llanos son los más recomendables para el riego por superficie.



Figura 7. Riego por superficie en olivar.

el agua llega a la parcela no existe coste en la aplicación del agua. Sin embargo es el que de hecho **utiliza el agua de forma menos eficiente**, aún cuando con un adecuado diseño y manejo de los riegos pueden competir en eficiencia con otros métodos de riego como aspersión o localizado.

Dada la gran variedad de sistemas diferentes dentro de la aplicación del agua por gravedad, el riego por superficie **puede aplicarse casi a la totalidad de cultivos**, tanto anuales como leñosos, sembrados en línea (maíz, algodón, etc.), en marco amplio (como los árboles) u ocupando la totalidad de la superficie del suelo (caso de la alfalfa, por ejemplo). Simplemente deberá tenerse en cuenta que determinados tipos o sistemas de riego por superficie se adaptan mejor a determinados cultivos a la hora de decidir cuál implantar.

2.3 Riego por aspersión

Con este método de riego el agua **se aplica al suelo en forma de lluvia** utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos **a través de una red de tuberías** (desde las principales, secundarias hasta los tubos que llevan instalados los aspersores) cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada en la parcela de riego, lo que se realiza usando un **sistema de bombeo** apropiado. La **disposición de los aspersores en campo** ha de realizarse de forma que **se moje toda la superficie del suelo**, de la forma más homogénea posible.

Un **sistema tradicional de riego por aspersión** está compuesto de tuberías principales (normalmente enterradas) y tomas de agua o hidrantes para la conexión de secundarias, ramales de aspersión y los aspersores. Todos o algunos de estos elementos pueden estar **fijos en el campo**, permanentemente o sólo durante la campaña de riego. Además también pueden ser **completamente móviles** y ser transportados desde un lugar hasta otro de la parcela. Sin embargo en las tres últimas décadas se han desarrollado con gran éxito las denominadas **máquinas de riego** que, basándose igualmente en la emisión agua en forma de lluvia por medio de aspersores, los elementos de distribución del agua se desplazan sobre la parcela de manera automática. Aunque su precio es mayor, permiten una importante **automatización** del riego.



Figura 8. Con el riego por aspersión, el agua se aplica en forma de lluvia.



Figura 9. Red de tuberías en un riego por aspersión.

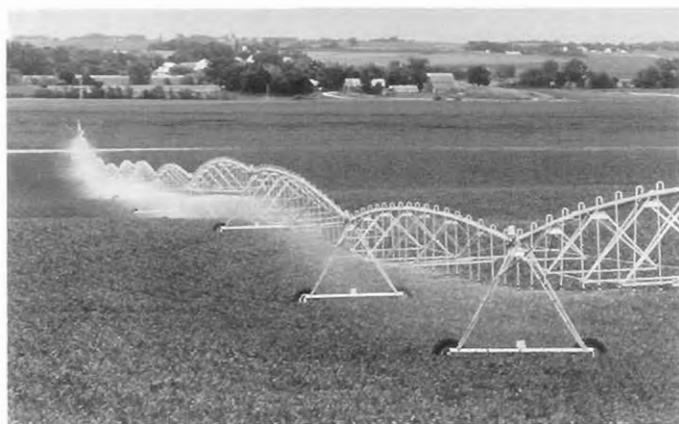


Figura 10. Máquina de riego.



Figura 11. En riego por aspersión la aplicación del agua se ve afectada por las condiciones climáticas.



Figura 12. Zona del suelo en la que se aplica el agua con riego localizado.

Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a **topografías ligeramente accidentadas**, tanto con las tradicionales redes de tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia en su uso bastante aceptable. De hecho, si el sistema está bien diseñado y la intensidad de lluvia bien definida en función de las características físicas del suelo no debe haber pérdidas de agua. Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está **bastante condicionada a las condiciones climáticas** que se produzcan, en particular al **viento**, y a la aridez del clima, ya que si las gotas generadas son muy pequeñas pueden desaparecer antes de llegar al suelo por efecto de la **evaporación**.

Son especialmente útiles para **aplicar riegos relativamente ligeros** con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el periodo de nacimiento de las plantas o para **aplicar riegos de socorro** en situaciones en las que el cultivo necesite agua con prontitud. También es un sistema **muy indicado para efectuar el lavado de sales** cuando sea necesario y se prestan a la aplicación de determinados productos como fitosanitarios o abonos disueltos en el agua de riego, aunque no se puede considerar que sea una práctica habitual.

2.4 Riego localizado

El método de riego localizado supone **aplicar el agua sólo a una zona determinada del suelo**, no a su totalidad, lo que constituye la principal diferencia con respecto a los sistemas anteriores. Al igual que el riego por aspersión, el agua **circula a presión por un sistema de tuberías** (principales, secundarias, terciarias y ramales) desplegado sobre la superficie del suelo o enterrado en éste, y finalmente **sale por los emisores de riego localizado** con poca o nula presión a través de unos orificios, generalmente de muy pequeño tamaño.

En estos sistemas es necesario contar con un **sistema de bombeo** que dote de presión al agua, así como determinados elementos de **filtrado y tratamiento** del agua

antes de que circule por la red de tuberías. Con ellos se pretende evitar la obturación de los emisores, uno de los principales problemas que suelen ocurrir. Estos elementos se instalan a la salida del grupo de bombeo en lo que se denomina **cabezal de riego localizado**.

Instalando los equipos apropiados en el cabezal de riego se pueden aplicar sustancias nutritivas (fertilizantes) o sanitarias (herbicidas, plaguicidas, etc.) junto con el agua; de hecho, el **fertirriego** o aplicación de fertilizantes con el agua, es una práctica habitual y muy conveniente en riego localizado. El desarrollo de las técnicas y equipos han permitido una **automatización** de las instalaciones en distintos grados, llegándose en ocasiones a un funcionamiento casi autónomo de todo el sistema. De esta forma se consigue automatizar operaciones como limpieza de equipos, apertura o cierre de válvulas, fertilización, etc., que producen un importante ahorro de mano de obra.

Es el método de riego **más tecnificado**, y con el que más fácil se aplica el agua de manera eficiente. De igual forma, el manejo del riego es bastante distinto ya que el suelo pierde importancia como almacén de agua; se riega con bastante frecuencia, en determinados casos todos los días, de forma que se mantiene un nivel de humedad óptimo en el suelo. Además, la **cantidad de agua aportada** en cada riego es mucho menor que en los otros métodos de riego. Sin embargo requiere un buen diseño, una **alta inversión en equipos y un mantenimiento concienzudo** lo que supone un alto coste que podrá ser asumido en cultivos de alto valor comercial.



Figura 13. Emisores de riego localizado.



Figura 14. Cabezal de riego localizado.



Figura 15. Aparato de fertirriego para riego localizado.

Unidad Didáctica 2. MÉTODOS DE RIEGO

RESUMEN

Regar supone completar las necesidades de agua de los cultivos que no son satisfechas por la lluvia. Los métodos de riego abarcan las diferentes formas de aplicar el agua al suelo de manera que ésta pueda ser aprovechada por las plantas. Para la elección de uno u otro método ha de tenerse en cuenta numerosos factores; entre otros la topografía y geometría de la parcela, el cultivo y el tipo de suelo, la disponibilidad y calidad del agua de riego y ciertos aspectos económicos y medioambientales. El agua se aplica por superficie, por aspersión o de forma localizada, siendo el primero el más usado a nivel mundial, mientras que los otros dos están experimentando un notable incremento en países desarrollados.

El riego por superficie se basa en la aplicación del agua por gravedad, dejándola discurrir sobre la superficie del suelo usando frecuentemente surcos o caballones para facilitar el movimiento del agua. Existen multitud de sistemas diferentes por lo que es aplicable a la mayoría de cultivos y sistemas de manejo. Tienen bajo coste de instalación y mantenimiento pero por regla general es el método de riego que menos eficientemente usa el agua.

Con el riego por aspersión se moja toda la superficie del suelo aplicando el agua en forma de lluvia. Se requiere un sistema de distribución en parcela formado por tuberías y aspersores y un sistema de bombeo para dotar al agua de la presión necesaria. La aplicación del agua está muy condicionada a las condiciones climáticas, sin embargo es un método muy útil para realizar riegos ligeros, de lavado de sales o de socorro.

El riego localizado requiere también un sistema de tuberías que conducen el agua a presión hasta los emisores, por los que sale el agua mojando sólo parte de la superficie del suelo. Por el riesgo de obturación de los emisores es imprescindible instalar diferentes elementos de filtrado y tratamiento del agua, a los que es conveniente añadir sistemas de fertilización. Se pueden automatizar casi en su totalidad, lo que unido al coste de los equipos y al de mantenimiento supone que sean sistemas rentables con cultivos de alto valor comercial ■

Unidad Didáctica 2. MÉTODOS DE RIEGO

AUTOEVALUACIÓN

1. La superficie de riego localizado y por aspersión tiende a ser mayor en países más desarrollados, ya que son métodos de riego que precisan tecnología más avanzada y materiales más sofisticados.
Verdadero / Falso
2. El método de riego más utilizado actualmente en todo el mundo es el
 - a) Riego localizado
 - b) Riego por aspersión
 - c) Riego subterráneo
 - d) Riego por superficie
3. En el riego por superficie, una vez que el agua ha llegado a la parcela se distribuye
 - a) Por un complejo sistema de tuberías
 - b) Por redes de canales abiertos
 - c) A través del propio suelo
 - d) En forma de finas gotas de lluvia
4. Indicar cuál de las siguientes es una característica destacable de los riegos por superficie:
 - a) Pueden emplearse en casi todos los cultivos
 - b) Tienen un elevado coste de instalación y mantenimiento
 - c) Suelen ser muy apropiados en terrenos con pendiente elevada
 - d) Requieren contar con un gran equipo de bombeo a pie de parcela
5. Los aspersores son dispositivos que emiten el agua
 - a) En forma de chorros de gran tamaño
 - b) Pulverizada en forma de lluvia
 - c) Gota a gota
 - d) Sin presión
6. En un sistema de riego por aspersión, todos los elementos o componentes son:
 - a) Necesariamente fijos
 - b) Fijos o móviles
 - c) Necesariamente móviles
 - d) Ninguna de las anteriores
7. Un aspecto muy positivo de los riegos por aspersión es que la aplicación del agua no está condicionada en absoluto a las condiciones climáticas.
Verdadero / Falso
8. Una de las principales características del riego localizado es que
 - a) El agua se aplica mediante aspersores
 - b) La cantidad de agua aplicada es, en general, superior a la de otros métodos de riego
 - c) Sólo se moja parte de la superficie del suelo
 - d) Tienen un coste de instalación bastante reducido
9. El fertirriego consiste en la aplicación de diferentes sustancias sanitarias para las plantas como fungicidas, plaguicidas, herbicidas, etc.
Verdadero / Falso

El regadío no siempre tiene un efecto perjudicial u origina un *impacto ambiental negativo*, sino que en numerosos casos se producen *impactos ambientales positivos* que favorecen diferentes aspectos del entorno. Sin embargo, **por lo general, la agricultura de regadío provoca más impactos negativos que positivos**, aunque puede considerarse que el grado de deterioro ambiental es bajo comparado con otras actividades como la industria o la infraestructura viaria (carreteras, ferrocarril, etc.). Se expondrán algunas de las acciones tanto beneficiosas como perjudiciales más relevantes, haciendo incidencia en ciertos aspectos que deben ser considerados en el diseño y manejo de los riegos para **usar racionalmente el agua de riego y minimizar la contaminación de las aguas**, como efectos más importantes de la implantación de la agricultura de regadío.

3.2 Efectos ambientales positivos relacionados con los regadíos



Figura 1. Algunos sistemas de regadío tradicionales tienen un alto valor paisajístico.

No es fácil encontrar acciones o aspectos vinculados con los regadíos que puedan suponer un efecto beneficioso al medio. Algunos de ellos tienen incluso un carácter subjetivo y no pueden ser cuantificados, pero aún así es interesante mencionarlos.

Se puede destacar la incidencia o **influencia que los sistemas de riego tienen en el paisaje**, lo que suele ser conocido como el valor paisajístico que la implantación del riego tiene en la zona afectada. En general suele considerarse más atrayente un paisaje en el que el agua sea abundante y predomine una vegetación frondosa. Como se ha indicado con anterioridad, el agua se asocia a la vida, y la agricultura de regadío está intuitivamente unida a riqueza natural de la que carecen los sistemas de secano en zonas con escasez de agua, áridas o semiáridas.

Sin embargo, este impacto visual positivo suele ser más acusado en sistemas tradicionales de riego por superficie en los que se emplean diseños y técnicas de riego así como aparatos singulares poco conocidos o peculiares, que suponen un aliciente e incrementan el atractivo de la zona circundante.

Otro aspecto a tener en cuenta se basa en la **biodiversidad o variedad de especies de animales y plantas** que se desarrollan en entornos ricos en agua, mucho mayor y heterogénea, lo que constituye un beneficio importante frente a zonas de secano. A ello contribuye la infraestructura de almacenamiento de agua, presas, embalses, etc. así como a la red de distribución del agua, y los propios riegos, que favorecen la presencia de fauna y flora que difícilmente podrían desarrollarse en otras condiciones. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que en ciertos casos la implantación de regadíos supone la destrucción total del entorno donde se desarrollaban especies vegetales y animales propias de la zona, y en muchas ocasiones su desaparición total. Por ello, aunque con la puesta en riego se puede generar una mayor variedad de especies, también se puede provocar la eliminación de algunas otras de carácter autóctono.

Como consecuencia directa de la biodiversidad, los sistemas de regadío, aunque prácticamente sólo aquellos a gran escala, **son fuente de actividades de tipo cinegético**, fomentan el conocimiento del medio rural, el acceso a zonas poco conocidas y la realización de **otras actividades de carácter deportivo o turístico**.

3.3 Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos

Implantar un sistema de riego implica la necesidad de **construir la infraestructura apropiada para su correcto funcionamiento**, como obras de captación y almacenamiento del agua para el riego, redes de canales, acequias y estructuras para la distribución y desagüe, caminos de acceso, etc. Todo ello supone por sí mismo una **alteración del medio**, que en caso de una transformación en riego a gran escala puede suponer incluso la modificación del régimen de los cursos de agua, de las zonas húmedas, sobreexplotación de los *acuiferos* y hasta cambios en los hábitos de vida de determinadas especies de plantas y animales de las zonas circundantes.

Es conocido que la agricultura de regadío es la actividad que más cantidad de agua consume, cifrándose en torno al 80% del total. Unido esto a la escasez de agua que existe en nuestra región, es fácil percatarse del serio problema que ocasiona un mal uso del agua en la agricultura. En realidad, **el derroche de agua es en sí un problema medioambiental** que desgraciadamente ocurre con demasiada frecuencia en un gran número de sistemas de riego. El agua no se utiliza correctamente en dichos sistemas bien por su antigüedad y mal estado de conservación general de las redes de distribución de agua o de los componentes de las instalaciones, o bien por el diseño y manejo de los riegos en la propia finca, decisivos en el uso eficiente del agua.



Figura 2. La construcción de infraestructura para regadío puede suponer la alteración del medio y los recursos de la zona.

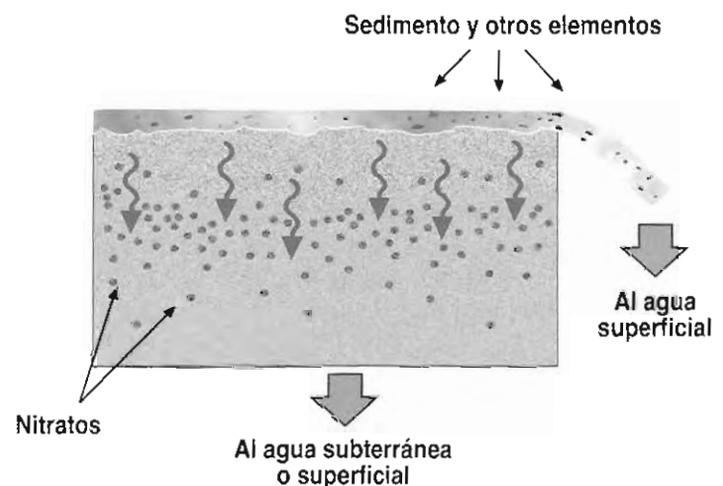


Figura 3. Canal de riego en muy mal estado de conservación.

Durante el riego pueden suceder dos procesos cuyas características serán detalladas en una Unidad Didáctica posterior: *filtración profunda* y *escorrentía*. Estos producen en muchas ocasiones un deterioro muy importante de la calidad de las aguas y del suelo y en consecuencia, su impacto en el medio ambiente.

La **filtración profunda** origina el movimiento de las sales del suelo hasta capas donde no son útiles a las raíces, **pasando tanto a las aguas subterráneas como a las aguas de retorno que se vierten a cauces naturales**. Este agua también pueden contener otros productos fitosanitarios como herbicidas, plaguicidas, o abonos, lo

Figura 4. Contaminación de las aguas subterráneas y superficiales como consecuencia de la filtración profunda y la escorrentía, ocasionadas en determinados riegos



que contribuye aún más a la contaminación del agua de retorno. **El agua de escorrentía** puede erosionar el suelo y producir la **contaminación del agua con sedimentos y otros elementos asociados**, y si se vierte a cauces naturales ocasiona serios perjuicios a la fauna y reduce la vida útil de algunas estructuras como presas, puentes, etc.

Además, el riego puede constituir en sí mismo un **riesgo de salinización del suelo si el contenido de sales del agua de riego es elevado**. Por esto es preciso conocer la calidad del agua antes de proyectar el sistema de riego, pudiéndose evitar en parte el problema mencionado.

La solución a todos estos problemas ambientales no es única, cada caso es diferente y debe ser estudiado independientemente. Sin embargo, en la mayor parte de los casos muchos de los problemas se podrían evitar explotando el sistema de riego de forma óptima, aprovechando sus recursos y consiguiendo riegos uniformes y eficientes. **Incrementar en lo posible la uniformidad de la distribución del agua que se infiltra y la eficiencia en el uso del agua** implica reducir al máximo las pérdidas de agua y la posibilidad de contaminar el medio circundante, especialmente las aguas subterráneas y las de retorno, no malgastar el agua evitando en su caso sobreexplotación de acuíferos y finalmente conservar el suelo y la calidad del agua.



Figura 5. La aplicación del agua a un gran tablar de riego por superficie en forma de avenida como el de la figura, puede provocar un serio riesgo de erosión.

La erosión del suelo

La **erosión** consiste en el **arranque** de las partículas sólidas que forman el suelo y su **transporte** a otros lugares dentro de la misma parcela o fuera de ella, donde finalmente **se depositarán**. Este proceso está considerado hoy día como uno de los problemas más importantes que sufre la agricultura a escala mundial, como consecuencia de la **pérdida de las capas más superficiales y más fértiles del suelo** y la **degradación** tanto del suelo agrícola como del entorno, principalmente los cauces donde se recoge el agua de escorrentía contaminada con todo tipo de partículas de suelo y elementos como pesticidas, abonos, etc.

Normalmente se asocia la erosión a suelos agrícolas de secano cuando se producen fenómenos de lluvia muy intensa. Sin embargo suele olvidarse el riesgo de erosión en determinados sistemas agrícolas de regadío en los que **el agente erosivo no es la lluvia sino el agua de riego**. Si ésta es aplicada en forma de grandes chorros o avenidas como en riego por superficie, o genera escorrentía como puede suceder en riego por aspersión, es posible que el agua tenga energía suficiente como para romper la estructura del suelo y **arrastrar las partículas junto con el agua**. De lo anterior se deduce que en el riego localizado normalmente no se produce erosión.

Si un sistema de riego por aspersión está bien diseñado y manejado, es muy poco probable que se pueda producir erosión. Sólo en ciertos casos, cuando la intensidad de lluvia generada por los aspersores sea superior a la capacidad de suelo para infiltrarla y se genere escorrentía, y además el terreno tenga una pendiente acusada, es posible que la pérdida de suelo llegue a ser importante. También es posible que se origine escorrentía cuando la aplicación del agua esté muy afectada por el viento y determinadas zonas del suelo se mojen en exceso. En ambos casos la solución radica **en realizar un buen control visual del funcionamiento del sistema**, y actuar de manera adecuada cuando se observe que se está generando un exceso de agua sobre el suelo.

Sin embargo, a pesar del pensamiento generalizado, en **el riego por superficie** es donde **la erosión del suelo suele ser mucho más importante**. Además, el riesgo de erosión aumenta cuando se llevan a cabo

diversas prácticas de manejo del suelo para aumentar la *uniformidad* en la distribución del agua con el riego, como **aplicar caudales altos, reducir la longitud de la parcela y utilizar pendientes excesivas**.

En circunstancias en que se produzca erosión en sistemas de riego por superficie, los principales efectos que pueden ocurrir son los siguientes:

- **Descarnamiento del suelo en zonas de cabecera** donde se aplica el agua, que arranca las partículas de suelo de las capas superiores y las transporta hacia *cola* de parcela.
- **Ganancia de sedimento en zonas de cola** donde el agua circula más despacio, lo que favorece que tales partículas se depositen y formen una capa que **sella los poros** y dificulta la infiltración del agua en riegos posteriores.
- **Deterioro de los canales de la red de desagüe** si no están construidos correctamente.

A pesar de estos efectos, que en ocasiones son realmente devastadores, es muy simple evitar el riesgo de erosión realizando un diseño y manejo adecuados o **utilizando protecciones en zonas puntuales** donde puede generarse gran cantidad de sedimentos. De otra manera, los efectos de la erosión se reflejarán en un importante deterioro del suelo que afectará a su fertilidad y por tanto a la **producción del cultivo** así como en una **pérdida de valor del suelo** que podrá quedar seriamente degradado.



Figura 6. Degradación de la cabecera de los surcos de riego como consecuencia del descarnamiento de la capa superior del suelo.



Figura 7. Deterioro de los canales de desagüe en un sistema de riego por surcos.

Contaminación por nitratos

El **nitrato** es un compuesto químico cuyo componente principal es el nitrógeno. Forma parte de los suelos y las aguas de manera natural, siendo un **nutriente fundamental tanto para las plantas** como para una gran variedad de seres vivos. Cuando se habla de suelos cultivados, el nitrato proviene, además del abono con productos nitrogenados tanto orgánicos (como por ejemplo el estiércol) como minerales (fertilizantes), de la materia orgánica que tengan los suelos. Si además se hace referencia a tierras de regadío, **otra fuente de nitrato es el agua de riego** que en ocasiones puede aportar importantes cantidades de ese compuesto.

Los problemas ocasionados por el exceso de nitratos hacen referencia principalmente a tres aspectos relacionados con su capacidad para contaminar:

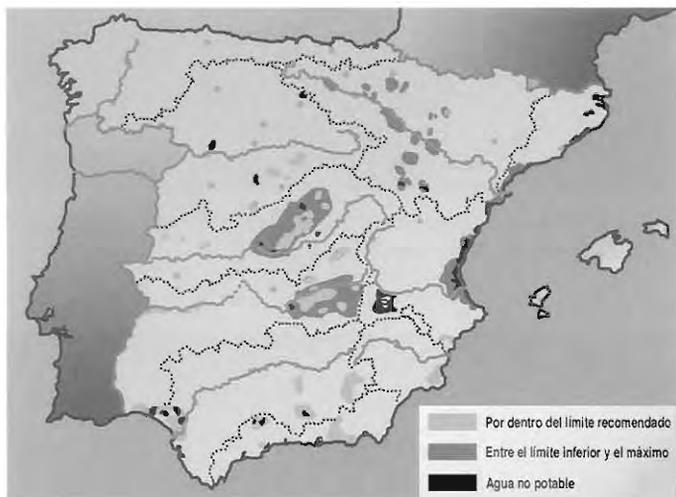
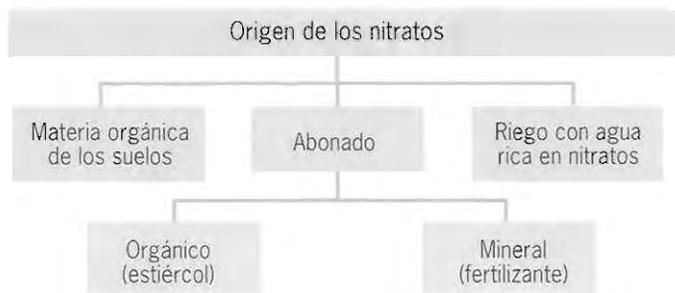


Figura 8. Concentración de nitrato en las aguas subterráneas de España.

Contaminación de las aguas para consumo humano

El consumo de nitratos en cantidades excesivas provoca problemas de salud en las personas. Normalmente la ingestión de nitratos se realiza a través del agua, por lo que la Organización Mundial de la Salud ha establecido unos **límites en contenido de nitratos de las aguas de consumo público** para que se consideren potables. En concreto se establece un límite recomendado de 50 miligramos de nitrato por litro de agua y un límite máximo de 100 miligramos por litro.

Aunque en nuestro país el problema de exceso de nitratos en aguas de consumo no es generalizado, existen determinadas zonas que comienzan a presentar problemas, **coincidiendo en la mayor parte de los casos con áreas de agricultura intensiva** en las que el aporte de fertilizantes nitrogenados es muy importante, y **zonas de regadío** que favorecen el paso de los nitratos aportados mediante abono a las aguas subterráneas que posteriormente serán usadas para consumo.

Contaminación de las aguas subterráneas

El nitrato del suelo se mueve disuelto en agua, por lo que en sistemas de regadío, la pérdida de nitratos desde la zona ocupada por las raíces del cultivo hasta zonas más profundas contaminando las aguas subterráneas puede ser muy elevada. Es el proceso que se conoce como **lixiviación o lavado de nitratos** y está originado por la **filtración profunda** o percolación producida con el riego. Dependiendo del método de riego y a su vez de los distintos tipos dentro de cada método, el lavado de nitratos será muy variable, pero en general se puede afirmar que **existe mayor riesgo en riego por superficie y en riego por aspersión** en los que la percolación del agua puede ser elevada, mientras es muy raro que se produzca en riego localizado.

Para evitar que el agua pase a zonas más profundas del suelo en cantidades excesivas, es necesario evitar en lo posible las pérdidas por percolación y realizar el riego con alta uniformidad. También es preciso **tener en cuenta el contenido en nitratos del agua que se usa para regar**, porque en ocasiones tanto los aportes como los lixiviados de nitratos dependerán de tal contenido.

Ejemplo

Un agricultor riega un cultivo de maíz por superficie. El agua de riego que utiliza contiene 42 miligramos de nitratos por litro (0.042 gramos por litro) y en la campaña de riegos aplica 8.000 metros cúbicos de agua (8.000.000 de litros) por hectárea.

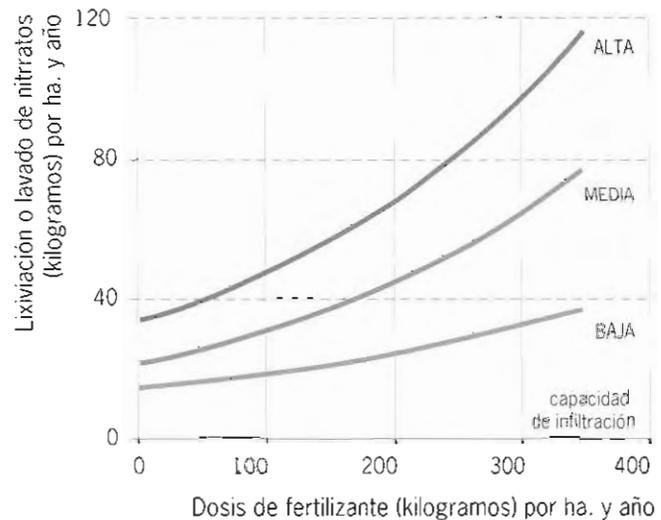
La cantidad de nitrato que aporta con el agua de riego en toda la campaña por cada hectárea es de:

$$0.042 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 8.000.000 \frac{\text{L}}{\text{ha}} = 336.000 \text{ g/ha, es decir, } 336 \text{ kg/ha}$$

La cantidad de nitratos lixiviados que pueden contaminar las aguas subterráneas dependerá también de la **dosis de abono** utilizado en la fertilización, de las **características del suelo**, principalmente la capacidad para infiltrar el agua y producir percolación, así como del **momento en que se realice tanto el abonado como el riego**.

En efecto, según se desprende de estudios realizados en parcelas controladas, se ha observado que a mayor dosis de abono y mayor capacidad de infiltración del suelo, la lixiviación de nitrato es mayor. De la misma forma, aplicar un riego justo después de haber abonado supone un alto riesgo de lixiviación de nitratos, mientras que si se da el suficiente tiempo al cultivo para extraerlo del suelo, la cantidad en éste será mucho menor y el arrastre de nitratos con el agua de riego disminuirá considerablemente.

Figura 9. Relación entre el lavado de nitratos y la dosis aplicada así como la capacidad de infiltración del suelo



Contaminación de las aguas superficiales

La *escorrentía* que se produce en determinados sistemas de riego, principalmente por superficie y en ocasiones por aspersión, es un elemento que contribuye notablemente a la contaminación de las aguas superficiales, ya que en la mayor parte de los casos el agua de escorrentía se vierte directamente a los cursos de agua.

Cuando el agua superficial contiene una gran cantidad de nutrientes, se puede producir un serio problema denominado **eutrofización**. Consiste básicamente en un desarrollo espectacular de la vegetación que vive en las aguas como consecuencia de una excesiva cantidad de nitrógeno en ellas. Asimismo, cuando esa vegetación muere, se descompone, consume oxígeno del agua y provoca la muerte de la fauna acuática de la zona. El exceso de vegetación tiene además otros efectos:

- dificulta el discurrir natural del agua en ese cauce
- genera un efecto visual muy antiestético
- reduce la posibilidad de usar dicho cauce para fines recreativos

Si el agua de escorrentía es rica en nitratos (normalmente cuando las dosis de abonado nitrogenado son elevadas) y además se riega justo después de abonar (y el nitrógeno no ha sido asimilado ni por el suelo ni por las plantas), se estará aumentando el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y su posible eutrofización.



Figura 10. Es preciso evitar en lo posible la generación de escorrentía y su vertido en los cauces naturales para conservar el medio ambiente.

RESUMEN

El riego en la agricultura supone la alteración del medio donde éste se lleva a cabo en distinta medida dependiendo de la magnitud del sistema de regadío. En cualquier caso, siempre se producirán impactos negativos que perjudican el medio ambiente, si bien en ciertas ocasiones se pueden destacar también algunas ventajas con respecto a los sistemas de secano.

Como impactos positivos cabe destacar el incremento del valor paisajístico de determinados sistemas de riego, más importante en riegos tradicionales. Se favorece también la biodiversidad o variedad de especies de fauna y flora, así como el desarrollo de actividades cinegéticas, deportivas y turísticas.

Entre los impactos negativos se encuentran las obras de infraestructura para realizar los riegos, almacenamiento y distribución de agua, caminos, etc. En otro ámbito, el uso masivo e irracional de agua supone un importante perjuicio, en cuanto es un recurso muy escaso en muchas zonas. A este mal uso contribuyen las pérdidas de agua en las infraestructuras de riego y los riegos poco eficientes.

Las pérdidas de agua por filtración profunda y su efecto principalmente en la contaminación por nitratos en aguas subterráneas y superficiales, así como la erosión del suelo, que lo degrada y contamina el agua de retorno, son dos de los efectos más importantes en el medio ambiente. En muchas ocasiones es suficiente realizar riegos con elevada uniformidad y eficiencia para minimizar estos impactos negativos ■

Unidad Didáctica 3. IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LOS REGADÍOS

AUTOEVALUACIÓN

1. La agricultura de regadío genera impactos tanto positivos como negativos en el medio ambiente circundante. El grado en que dicho medio se ve afectado es independiente del tamaño del sistema de regadío y siempre será igual, se trate de zonas muy extensas o simples parcelas de riego.
Verdadero / Falso
2. ¿Qué proceso o procesos pueden provocar un serio deterioro tanto de la calidad de las aguas como del suelo?
 - a) Evaporación del agua desde el suelo
 - b) Evapotranspiración
 - c) Filtración profunda y escorrentía
 - d) Transpiración
3. La salinización del suelo es un efecto perjudicial que puede producirse en un suelo si se riega repetidamente con agua salina. ¿Qué es preciso conocer antes de proyectar el sistema de riego para evitar este impacto ambiental negativo?
 - a) La cantidad de agua disponible para los riegos
 - b) La calidad del agua de riego
 - c) La temperatura media del agua de riego
 - d) La capacidad de retención de agua del suelo
4. La erosión del suelo es un serio problema en la agricultura actual que, entre otros efectos, produce la eliminación de las capas más superficiales en zonas donde predomina el arranque de partículas. Pero, ¿qué relación tiene ese efecto con la productividad del suelo?
 - a) En realidad ninguna
 - b) Las capas más superficiales son las más fértiles
 - c) Con el suelo se puede arrastrar la semilla del cultivo
 - d) El cultivo no puede absorber el agua
5. Por lo general el riesgo de erosión del suelo es mucho mayor en sistemas de riego
 - a) Localizado
 - b) Por aspersión
 - c) Por superficie
 - d) No se puede distinguir claramente entre ninguno de ellos
6. ¿Cómo se conoce el proceso por el cual el nitrato del suelo, el aportado con el agua de riego o ambos se filtra por debajo de la zona ocupada por las raíces del cultivo pudiendo llegar a contaminar las aguas subterráneas?
 - a) Nitrificación del agua subterránea
 - b) Mineralización del nitrato
 - c) Eutrofización
 - d) Lixiviación o lavado de nitratos
7. Para garantizar la potabilidad del agua para el consumo humano, la Organización Mundial de la Salud ha establecido un límite recomendado y otro máximo de contenido de nitratos. ¿Cuál es el límite recomendado?
 - a) 10 miligramos por litro
 - b) 25 miligramos por litro
 - c) 50 miligramos por litro
 - d) 100 miligramos por litro
8. La eutrofización es un proceso por el cual la vegetación crece en exceso debido a altas cantidades principalmente de nitrógeno y fósforo en el agua.
Verdadero / Falso
9. ¿Cuál de los siguientes puede considerarse como un efecto positivo originado en los regadíos?
 - a) Sobreexplotación de acuíferos
 - b) Alteración del régimen de los cursos de agua
 - c) Generación de filtración profunda y escorrentía
 - d) Aumento del valor paisajístico del entorno

EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA

4.1 Introducción

El agua es un elemento **esencial para la vida de las plantas**, determinante de su estado de desarrollo y principal medio de transporte para las sustancias nutritivas que toman del suelo. Además de ser el elemento en el que los *nutrientes* que existen en el suelo se disuelven y pasan a la planta a través de las raíces, el agua es imprescindible para que realicen sus procesos de crecimiento y desarrollo y permite una correcta “refrigeración” para adaptarse a las condiciones climáticas.

El **consumo** de agua dependerá tanto del **cultivo** (ya que no todas las plantas utilizan la misma cantidad de agua) como de la **climatología** de la zona, en especial de las condiciones de radiación solar, temperatura, humedad y viento dominante. Mediante el riego el agua se aplica al suelo, siendo éste un mero distribuidor. Dependiendo del **tipo de suelo** en el que esté implantado el cultivo, se podrá almacenar mayor o menor cantidad de agua y además la planta podrá extraerla con menor o mayor dificultad.

Por lo tanto, para que un determinado cultivo evolucione de forma óptima y utilice a la vez el agua eficientemente, es necesario conocer de manera bastante precisa cuál es el consumo de agua en cada fase del desarrollo y así saber qué cantidad aplicar con un riego. Las relaciones que existan entre el **suelo**, el **agua**, la **planta** y el clima son esenciales para manejar un determinado sistema de riego ya que de ellas depende el movimiento del agua en el suelo, en la planta y cómo de ésta pasa a la atmósfera.

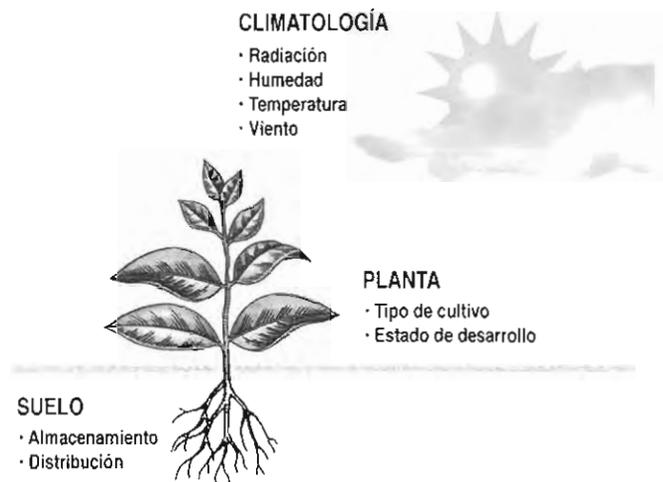


Figura 1. Principales factores de los que depende el consumo de agua por la planta.

4.2 Características físicas del suelo

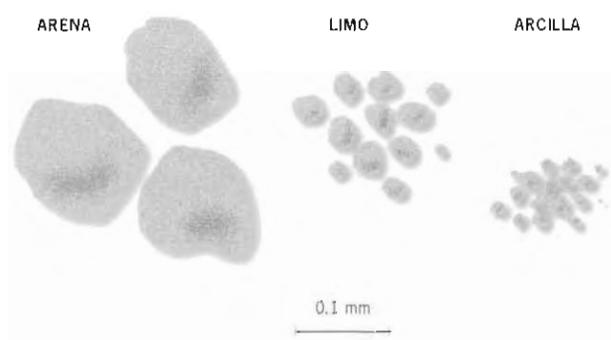
El suelo constituye el soporte físico para las plantas y les proporciona tanto el agua como los elementos nutritivos disueltos en ella. Es un material poroso, compuesto principalmente por:

- fracción sólida:
 - **partículas minerales** de diferentes formas y tamaños.
 - **partículas orgánicas**
- fracción porosa:
 - **aire**
 - **agua**

ocupando ambas partes o la totalidad de los poros.

Los suelos están compuestos de partículas minerales de **arena, limo y arcilla**, las cuales se diferencian básicamente en su tamaño y forma. La proporción que exista de cada uno de estos grupos define la **textura** del suelo y su **porosidad**. Estas características físicas de un suelo son las que determinan la forma y cantidad en que el agua aplicada con un riego es absorbida, infiltrada y redistribuida, es decir, indican la capacidad que tiene para almacenar el agua y cederla a las plantas. Dependiendo de la proporción de arena, limo y arcilla se pueden tener muy diversas texturas:

Figura 2. Partículas minerales del suelo

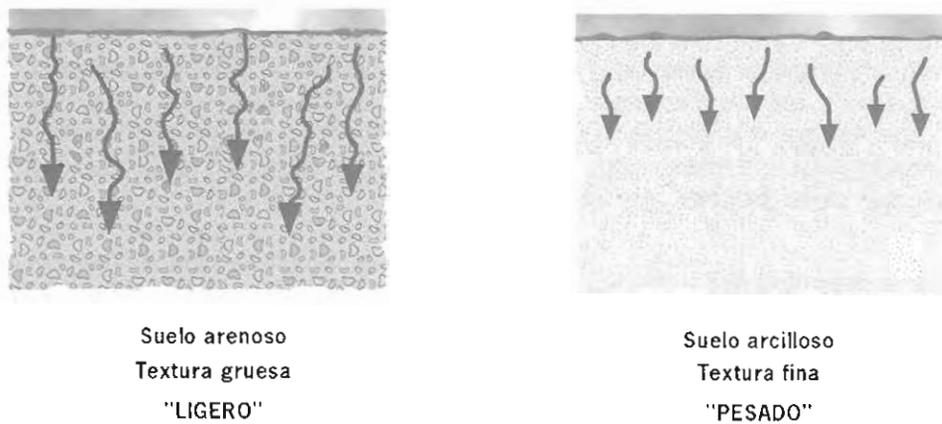


Textura del Suelo	% Arena	% Limo	% Arcilla
Arenoso	90	5	5
Limoso	5	90	5
Arcilloso	5	5	90
Franco	40	40	20
Franco arenoso	60	15	25
Franco limoso	20	65	15
Franco arcilloso	30	35	35
Franco arcillo-arenoso	55	15	30
Franco arcillo-limoso	10	60	30

En general, un **suelo arenoso** o **franco arenoso** (normalmente se habla de suelo con **textura gruesa** o **suelo ligero**) tiene gran capacidad para absorber el agua e infiltrarla hasta zonas más profundas. Sus **poros son grandes**, de forma que cuando las raíces de las plantas tratan de extraer el agua de dichos poros no encuentran mucha dificultad para hacerlo. Sin embargo, por estas características, son suelos que permiten que el agua que se infiltra pase a zonas tan profundas como para que no pueda ser explorada por las raíces, de manera que parte del agua aplicada con el riego puede perderse, es decir, tienen **poca capacidad de retención de agua**, si bien como aspecto positivo no suelen tener problemas de encharcamiento.

En el otro extremo, los **suelos arcillosos** o **franco arcillosos**, llamados también **suelos pesados** o de **textura fina**, tienen una porosidad muy alta pero **los poros son muy pequeños**. Esto hace que la absorción e infiltración del agua desde la superficie hacia zonas más profundas sea muy lenta. Estos suelos presentan una **elevada capacidad de retención de agua**, por lo que no es frecuente que existan grandes pérdidas de agua debidas a una excesiva infiltración, pero la planta encuentra mayor dificultad para absorber el agua que se encuentra en el espacio poroso de este tipo de suelos. Son suelos que no tienen buena aireación y es frecuente encontrar **problemas de encharcamiento**.

Figura 3. Infiltración del agua en suelos arenosos o "ligeros" y arcillosos o "pesados"



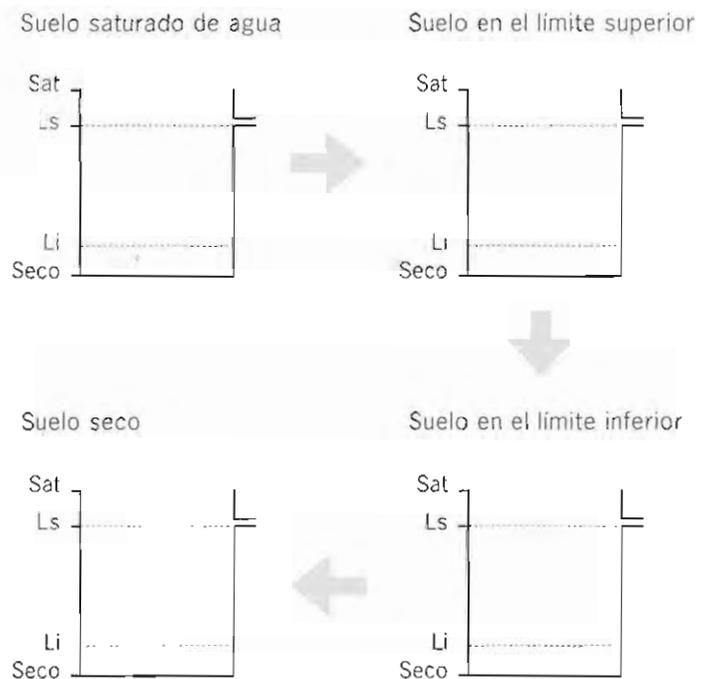
Los **suelos francos**, por sus características físicas intermedias, son en general bastante apropiados para los cultivos de regadío. Suelen estar compuestos por una mezcla de arena, limo y arcilla que les da una buena aireación, adecuada capacidad para retener el agua, evitando tanto grandes pérdidas por filtración a capas más profundas como encharcamientos indeseados.

4.3 El agua en el suelo

En función de la mayor o menor proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para la planta se definen cuatro niveles de humedad:

- **Saturación:** cuando todos los poros están llenos de agua.
- **Límite superior (LS):** es un nivel de humedad que se consigue dejando drenar el agua de un suelo saturado. Este contenido de agua supone la mayor cantidad de agua que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar. También se conoce como **capacidad de campo (CC)**.
- **Límite inferior (LI):** si el suelo no recibe un nuevo aporte, la evaporación de agua desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua **almacenada** disminuya hasta llegar a este nivel en el que las raíces **no pueden extraer** más cantidad. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla. Se conoce también como **punto de marchitamiento permanente (PMP)**.
- **Suelo seco:** situación en que los poros del suelo están totalmente llenos de aire.

Figura 4. Niveles de contenido de agua en el suelo útiles para la práctica del riego



Sat= Saturación. Ls= Límite superior. Li= Límite inferior

El comportamiento del suelo como medio poroso frente a un determinado grado de humedad es muy similar al de una esponja. Supóngase una esponja totalmente seca sobre la que se vierte agua hasta **saturarla** (mojarla por completo); comenzará a soltar agua por la parte inferior simplemente por gravedad, hasta un momento en que no caiga más, estando entonces en una situación similar al de **limite superior**. Si la esponja se presiona con fuerza para expulsar el agua, quedará con una humedad equivalente al de **limite inferior**, es decir, por más que se presione no se expulsa más agua, sin embargo todavía está ligeramente húmeda. Solamente se podría extraer el agua restante si la esponja se seca en una estufa, lo que sería análogo al **suelo seco**. En un suelo ocurre de forma similar, y a medida que hay menos agua, la succión que ejerce el suelo sobre el agua es mayor, es decir, a la planta le cuesta más trabajo extraerla.

Figura 5. Intervalo de humedad disponible



Así pues, las plantas pueden extraer el agua del suelo desde el límite superior hasta el límite inferior de humedades, lo que se conoce como **Intervalo de Humedad Disponible** (IHD). En la práctica, la mayor cantidad que el suelo puede almacenar y poner a disposición de las plantas y por lo tanto el que ellas pueden extraer es en torno al 70% de la cantidad de agua representada por el IHD.

Para poder programar los riegos de forma eficaz, es necesario conocer el nivel de humedad o cantidad de agua que tiene el suelo y los valores tanto de límite superior como de límite inferior. El contenido de agua en el suelo se puede determinar de **forma directa** utilizando muestras de suelo o bien de **forma indirecta** usando unos aparatos específicos.

Medidas directas del contenido de agua en un suelo

Humedad gravimétrica:

Es el porcentaje de peso de suelo ocupado por el agua. Por ejemplo, si en una muestra de suelo humedecido 14 gramos son de agua y 65 gramos son de suelo, la humedad gravimétrica será el resultado de dividir 14 entre 65 y multiplicar por 100, es decir, el 21.5%.

Humedad volumétrica:

Es el porcentaje de volumen de suelo ocupado por el agua. Por ejemplo, si en una muestra de suelo humedecido 12 cm³ son de agua y 48 cm³ son de suelo, la humedad volumétrica será el resultado de dividir 12 entre 48 y multiplicar por 100, es decir, el 25%.

Textura del suelo	Densidad aparente (da) g/cm ³
Arenoso	1.65
Franco-arenoso	1.50
Franco	1.40
Franco-limoso	1.35
Franco-arcilloso	1.30
Arcilloso	1.25

Lo más frecuente es calcularla multiplicando la **humedad gravimétrica por la densidad aparente (da)** del suelo. La **densidad aparente** es la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen que ella ocupa, y su valor es diferente para cada tipo de suelo si bien para suelos con textura similar, (da) es muy parecida. Las unidades más frecuentes de densidad aparente son gramos por centímetro cúbico (g/cm³).

El agua medida en **litros de agua por metro cuadrado de superficie** puede expresarse de forma similar a como suelen darse los datos de precipitación. Un milímetro de altura de lámina de agua corresponde a un litro por metro cuadrado. Por ejemplo, 50 litros por metro cuadrado es lo mismo que 50 milímetros de altura de agua.

El contenido de agua del suelo puede expresarse, además de en porcentaje, como la **altura** que ocuparía el agua que está contenida en un metro (en profundidad) de suelo si la pusiéramos en forma de lámina sobre la superficie de éste. En metros de altura, corresponde al valor de la humedad volumétrica sin expresar en tanto por ciento. Por ejemplo, en 1 metro de suelo con una humedad volumétrica del 25%, la altura de la lámina de agua es de 0.25 metros o 250 milímetros.

Medidas indirectas del contenido de agua en un suelo

Tensiómetros:

Son aparatos que **miden la succión** o fuerza que ejerce el suelo sobre el agua. A medida que el suelo pierde agua la succión aumenta, es decir, el suelo ejerce más fuerza para retener el agua, por lo que se puede saber la evolución del contenido de agua en el suelo dejando instalado un tensiómetro y observando cómo varía el valor de la succión haciendo lecturas en el reloj de medida que lleva incorporado. Suelen instalarse al menos dos tensiómetros a distintas profundidades para ver cuál es la humedad en ellas.

Sonda de neutrones:

Este aparato, introducido en el suelo a la profundidad deseada utilizando lo que se denomina tubo de sonda, emite neutrones que se reflejan más o menos dependiendo del contenido de agua del suelo. Un receptor cuenta los neutrones reflejados y transforma la señal en contenido de agua. Por ser un instrumento de cierta complejidad, su uso está limitado a personal con cierta cualificación.

Figura 6. Relación entre litros por metro cuadrado y milímetros de altura de agua

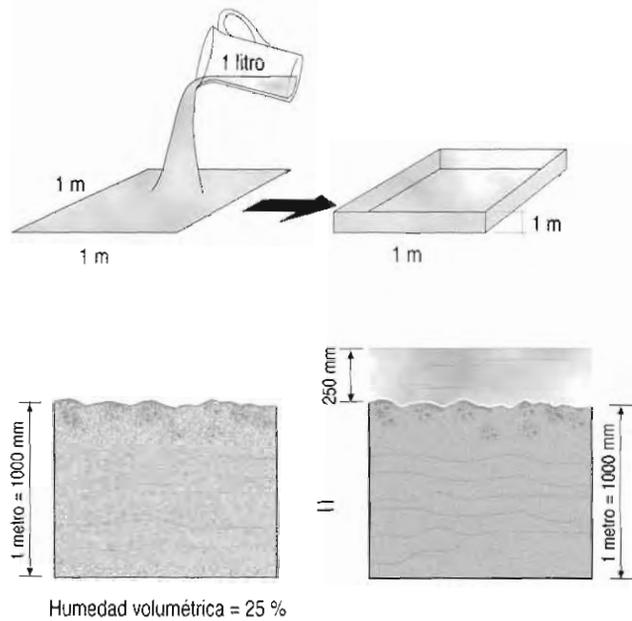


Figura 7. Tensiómetros colocados a dos profundidades distintas

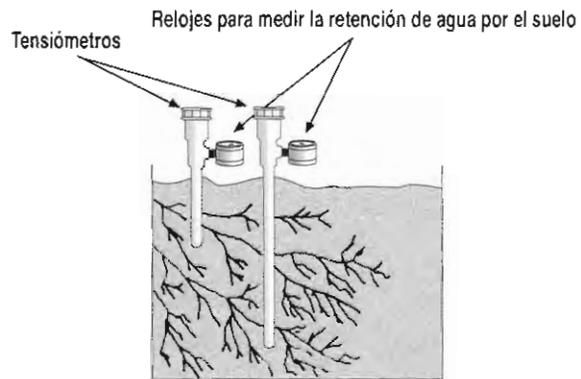


Figura 8. Esquema de un TDR

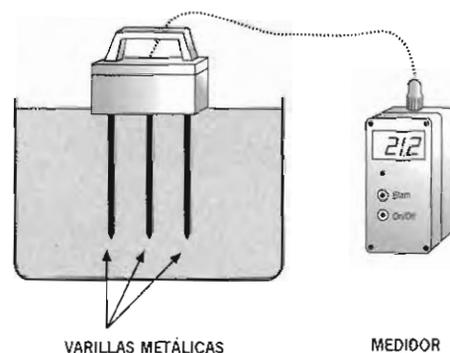


Figura 9.

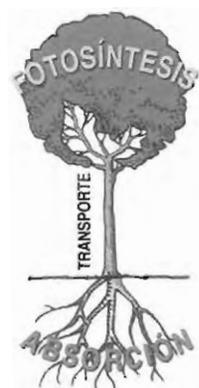


Figura 10.

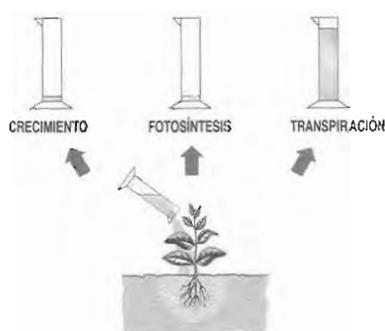


Figura 11. Proceso de transpiración en la superficie de las hojas

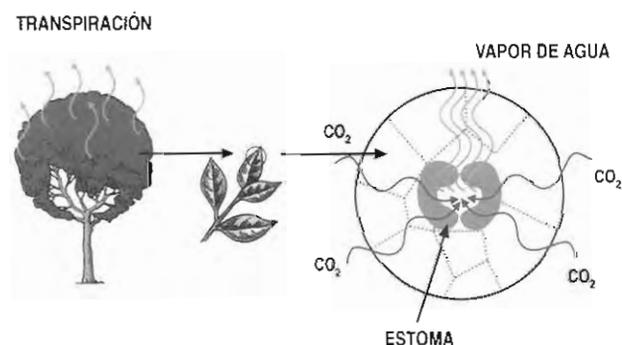
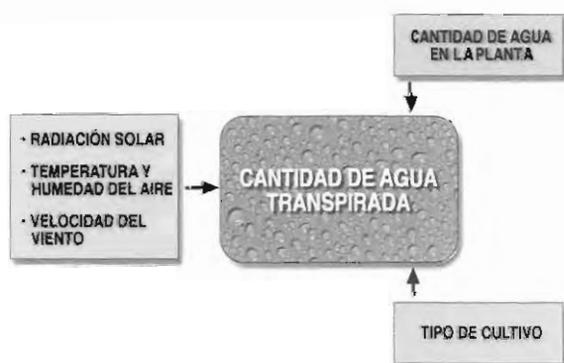


Figura 12. Factores que influyen en la cantidad de agua transpirada



TDR:

Consta de varias varillas metálicas que se introducen en el suelo y un emisor y receptor de impulsos electromagnéticos. Genera un pulso electromagnético y se mide el tiempo que tarda en recorrer las varillas, que será mayor o menor según lo sea el contenido de agua del suelo. La señal, finalmente, es traducida a humedad del suelo o contenido de agua. Al igual que la sonda de neutrones, su uso también debe corresponder a personal cualificado.

4.4 El agua en la planta. Uso del agua por la planta

El abastecimiento de agua a las plantas es fundamental para que estas realicen de forma correcta sus procesos vitales, se desarrollen y produzcan adecuadamente. El agua forma parte de la estructura general de las plantas, actuando también como regulador de la temperatura de ellas.

El agua del suelo y las sustancias minerales disueltas pasan a la planta a través de las **raíces**, desde donde pasan al **tallo** que actúa como distribuidor hacia las **hojas** (Figura 9). En las hojas se produce la transformación de los elementos minerales en materia orgánica a través de la **fotosíntesis**, para lo cual es necesario que dispongan de luz (radiación solar), **anhidrido carbónico (CO₂) del aire y agua**. La cantidad de agua requerida para realizar la fotosíntesis es sólo una parte muy pequeña del total del agua absorbida por la planta, mientras que otra pequeña parte queda en la planta para completar los procesos de **crecimiento** (Figura 10).

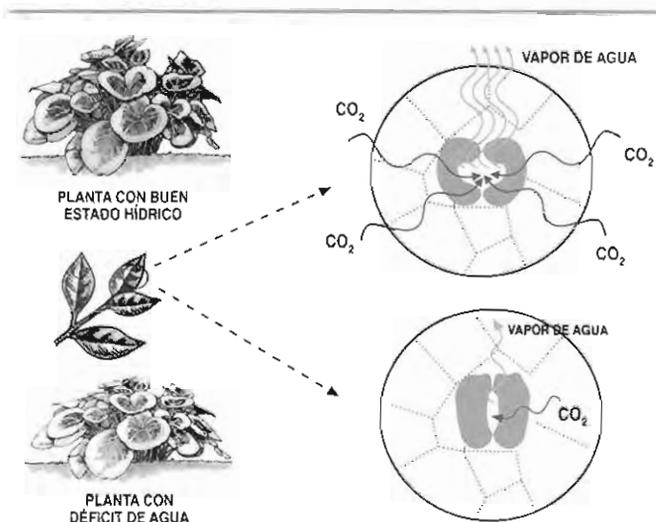
El principal gasto de agua es la **transpiración**, proceso por el que el agua pasa desde la planta a la atmósfera en forma de vapor. Para ello las plantas tienen en las hojas unas células especiales en forma de orificio llamadas **estomas** que son además el lugar por donde las plantas absorben el anhídrido carbónico (CO₂) del aire necesario para la **fotosíntesis**.

La cantidad de agua transpirada depende principalmente de los siguientes factores:

- Tipo de cultivo
- Cantidad de agua contenida en la planta
- Radiación solar, temperatura y humedad del aire y la velocidad del viento (ambientes cálidos, secos o con vientos fuertes implican mayor transpiración).

Cuando el contenido de agua en la planta es suficientemente elevado, por ejemplo tras un riego, los estomas permanecen muy abiertos y la planta transpira gran cantidad de agua. En caso de que la planta sufra escasez de agua, los estomas tienden a cerrarse total o parcialmente para evitar una pérdida de agua por transpiración excesiva. Esto también ocurre cuando la demanda evaporativa de la atmósfera es muy grande, como es el caso de días muy cálidos y secos o con mucho viento.

Figura 13. Regulación de la cantidad de agua transpirada por la apertura o cierre de los estomas



Si la cantidad de agua que pueden absorber las raíces es menor que la cantidad transpirada, la planta tiene un déficit de agua que puede ser soportado durante un periodo de tiempo sin producirse daños o disminuciones importantes de la producción; pero si el déficit de agua persiste durante un tiempo prolongado, los daños pueden llegar a ser importantes e incluso producir la muerte de la planta.

4.5 Pérdidas de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación

Un suelo es un almacén de agua. Sin embargo, la cantidad de agua almacenada cambia con el tiempo debido a que **las demandas varían mucho** dependiendo de las condiciones climáticas, el estado de desarrollo del cultivo y de las prácticas de riego. Los **aportes** de agua al suelo son la lluvia y el riego, sin embargo no toda el agua aportada es almacenada y puesta a disposición de las plantas, sino que se producen **pérdidas** debido a los siguientes fenómenos:

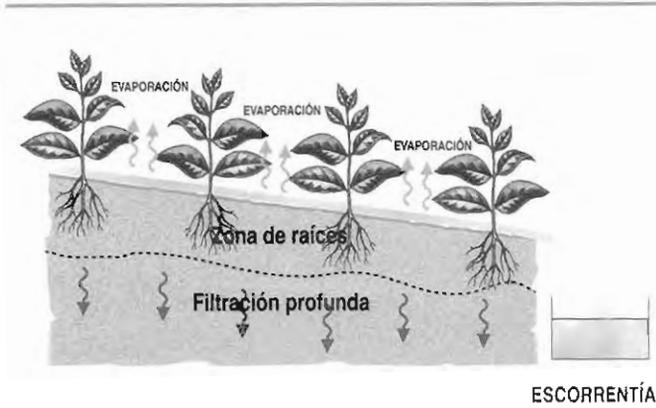
- **Escorrentía:** representa la cantidad de agua de lluvia o de riego que cae sobre la superficie del suelo pero que éste no puede infiltrar. Así, el agua sobrante escurre sobre él sin ser aprovechada por el cultivo. La escorrentía puede ser grande en algunos sistemas de riego por superficie (principalmente riego por surcos), sin embargo no suele ser frecuente que se produzca en riegos por aspersión bien diseñados y manejados. Por lo general, en riego localizado no se produce escorrentía.

La **relación de escorrentía** es la cantidad de agua que escurre sobre la superficie del suelo regado dividida entre el total de agua aplicada con el riego. Por ejemplo, si en un riego se aportan 1000 metros cúbicos de agua y se pierden 200 por escorrentía, la relación de escorrentía será 0.2 o del 20%.

- **Filtración profunda o percolación:** cuando el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra, pasa poco a poco hacia **capas más profundas**. Si la cantidad de agua aplicada es mayor que la capacidad de retención, el agua infiltrará hacia zonas en las que las raíces del cultivo no pueden acceder, siendo por lo tanto agua perdida.

$$\text{relación de escorrentía} = \frac{\text{cantidad perdida por escorrentía}}{\text{cantidad de agua aplicada}}$$

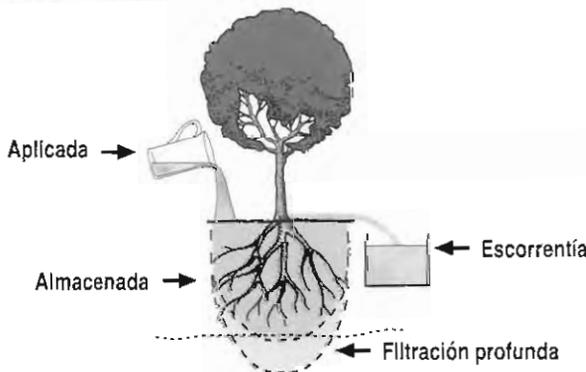
Figura 14. Procesos de evaporación, filtración profunda y escorrentía



$$\text{relación de filtración} = \frac{\text{cantidad perdida por filtración profunda}}{\text{cantidad de agua aplicada}}$$

Figura 15. Eficiencia de aplicación

$$\text{Aplicada} = \text{Filtración profunda} + \text{Almacenada} + \text{Escorrentía}$$



$$Ea = \frac{\text{Almacenada}}{\text{Aplicada}} \times 100 = 100 - \text{relación de escorrentía} - \text{relación de filtración}$$

Ejemplo

Si en un riego se aplican 1000 metros cúbicos de agua, la relación de escorrentía es el 20% y la de filtración es el 1.5%, la eficiencia de aplicación del riego será:

$$Ea = 100 - 20 - 1.5 = 78.5\%$$

La **relación de filtración** es la cantidad de agua que percola dividida entre el total de agua aplicada con el riego. Por ejemplo, si en el mismo riego del ejemplo anterior se pierden 15 metros cúbicos de agua por filtración profunda, la relación de filtración profunda será 0.015 o del 1.5%.

■ **Evaporación:** es el proceso por el cual el agua pasa de la superficie del suelo a la atmósfera en forma de vapor. La evaporación es tanto más intensa cuanto más seco sea el ambiente y mayor la temperatura del aire, es decir, la demanda evaporativa sea mayor; también será mayor cuanto más húmedo esté el suelo en superficie ya que el agua estará más disponible para ser evaporada y cuanto mayor sea el viento reinante en la zona.

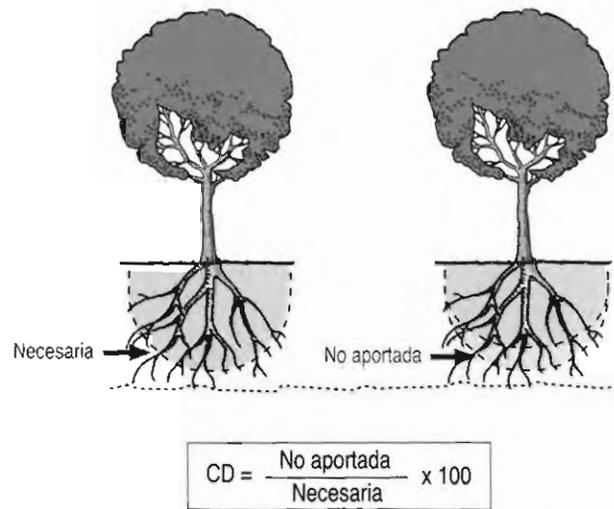
4.6 Calidad del riego: Eficiencia, uniformidad y déficit

Cuando se aplica un riego se trata de aportar el agua necesaria para un correcto desarrollo del cultivo. Existen tres índices para determinar en qué manera el riego ha sido realizado de forma correcta tanto para el aprovechamiento de agua por parte del cultivo como de ahorro de agua: **Eficiencia de aplicación (Ea)**, **cociente de déficit (CD)** y **coeficiente de uniformidad del riego (CU)**.

La **eficiencia de aplicación (Ea)** (Figura 15) es la relación entre el agua que realmente queda almacenada (Almacenada) en la zona de raíces del cultivo (y por lo tanto podrá ser aprovechada por ellas) y el agua total aplicada con el riego (Aplicada).

El **cociente de déficit (CD)**, indica la relación entre el agua que ha faltado para llenar por completo la zona de actividad de las raíces (No aportada) y la cantidad total de agua que hubiera sido necesaria para llenarla totalmente (Necesaria). Refleja el porcentaje de volumen de suelo que debería recibir agua y no lo hace.

Figura 16. Cociente de déficit



Ejemplo

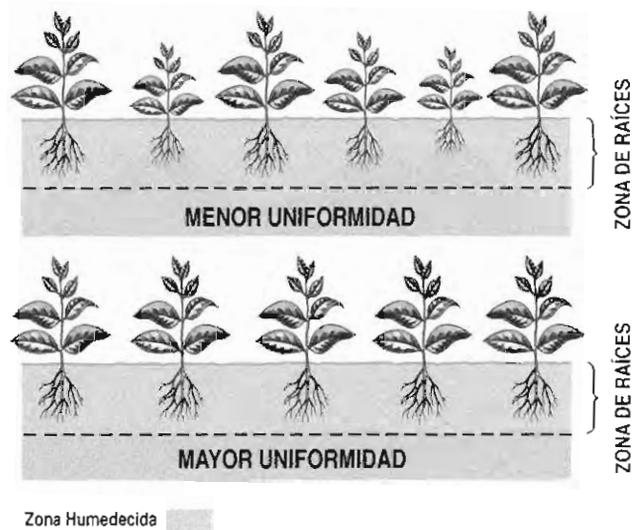
Si la cantidad necesaria a aportar a la zona de raíces es de 800 metros cúbicos de agua y en realidad sólo se aportan 600, el cociente de déficit será:

$$CD = \frac{800 - 600}{800} \times 100 = \frac{200}{800} \times 100 = 25\%$$

El **coeficiente de uniformidad (CU)** indica cómo de uniforme se ha distribuido en el suelo el agua aplicada con el riego. Si la uniformidad es baja existirá mayor riesgo de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras.

Todos los índices anteriores se expresan en porcentaje, y dan una idea de la calidad del riego tanto a efectos de disponibilidad del agua por parte del cultivo como de aplicación.

Figura 17. Coeficiente de uniformidad



Unidad Didáctica 4. EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA

RESUMEN

El agua es un elemento esencial para las plantas que sirve para aportar sustancias nutritivas e interviene en los procesos de crecimiento y desarrollo. Con el riego se pretende aportar la cantidad necesaria para que el cultivo crezca de forma adecuada, pero ha de hacerse de forma eficiente limitando en lo posible las pérdidas de agua.

El suelo es el medio donde el agua de riego se almacena. La cantidad almacenada y la que las plantas pueden extraer dependen de la textura y porosidad. El agua y los elementos minerales son extraídos del suelo por las raíces, pasando hasta las hojas donde mediante la fotosíntesis la planta elabora la materia orgánica. Gran parte del agua extraída por la planta se cede a la atmósfera en forma de vapor a través de los estomas en el proceso de transpiración.

Parte del agua de riego se pierde y no puede ser extraída por las raíces (escorrentía, percolación y evaporación). También existen zonas donde hay raíces pero el agua de riego no llega, produciéndose entonces déficit de agua. Mediante el cociente de déficit, la eficiencia de aplicación y el coeficiente de uniformidad se puede tener una estimación del destino del agua de riego y una valoración de la calidad con la que se ha efectuado el riego ■

Unidad Didáctica 4. EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA

AUTOEVALUACIÓN

- Indicar cuál de las siguientes es una característica destacada de los suelos arcillosos o pesados:
 - El tamaño de los poros es relativamente grande
 - Infiltran el agua hacia zonas profundas con cierta facilidad
 - Permite que las plantas extraigan el agua sin realizar demasiado esfuerzo incluso cerca del límite inferior de humedad
 - Suelen provocar problemas de encharcamiento
- ¿Cómo se denomina a la diferencia de humedad del suelo entre el límite superior y el límite inferior?
 - Diferencia de agua disponible
 - Cantidad de agua extraíble
 - Intervalo de humedad disponible
 - Nivel de agua en saturación
- El gasto de agua más importante que realiza la planta se invierte en la fotosíntesis y procesos de crecimiento, mientras que sólo una pequeña parte se usa en la transpiración.

Verdadero / Falso
- Los estomas son las células de las hojas en las que
 - entra el vapor de agua de la atmósfera
 - sale el anhídrido carbónico del aire y el vapor de agua
 - sale el vapor de agua y entra el anhídrido carbónico del aire
 - entra la radiación solar para realizar la fotosíntesis
- Los estomas son células de las hojas que pueden regular el contenido de agua en la planta. Normalmente tienden a cerrarse
 - sólo durante la noche
 - inmediatamente después de un riego
 - para evitar que se realice la fotosíntesis
 - cuando la planta sufre escasez de agua
- El proceso por el cual parte del agua de riego se infiltra hacia abajo hasta zonas en las que las raíces no pueden extraerla se denomina
 - Filtración profunda o percolación
 - Escorrentía
 - Transpiración
 - Evaporación
- El índice que mide la cantidad de agua que en realidad van a aprovechar las raíces respecto al total de agua aplicada se denomina
 - Eficiencia de uniformidad
 - Eficiencia de aplicación
 - Cociente de déficit
 - Uniformidad de aplicación
- De un riego se conoce que la relación de escorrentía es del 32% y la relación de filtración profunda del 3%. ¿Cuál será, por tanto, la eficiencia de aplicación del agua?
 - 65%
 - 29%
 - 32%
 - 35%

CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

5.1 Introducción

Gran parte de los *nutrientes* para las plantas se encuentran en el suelo en forma de **sales** que, **disueltas en el agua** que éste contiene, pueden ser absorbidas por las raíces. Las sales que hay en el suelo tienen diversos orígenes: desde la descomposición de las rocas, la entrada del agua del mar en zonas costeras (llamada intrusión marina), la aplicación excesiva de fertilizantes o el **uso de un agua de riego salina**. Cuando la *concentración* de sales *solubles* en el suelo es normal no suelen existir problemas para que el cultivo se desarrolle correctamente, sin embargo cuando es excesiva el crecimiento puede verse disminuido.

En sistemas de regadío, el uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de **salinizar el suelo** y en muchos casos puede provocar una disminución en la producción del cultivo. Además de estos, otros problemas importantes que pueden ocasionarse son de **toxicidad** para las plantas, de **infiltración** del agua en el suelo y de **obturaciones** en sistemas de riego localizado.

Mediante la realización de los análisis oportunos se podrá **conocer la calidad del agua de riego con bastante precisión**. Este es un objetivo fundamental antes de la implantación de un regadío, ya que existen numerosos aspectos que es preciso determinar en función de la calidad del agua como aquellos relacionados con la **elección del sistema de riego** o el **cultivo** a establecer, los **componentes de la instalación** de riego o el tipo de tratamientos que es preciso realizar al agua para poder regar con ella. Otros aspectos como el dimensionamiento de la *red de drenaje* se pueden conocer una vez que se haya analizado la calidad del agua de riego y se conozcan las *necesidades de lavado*.

Además de constituir un importante criterio de elección, la calidad del agua de riego y en particular el contenido de sales, es un indicador necesario para un manejo del riego y balance de sales en la zona de raíces adecuados y evitar en lo posible los problemas indicados anteriormente.

5.2 El agua de riego y las sales

Análisis del agua de riego

Es muy importante que la recogida de la muestra de agua de riego sea correcta, de forma que los resultados del análisis sean fiables y basándose en ellos se puedan determinar las estrategias adecuadas. Unas **recomendaciones** para recoger una muestra del agua de riego son:

- Tomar una muestra de litro a litro y medio en envase de vidrio o plástico transparente, que no haya contenido previamente alguna sustancia que pueda enmascarar la muestra (abonos, pesticidas, etc.).
- Si el agua proviene de embalse o río, tomar varias muestras y mezclarlas.
- Si proviene de pozo, tomar la muestra cierto tiempo después de que la bomba comience a extraer agua.
- Enviar la muestra al laboratorio lo antes posible, debidamente etiquetada e identificada (ver Figura 1) sin exponerla a altas temperaturas.

El análisis de una muestra de agua deberá hacerlo un laboratorio especializado en este tipo de procedimientos, y deberá proporcionar al menos la siguiente información:

Figura 1.



	Valores normales
pH	6-8.5
Conductividad eléctrica	0-3 dS/m
Carbonatos	0-3 mg/L
Bicarbonatos	0-600 mg/L
Cloruros	0-1.100 mg/L
Sulfatos	0-960 mg/L
Calcio	0-400 mg/L
Magnesio	0-60 mg/L
Potasio	0-2 mg/L
Sodio	0-920 mg/L
Boro	0-2 mg/L
Hierro	0-0.5 mg/L
RAS ⁽¹⁾	0-15
Dureza	0-40 °F ⁽²⁾
Sólidos en suspensión	0-100 mg/L
Bacterias	0-25.000 por cm ³

⁽¹⁾ RAS: Relación de Adsorción de Sodio

⁽²⁾ Grados franceses

Salinidad del agua

El agua de riego contiene cierta cantidad de determinadas sales que se añadirán a las que ya existen en el suelo. Pero como las plantas extraen sólo algunas de ellas y en distintas cantidades, el suelo y el agua suelen tener distinto tipo de sales por lo que es conveniente diferenciar entre la **salinidad del agua de riego** y la **salinidad del agua que está en el suelo** disponible para la planta.

Esto supone que la cantidad de sales que hay en el suelo depende de la que se aporte con el agua de riego y de lo que extraiga el cultivo. Si se incrementa en exceso el contenido de sales en el suelo la planta puede resultar afectada, pudiendo producirse una disminución en la producción y, en casos extremos, su muerte. De hecho, en muchas ocasiones los daños por salinidad son mayores que los producidos por una falta prolongada de agua.

La salinidad del agua de riego se puede determinar por dos procedimientos:

Medida del contenido de sales

Realizada en laboratorio, con ella se puede conocer la concentración que existe de cada una de las sales analizadas. Lo más usual es que se exprese en miligramos por litro (mg/L). Sumando las cantidades obtenidas de todas las sales, se tiene el **Contenido Total de Sales del agua de riego (CTS)**, que normalmente se expresa en gramos por litro (g/L).

Medida de la conductividad eléctrica

La concentración o el contenido total de sales se puede determinar de manera muy simple y rápida utilizando un aparato llamado **conductímetro**, que mide en realidad la **conductividad eléctrica**. Este aparato carece de demasiada precisión, por lo que para obtener medidas muy precisas es conveniente que se determine con un análisis de laboratorio.

La conductividad eléctrica suele expresarse en **deciSiemens por metro (dS/m)** o en **milimhos por centímetro (mmho/cm)** y a una temperatura determinada, siendo ambas unidades equivalentes (una muestra con una conductividad de 1.2 dS/m tendrá también 1.2 mmho/cm). Una vez que se ha determinado la conductividad eléctrica, el contenido total de sales (CTS) en g/L (gramos por litro) se calcula con una fórmula muy simple:

$$\text{Contenido Total de Sales} = 0.64 \times \text{Conductividad eléctrica}$$

Ejemplo

Se desea saber cuál es el contenido total de sales de una muestra de agua de riego cuya conductividad eléctrica, medida con un conductímetro, es de 2.35 dS/m. Aplicando la fórmula,

$$\text{CTS} = 0.64 \times 2.35 = 1.504 \text{ gramos por litro (g/L)}$$

Existen una serie de **criterios** que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas medidas en ella, criterios que deben usarse con precaución y ser aplicados con carácter general ya que cada caso particular puede tener soluciones adecuadas. La FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales:

Figura 2. Sales más frecuentes en el agua de riego y en el suelo

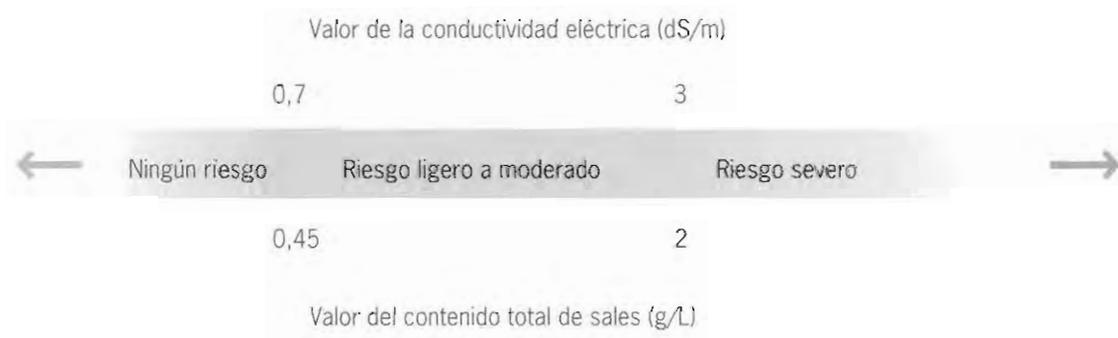




Figura 3. Medida de la conductividad eléctrica de un agua de riego usando un conductímetro portátil.

Como se puede observar, si la conductividad es mayor de 3 dS/m o el CTS mayor de 2 g/L, los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como *lavado de sales* frecuente o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad. No obstante la experiencia y el asesoramiento técnico serán muy útiles para adecuar los límites y tolerancias en función del sistema de riego, el tipo de suelo y el cultivo.

Figura 4. Riesgo de salinización del suelo según la conductividad eléctrica o el contenido total de sales del agua de riego



Tolerancia de los cultivos a la salinidad

La **tolerancia a la salinidad** es la capacidad del cultivo a soportar un exceso de sales en la zona de raíces (es decir, en el agua del suelo próxima a la zona radicular). Cada cultivo presenta una tolerancia distinta, pero además se ve afectada por diversos factores como el tipo de sal, el clima, manejo y método de riego, etc.

La tolerancia indica el valor de conductividad en el agua del suelo que cada cultivo puede soportar sin producirse disminuciones en su rendimiento. De esta forma se puede establecer una comparación entre los cultivos que toleran mejor la salinidad (los de valor más alto) y los que son muy poco tolerantes (valores más bajos). Algunos valores de tolerancia para diferentes tipos de cultivos se indican en la siguiente tabla:

Tolerancia a la salinidad (dS/m)					
Cultivos extensivos		Cultivos hortalizas		Cultivos frutales	
Cebada	8.0	Pepino	2.5	Olivo	2.7
Algodón	7.7	Tomate	2.5	Vid	1.5
Remolacha	7.0	Melón	2.2	Manzano	1.7
Trigo	6.0	Espinaca	2.0	Naranja	1.7
Soja	5.0	Col	1.8	Limonero	1.7
Arroz	3.0	Patata	1.7	Melocotonero	1.7
Maíz	1.7	Pimiento	1.5	Ciruelo	1.5
		Cebolla	1.2		
		Judía	1.0		
		Fresa	1.0		

La salinidad del agua de riego es un indicador muy valioso del riesgo de salinización del suelo, lo que es fundamental conocer **antes de elegir el cultivo a implantar**. Por ejemplo, si el agua de riego presenta valores muy elevados de contenido total de sales (y por lo tanto de conductividad eléctrica) es siempre más seguro implantar un cultivo de algodón antes que de maíz a efectos de tolerancia del cultivo ante futura salinización del suelo. Evidentemente es preciso evaluar otros factores, pero con este criterio se evita un serio problema en la productividad del cultivo.

También debe tenerse en cuenta como **criterio de elección del sistema de riego** y debe ser tenido en cuenta si existe la posibilidad de implantar uno u otro. En riego por aspersión toda la parte aérea de la planta se moja, por lo que si el agua es muy salina, la *evaporación* provoca que la sal se acumule en las hojas y el fruto y si el cultivo no es muy tolerante los daños pueden ser importantes. Sin embargo, el uso de aguas similares en riego localizado con un cultivo de tolerancia parecida posiblemente no provoque ningún efecto perjudicial. Por ejemplo, riego por aspersión en un cultivo de melón sería desaconsejado mientras que ese mismo agua podría aplicarse sin problemas en un cultivo de pepino en riego localizado.

Figura 5. Síntomas de exceso de sodio en una hoja de platanera

5.3 Toxicidad

La presencia de determinadas sales en el suelo, incluso a bajas concentraciones, puede provocar efectos tóxicos en las plantas. Normalmente, los cultivos leñosos o arbóreos presentan mayor toxicidad que los cultivos anuales. En general, las que ocasionan más problemas para los cultivos son el **sodio**, el **boro** y el **cloruro**. La toxicidad de cada uno de ellos es diferente para cada cultivo así como los síntomas que producen en las plantas. Por lo tanto, conociendo los **síntomas** se pueden detectar ciertos problemas de toxicidad.

Un **exceso de sodio** produce **sequedad o quemaduras en los bordes exteriores** de las hojas. Cuando el problema continúa, la sequedad continúa por los nervios hasta el centro de la hoja. Los cítricos, aguacate y judía son los cultivos más sensibles al exceso de sodio en el suelo, mientras que trigo, algodón, cebada, alfalfa y remolacha, por ejemplo, son muy tolerantes.



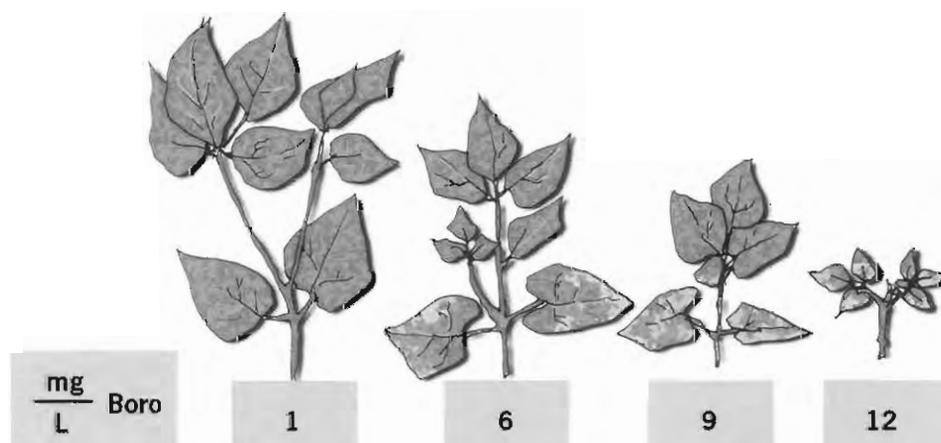
Cuando el **cloruro** se acumula en las hojas hasta niveles del orden del 0.1–0.3% del peso de la hoja, los efectos pueden ser muy perjudiciales. Suele manifestarse con **quemaduras en la punta de las hojas** y avanzar por los bordes. Afecta fundamentalmente a cultivos leñosos, siendo muy sensibles los frutales de hueso, el aguacate, los cítricos y la vid.

El **boro**, a diferencia de los anteriores, afecta tanto a plantas leñosas como a anuales. Llega a ser muy perjudicial para algunas plantas incluso a concentraciones tan bajas como 1 miligramo por litro, sin embargo es un elemento esencial para un desarrollo correcto del cultivo. Suele manifestarse por un **amarilleamiento de la punta de las hojas más antiguas** que va desplazándose hasta en centro de las hojas entre los nervios y **sequedad en algunas otras zonas de la planta**. Las plantas más sensibles son, entre otras, la judía, el girasol, el trigo, el maíz, el algodón, los frutales de hueso y pepita, la vid y el aguacate, mientras que son bastante tolerantes el espárrago, la remolacha y la alfalfa entre otras.

Figura 6. Síntomas de exceso de cloruro en una hoja de maíz



Figura 7. Efecto de distintas concentraciones de boro en el suelo en hojas de judía



5.4 Problemas de infiltración

Aunque se aporte agua al suelo mediante riego, si la infiltración es deficiente pueden surgir serios problemas para que ésta llegue a las raíces de las plantas. Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el **sodio** (que suele estar presente en el agua de riego) se incorpora al suelo y **deteriora su estructura**; los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que **tapan o sellan los poros** y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad. El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que saber también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo.

La forma de evaluar ese balance se realiza con un índice llamado **Relación de Adsorción de Sodio (RAS)**. Cuanto mayor sea el RAS, mayor será la cantidad de sodio con respecto a la de calcio y magnesio y mayores serán los problemas de degradación del suelo y de infiltración del agua.

La salinidad del agua y la relación de adsorción de sodio, evaluados de forma conjunta, son normalmente los dos criterios más restrictivos para el uso del agua para riego (Figura 8). Por ejemplo, según el gráfico de la figura, un agua con una conductividad eléctrica de 0.85 dS/m y un RAS de 4.32, sería apta para el riego empleando las debidas precauciones.

5.5 Otros criterios de calidad

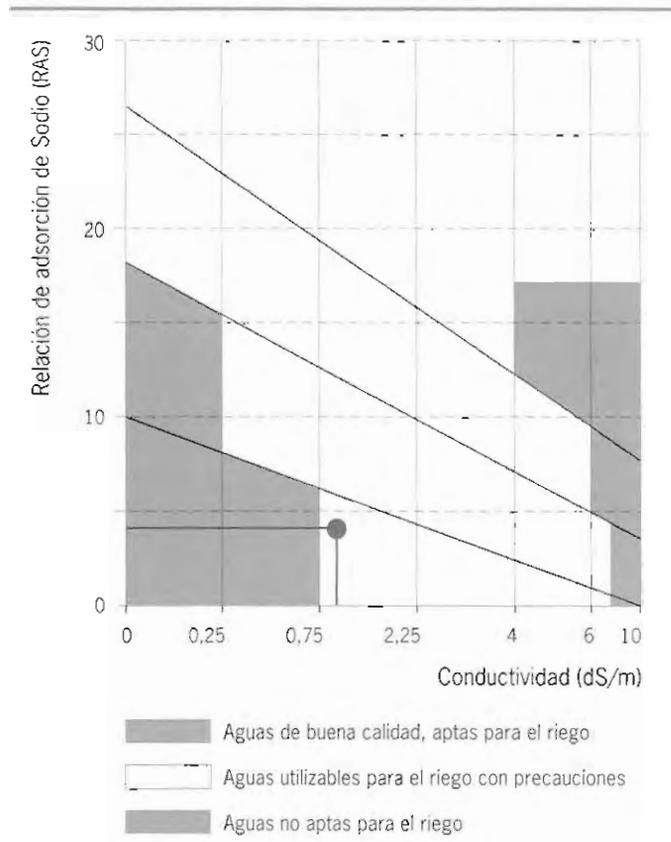
Además de la salinidad y la relación de adsorción de sodio, es muy conveniente saber la cantidad de **sólidos en suspensión**, el **pH**, la **dureza**, el contenido de **hierro** y la cantidad de **bacterias** del agua de riego, principalmente para determinar el riesgo de obturaciones en sistemas de riego localizado.

La **dureza** del agua, mide el contenido de calcio y magnesio en el agua. Las agua duras o muy duras, por su gran concentración en uno o ambos elementos, son recomendadas para recuperar suelos con problemas de exceso de sodio ya que mejoran la estructura del suelo y reducen el problema de baja infiltración. La dureza se expresa en grados franceses, con la siguiente clasificación para el agua:

De forma general, se admite que cuando el pH del agua es superior a 7 y la dureza está por encima de 40–50 grados franceses puede empezar a producirse **problemas de obturaciones**. Estas cifras son las que se están imponiendo actualmente.

El **hierro** y los **carbonatos** también pueden generar serios problemas de obturación de emisores de riego localizado dado que *precipitan* con bastante facilidad. Para evitar este problema, se recomienda que el agua de riego no tenga contenidos superiores a 0.5 mg/L de hierro o 100 mg/L de carbonatos. Si los contenidos son superiores y no es posible utilizar otro tipo de agua para riego, se debe realizar algún tipo de medida correctora como embalsar el agua antes de regar para que depositen los precipitados de hierro o de carbonatos, o bajar el pH aplicando ácido para disminuir la posibilidad de que alguno de ellos precipite.

Figura 8. Calidad del agua de riego en función del contenido de sales y la relación de adsorción de sodio



Grados franceses	Tipo de agua
<7	Muy dulce
7–14	Dulce
14–22	Medianamente dulce
22–32	Medianamente dura
32–54	Dura
>54	Muy dura

Otros criterios que han de tenerse en cuenta para evitar el riesgo de obstrucciones se refieren a la cantidad de **bacterias** o de **sólidos en suspensión**, admitiéndose por lo general que una concentración mayor de 50–100 miligramos por litro (mg/L) de sólidos en suspensión o una cantidad mayor de 10.000 bacterias por centímetro cúbico (cm³) de agua pueden empezar a dar problemas de obturación.

Aún cuando los problemas que surgen en gran parte de las instalaciones de riego localizado son muy frecuentes, lo cierto es que se tiene muy poco en cuenta la calidad del agua antes de **elegir los componentes de las instalaciones**. Es preciso tenerla en cuenta a la hora de decidir los filtros a instalar para dejar el agua libre de precipitados, para instalar componentes de aplicación de ácidos cuando sea necesario, el tipo de emisores para que no se obturen con frecuencia, etc.

Figura 9.



5.6 Lavado de sales

La concentración de sales en el suelo varía dependiendo básicamente del contenido de humedad que éste tenga. Así, los procesos de *evaporación* y *transpiración* reducen tal contenido y provocan un aumento de la concentración, mientras que con el lavado, las sales del suelo se disuelven haciendo que pasen hacia zonas más profundas y evitando así que se concentren en exceso en la zona de actividad de las raíces (Figura 9).

Las **necesidades de lavado** constituyen la cantidad de agua de riego que se utiliza para disolver las sales y desplazarlas hasta capas del suelo más profundas. La cantidad de agua necesaria para realizar el lavado depende básicamente del tipo de cultivo (su tolerancia a la salinidad) y de la salinidad del agua del suelo; a mayor salinidad del agua del suelo y menor tolerancia, mayor será la cantidad de agua a aplicar para lavar las sales. Sin embargo, dado que con cada

método de riego el agua se aplica de forma distinta y el movimiento del agua en el suelo es diferente, así como la frecuencia con que se aplica el riego, las necesidades de lavado son también distintas. Por ello, será preciso diferenciarlas en el momento en que se trate el manejo de cada uno de los métodos.

Por ejemplo, si las necesidades de lavado son del 12%, se entiende que del total del agua aplicada con el riego el 88% se destina para el cultivo y el 12% para lavar las sales. Se pretende que esa cantidad de agua extra se infiltre hasta capas más profundas que la zona de raíces constituyendo parte de la *filtración profunda*. En ocasiones y dependiendo básicamente de la facilidad del suelo para infiltrar el agua, es preciso instalar un sistema de drenaje adecuado para eliminar el agua de lavado. Esto supone de nuevo la necesidad de conocer la calidad del agua de riego para planificar las necesidades de lavado y sistemas de drenaje de ser necesarios.

Unidad Didáctica 5. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

RESUMEN

La calidad del agua de riego es un factor muy importante a la hora de tomar decisiones sobre la elección del sistema de riego, determinación de los componentes de la instalación y del propio manejo del riego y del cultivo con objeto de evitar problemas de salinidad, infiltración del agua en el suelo, de toxicidad para las plantas u otros derivados de las obturaciones en sistemas de riego localizado.

El agua de riego siempre lleva sales disueltas que son aportadas al suelo, lo que en ocasiones provoca un aumento de la salinidad del suelo y hace que las plantas encuentren mayor dificultad para absorber el agua. Es necesario conocer la cantidad de sales disueltas, lo cual puede hacerse usando un conductivímetro para medir la conductividad eléctrica o bien mediante un análisis en laboratorio para que, en función del contenido de sales, se establezcan diversas estrategias de manejo.

El boro, sodio y el cloruro son las sales que pueden dar origen a mayores problemas de toxicidad en las plantas. Suelen ser más sensibles las plantas leñosas que las anuales y los síntomas que aparecen en las plantas dependen de la sal que esté provocando la toxicidad.

Pueden darse problemas de infiltración del agua cuando se superan determinados niveles de contenido de sodio en el suelo con relación a los de calcio y magnesio, lo que se conoce como relación de adsorción de sodio. Para evaluar de forma conjunta la calidad del agua para el riego suelen establecerse algunos criterios en función del contenido de sales y de la relación de adsorción de sodio.

El lavado de sales es una práctica muy frecuente para evitar que la concentración de sales en la zona de raíces sea excesiva. Consiste en aplicar una cantidad extra de agua con el riego para disolver las sales y permitir que pasen hacia zonas más profundas del suelo ■

6.2 Necesidades de agua de los cultivos

Ya es conocido que la cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen y llega a formar parte de ellas (usada en procesos de crecimiento y *fotosíntesis*). La *transpiración* puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua por la planta. Desde la superficie del suelo se producirá la *evaporación* del agua de las capas más superficiales.

Figura 1. Componentes de la evapotranspiración



Figura 2. Expresión para el cálculo de la evapotranspiración (ET)

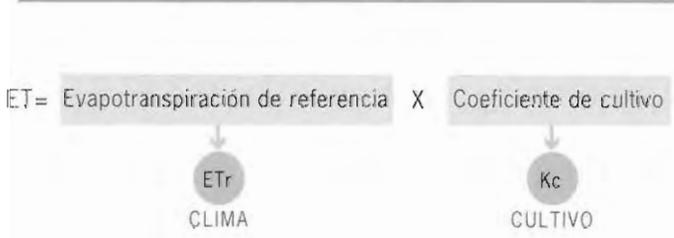
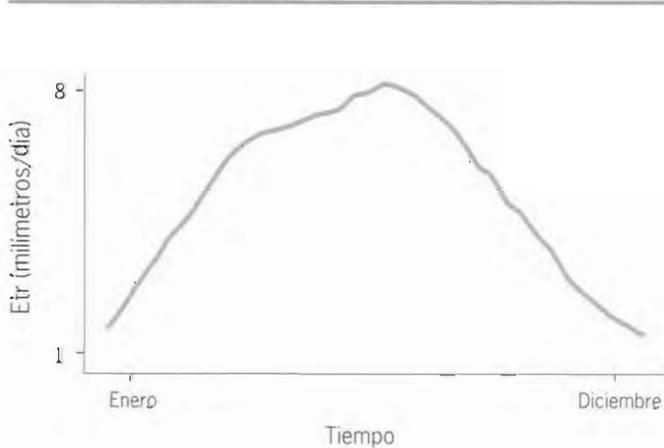


Figura 3. Curva típica de evapotranspiración de referencia (ETr)



Desgraciadamente, no existen o no se conoce información relativa a valores de E_{Tr} que puedan ser aplicados en grandes áreas o zonas regables en nuestra región, a excepción del **valle medio y bajo del Guadalquivir**, donde se pueden usar con bastante garantía, para la estimación de la E_{Tr} diaria (la evapotranspiración que se produce cada día) los siguientes valores:

La cantidad de agua que supone ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente porque es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto, se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa de agua desde el suelo más la transpiración de las plantas, en lo que se denomina **evapotranspiración (ET)**. La evapotranspiración suele expresarse en milímetros de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que **variará según el clima y el cultivo**. Aunque en realidad existe una interacción entre ambos, puede admitirse la simplificación de considerarlos por separado y por lo tanto la evapotranspiración (ET) se calcula como:

Evapotranspiración de referencia

Para poder calcular la evapotranspiración (ET) se parte de un sistema ideado para este fin, consistente en medir el consumo de agua de una parcela de unas medidas concretas sembrada de hierba, con una altura de unos 10–15 centímetros, sin falta de agua y en pleno crecimiento, donde se ha colocado un instrumento de medida. Al dato obtenido se le denomina **evapotranspiración de referencia (E_{Tr})**. Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según **sean las condiciones del clima** (radiación solar, temperatura, humedad, viento, etc.) **y del entorno** (según se mida en el exterior o dentro de invernadero). Con frecuencia, la estimación de la evapotranspiración de referencia (E_{Tr}) no está dentro de las posibilidades del regante, que para obtenerla deberá recurrir a información proporcionada por entidades públicas o asociativas, centros de investigación y experimentación, etc.

ETr diaria en el valle medio y bajo del Guadalquivir												
ETr	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
mm/día	1	2	3	4	5	6	7	6	5	4	3	2

Con objeto de ofrecer valores de ETr en otras zonas de nuestra región, a continuación se indican datos calculados en áreas representativas de cada provincia. Sin embargo, es preciso advertir que dichos datos deben ser utilizados con precaución ya que pueden variar de unos lugares a otros dentro de la misma zona debido a cambios en la altitud, condiciones climáticas, etc.

ETr diaria (mm/día) en zonas representativas de cada una de las provincias andaluzas													
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Almería (Dentro de invernadero) *	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0	4.0	3.5	2.5	2.0	1.0	1.0	
Cádiz (Z.R. Guadalcazín)	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	6.5	6.0	4.5	3.0	2.0	1.5	
Córdoba (Valle medio del Guadalquivir)	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	6.0	5.0	3.5	2.5	1.5	
Granada (Vega de Granada)	1.0	2.0	3.0	3.5	4.5	6.0	6.5	6.0	4.0	2.5	1.5	1.0	
Huelva (Riegos de Palos-Moguer)	1.5	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5	
Jaén (Valle alto del Guadalquivir)	1.0	1.5	2.5	3.0	4.5	5.5	6.5	5.5	4.0	2.5	1.5	1.0	
Málaga (Z.R. Guadalorce)	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	5.5	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5	
Sevilla (Valle bajo del Guadalquivir)	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	6.0	5.0	3.0	2.0	1.5	

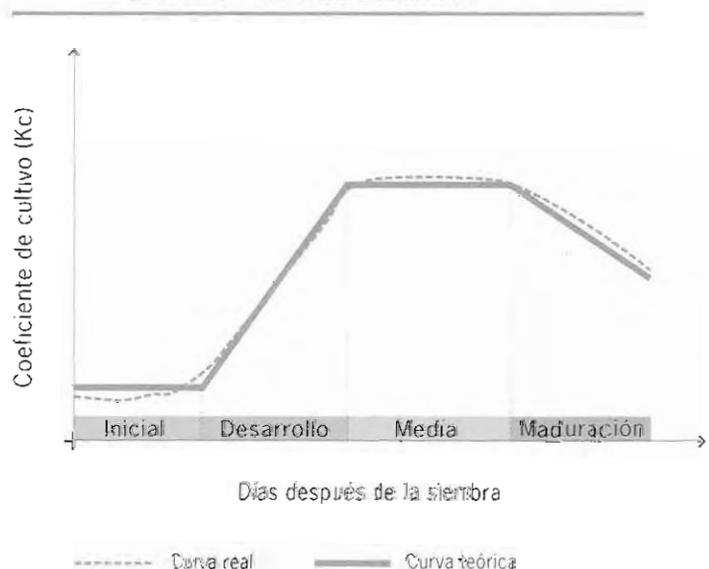
* Los valores de ETr (invernaderos en Almería) son en general más reducidos que en el resto de las zonas de las demás provincias, al tratarse de datos medidos en invernadero. En este caso, dichos valores han sido tomados en un invernadero tipo parral de Almería con cubierta de plástico de dos campañas. No obstante es preciso tener precaución cuando hayan de utilizarse para calcular ET dentro de otro tipo de invernaderos.

Coefficiente de cultivo

El **coeficiente de cultivo** (Kc) describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los **cultivos anuales** normalmente se diferencian cuatro etapas o fases del cultivo:

Figura 4. Curvas real y teórica típicas de coeficiente de cultivo para especies anuales, según las diferentes fases de desarrollo



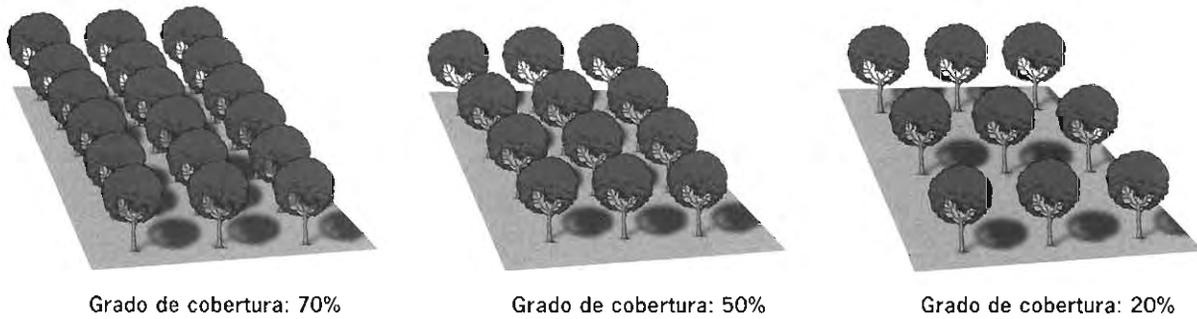
1. **Inicial:** desde la siembra hasta un 10% de cobertura del suelo aproximadamente.
2. **Desarrollo:** desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
3. **Media:** entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
4. **Maduración:** desde madurez hasta recolección.

Como se observa en la figura 4, Kc comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de coeficiente de cultivo se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembra, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos de coeficiente de cultivo para varios cultivos herbáceos y hortícolas como los siguientes, en los que se observa que aún siendo diferentes para cada cultivo, presentan valores bastante próximos entre ellos.

Valores de Kc para cultivos herbáceos y hortícolas				
	Fase del cultivo			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Algodón	0.45	0.75	1.15	0.75
Berenjena	0.45	0.75	1.15	0.80
Cebada	0.35	0.75	1.15	0.45
Girasol	0.35	0.75	1.15	0.55
Judía verde	0.35	0.70	1.10	0.30
Lechuga	0.45	0.60	1.00	0.90
Maíz	0.40	0.80	1.15	0.70
Melón	0.45	0.75	1.00	0.75
Patata	0.45	0.75	1.15	0.85
Pimiento	0.35	0.70	1.05	0.90
Remolacha	0.45	0.80	1.15	0.80
Soja	0.35	0.75	1.10	0.60
Sorgo	0.35	0.75	1.10	0.65
Tabaco	0.35	0.75	1.10	0.90
Tomate	0.45	0.75	1.15	0.80
Trigo	0.35	0.75	1.15	0.45
Zanahoria	0.45	0.75	1.05	0.90

Para los **cultivos leñosos**, permanentes, los coeficientes de cultivo suelen venir expresados por meses y usualmente en función del grado de cobertura del suelo (que indica el porcentaje de superficie de suelo que ocupa la masa arbórea).

Figura 5. Ejemplo de distintos grados de cobertura del suelo en cultivos leñosos



Valores de Kc para Citricos sin cubierta vegetal

Grado de cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
> 70%	0.50	0.50	0.55	0.55	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55
50% aprox.	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50
< 20%	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40

Valores de Kc para Frutales de hoja caduca sin cubierta vegetal

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzano, cerezo	-	-	-	0.40	0.60	0.85	1.00	1.00	0.95	0.70	-	-
Melocotonero, peral, ciruelo y albaricoque	-	-	-	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.70	0.65	-	-

Valores de Kc para otros cultivos leñosos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Olivar	0.50	0.50	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.60	0.65	0.50
Vid	-	-	-	0.45	0.60	0.70	0.70	0.70	0.65	0.50	0.30	-

En caso de que exista **algún cultivo implantado entre las filas de árboles**, los coeficientes de cultivo aumentarían debido al consumo que tal cultivo implica. Ocurriría lo mismo si existieran malas hierbas.

Ejemplo

Cálculo de la evapotranspiración diaria: Se desea saber cuál es la evapotranspiración (ET) diaria durante el mes de mayo, de un cultivo de maíz situado en las proximidades de Córdoba, que se encuentra en fase media.

Utilizando la “tabla de valores de Etr diaria en el valle medio y bajo del Guadalquivir” se desprende que la evapotranspiración de referencia (ETr) para mayo es de 5 mm/día. De la tabla de coeficientes de cultivo (Kc) para el maíz se obtiene un valor de 1.15 en la fase media. Así pues, la evapotranspiración diaria (ET) será:

$$ET = ETr \times Kc = 5 \times 1.15 = 5.75 \text{ mm/día}$$

6.3 El agua del suelo en relación con el riego

Cuando se trata de calcular el agua que es preciso aportar con el riego, se debe conocer la profundidad de la capa de suelo que es realmente ocupada por las raíces. Algunos valores de profundidad de las raíces máxima para diferentes cultivos se exponen en la tabla siguiente. En algunas ocasiones, cuando las condiciones de suelo y agua son muy favorables, se han encontrado valores mayores, pero en ningún caso la profundidad de raíces se podrá considerar mayor que la del suelo.

La cantidad de agua del suelo que teóricamente está a disposición para las plantas viene determinado por el **Intervalo de Humedad Disponible (IHD)** (diferencia entre el *límite superior e inferior* de humedad), cuyo valor es diferente para cada suelo dependiendo básicamente de su textura.

Algunos valores orientativos son los siguientes:

Textura	IHD (mm de agua por m de profundidad del suelo)
Arenoso	70 – 100
Franco-arenoso	90 – 150
Franco	140 – 190
Franco-arcilloso	170 – 220
Arcilloso	200 – 250

Esto quiere decir que en un suelo franco-arcilloso con un Intervalo de Humedad Disponible de 185 mm de agua por metro de profundidad de suelo, con un cultivo de algodón que tiene una profundidad de raíces de 0.9 metros, la cantidad de agua teóricamente disponible corresponde con una lámina de agua de altura:

$$\text{IHD} \times \text{Profundidad de raíces} = 185 \times 0.9 = 166.5 \text{ milímetros}$$

Aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior, existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encontrarán **mayor dificultad para extraer el agua** y se produce una disminución en la transpiración, lo que suele traer consigo pérdidas de producción. Este se denomina **Nivel de Agotamiento Permisible (NAP)** y normalmente se representa como una fracción del Intervalo de Humedad Disponible.

Cultivo	Profundidad (metros)
Aguacate	0.8 – 1.2
Albaricoque	0.6 – 1.4
Alcachofa	0.6 – 0.9
Alfalfa	1.2 – 1.8
Algodón	0.6 – 1.8
Almendra	0.6 – 1.2
Avena	0.6 – 1.1
Berenjena	0.5 – 0.6
Cebada	0.9 – 1.1
Cebolla	0.3 – 0.6
Cerezo	0.8 – 1.2
Ciruelo	0.8 – 1.2
Citricos	0.9 – 1.5
Col y coliflor	0.6
Espárrago	1.2 – 1.8
Espinaca	0.4 – 0.6
Fresa	0.3 – 0.5
Girasol	1.5 – 2.5
Guisantes	0.4 – 0.8
Lechuga	0.2 – 0.5
Leguminosas grano	0.5 – 1.0
Maíz grano	0.6 – 1.2
Manzano	0.8 – 1.4
Melocotón	0.6 – 1.2
Melón	0.6 – 1.1
Olivo	0.9 – 1.5
Patata	0.6 – 0.9
Pepino	0.4 – 0.6
Pera	0.6 – 1.2
Pimiento	0.4 – 0.9
Remolacha	0.6 – 1.2
Soja	0.6 – 1.0
Sorgo	0.6 – 0.9
Tabaco	0.5 – 0.9
Tomate	0.6 – 1.2
Trigo	0.8 – 1.1
Vid	0.8 – 1.1
Zanahoria	0.4 – 0.6

En programación de riegos suele emplearse muy frecuentemente un valor entre **0.6** y **0.8** (un valor de 0.65 se considera muy adecuado y es utilizado con asiduidad), pero en cultivos de **alto valor económico**, como por ejemplo los hortalizas, no debe usarse un valor de NAP mayor de **0.5** para asegurar que el cultivo no sufrirá en ningún momento falta de agua y ello pueda disminuir la producción. La humedad correspondiente al Nivel de Agotamiento Permissible es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción fuera siempre la máxima posible. Para el caso del ejemplo anterior, la humedad del suelo (expresada como altura de la lámina de agua) que corresponde a un Nivel de Agotamiento Permissible de 0.65 será:

$$\text{IHD} \times \text{Profundidad de raíces} \times \text{NAP} = 185 \times 0.9 \times 0.65 = 108.2 \text{ milímetros}$$

o sea, unos 108 mm de agua.

Supóngase un suelo que tiene una humedad correspondiente al límite superior. A partir de ese momento comienza a disminuir tal humedad debido a la salida de agua que supone la evapotranspiración (ET), con lo cual se va agotando el agua del suelo día a día. La cantidad de agua que va faltando con respecto al límite superior se denomina **Déficit de Agua en el Suelo (DAS)** y será mayor a medida que pasa el tiempo.

6.4 Estimación de las necesidades de riego usando el método del balance de agua

El sistema formado por el suelo y el cultivo tiene unos aportes y unas salidas de agua. Por lo general esas cantidades no son iguales, por lo que el **contenido de humedad del suelo irá cambiando**, quedando de manifiesto el papel del suelo como almacén de agua. De forma esquemática se puede expresar que la cantidad de agua que entra en el conjunto formado por el suelo y la planta, menos la cantidad que sale, es igual a la variación del contenido de humedad del suelo.

Figura 6. Representación esquemática del Nivel de Agotamiento Permissible

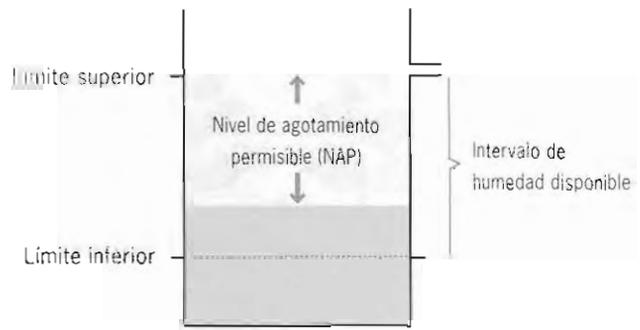


Figura 7. Representación esquemática del Déficit de Agua en el Suelo



Figura 8. Balance de agua en el sistema suelo-planta

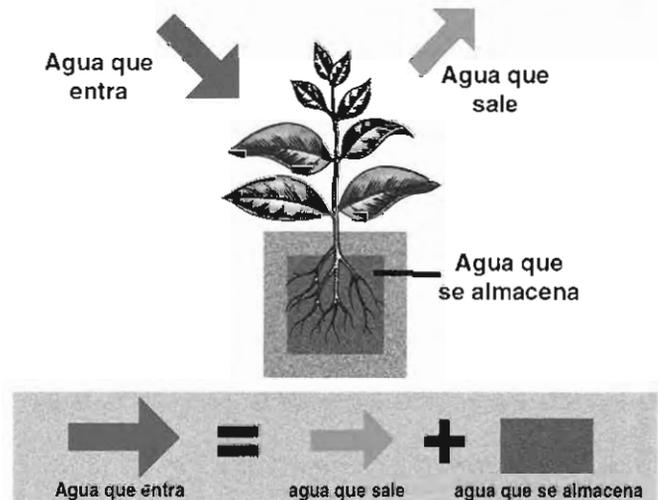
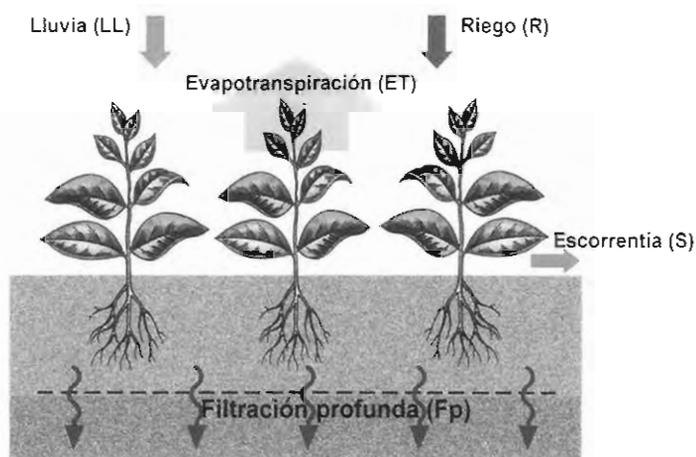


Figura 9. Componentes del balance de agua



Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la *evapotranspiración (ET)*, la *escorrentía (S)* o la *filtración profunda (Fp)*.

Si se considera un **sistema de riego bien diseñado** en el que no existe escorrentía, $S=0$. Además, suponiendo que la filtración profunda sea nula, $Fp=0$. De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o **Necesidades netas de riego (Nn)** corresponderán a la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde, la *evapotranspiración (ET)*, y el agua que se aporta de forma natural, la *lluvia (LL)*.

$$\text{Necesidades netas de riego} = \text{Evapotranspiración} - \text{Lluvia}$$

$$Nn = ET - LL$$

Esta cantidad de agua, expresada en altura de la lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina **lámina de agua requerida**. Por ejemplo, una lámina de agua requerida de 50 milímetros de altura corresponde a una aplicación con el riego de:

$$50 \text{ milímetros de lámina de agua requerida} = 0.05 \text{ metros} = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \text{ (metros cúbicos por hectárea)}$$

Pero es conocido que no toda el agua que se aporta al suelo con un riego es aprovechada por las raíces del cultivo, sino que parte se pierde por escorrentía y/o filtración profunda. La *eficiencia de aplicación del riego (Ea)*, es precisamente el porcentaje de agua que las raíces aprovechan respecto del total aplicada. Su valor es diferente para cada método de riego, superficie, aspersión y localizado y dentro de cada uno de ellos, según cada sistema. Sin embargo se pueden dar algunos valores orientativos como los siguientes:

Eficiencia de aplicación (Ea) esperable con distintos métodos de riego	
Método de riego	Eficiencia de aplicación (%)
Riego por superficie	55 – 90 (1)
Riego por aspersión	65 – 90
Riego localizado	75 – 90 (2)

(1) Los valores altos de Ea en riego por superficie se consiguen, como en el resto de los métodos, con un adecuado diseño y manejo del riego y en determinados sistemas como riego por surcos a nivel cerrados, tablares bien nivelados o surcos abiertos en los que se reutiliza el agua de escorrentía (aunque esta práctica es aún muy poco frecuente)

(2) Los valores más frecuentes se sitúan próximos al 90%

Por lo tanto, conociendo la eficiencia de aplicación se pueden determinar las **necesidades brutas de riego (Nb)**, o sea, la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el riego para satisfacer las necesidades netas de riego. Se calculan utilizando una fórmula muy simple:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego}} \times 100$$

$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

y de forma análoga a la anterior, la lámina de agua que supone la cantidad de agua aportada con las necesidades de riego brutas se llama **lámina aplicada**. Para el mismo ejemplo, si las necesidades netas de 50 mm de agua se aplican con un sistema de riego cuya eficiencia de aplicación es del 85%, la lámina aplicada deberá ser de:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = Nb = \frac{50}{85} \times 100 = 58.9 \text{ mm}$$

que corresponde a unos 589 m³/ha (metros cúbicos por hectárea) de agua aportada con el riego.

En el caso en que haya que **destinar una cantidad para el lavado de sales**, las necesidades de riego brutas se calculan teniendo en cuenta dicha cantidad. Así, ha de conocerse el valor de las *necesidades de lavado* y transformarlas (simplemente dividiendo por 100) en *fracción de lavado* de forma que:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego} \times (1 - \text{Fracción de lavado})} \times 100$$

$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100$$

Siguiendo el mismo ejemplo que anteriormente, si se ha determinado que es necesario aportar un 15% de agua como necesidades de lavado, la fracción de lavado será 0.15 y por lo tanto la lámina aplicada sería de:

$$Nb = \frac{50}{85 \times (1 - 0.15)} \times 100 = \frac{50}{85 \times 0.85} \times 100 = 69.2 \text{ mm}$$

es decir, unos 692 metros cúbicos por hectárea. Lógicamente, es mayor cantidad que cuando el cálculo se hace sin necesidades de lavado ya que en este último caso no ha de aportarse agua extra para lavado de sales.



- a) El primer paso es calcular la evapotranspiración diaria (en milímetros por día) usando los datos conocidos de evapotranspiración de referencia (ET_r) y de coeficiente de cultivo (K_c).

Ejemplo: Día 2 de mayo, ET = 5.8 x 0.4 = 2.3 (mm/día)

- b) El déficit de agua en el suelo se calcula acumulando la evapotranspiración que se produce cada día. Normalmente no se utilizan decimales y se indica el valor más próximo en milímetros.

Ejemplo: Para el día 4 de mayo se han acumulado los 7 milímetros/día que había el 3 de mayo más los 2.3 milímetros del día 4, 7 + 2.3 = 9.3 y se indican 9 milímetros.

- c) Se calcula para cada profundidad radicular, cuál es la cantidad de agua en el suelo (en milímetros de altura) que supone el nivel de agotamiento permisible.

Ejemplo: Para una profundidad radicular de 0.5 metros, el nivel de agotamiento permisible será: 0.5 (prof. de raíces) x 0.150 (el IHD) x 0.65 (el NAP) = 0.049 metros = 49 milímetros

- d) Para cada día se comprueba si el Déficit de agua en el suelo es mayor o menor que el Nivel de agotamiento permisible. Si es mayor, será el momento de regar.

Ejemplo: Para el día 10 de mayo, DAS=23 milímetros y NAP=49 milímetros, por lo que todavía no se ha llegado a alcanzar el NAP y no es necesario regar, por lo que las necesidades brutas de riego (N_b) son cero.

Sin embargo, el día 20 de mayo, DAS=72 milímetros mientras que NAP=68, es decir es necesario regar ese día. Las necesidades de riego brutas serán las siguientes:

$$N_b = \frac{N_n}{E_a} \times 100 = \frac{68}{75} \times 100 = 91 \text{ milímetros}$$

A partir del día 20 de mayo, dado que el déficit de agua en el suelo vuelve a ser cero, se comienza a calcular el nuevo déficit según la ET que se produzca cada día. El proceso continúa igual hasta el final de la campaña. Para el caso del ejemplo, habría que dar tres riegos más antes del 14 de julio.

Fecha	ET _r (mm/día)	K _c	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	N _b (mm)
01-may	5.8	0.4	2.3	2	0.1	10	0
02-may	5.8	0.4	2.3	5	0.1	10	0
03-may	5.8	0.4	2.3	7	0.1	10	0
04-may	5.8	0.4	2.3	9	0.3	29	0
05-may	5.8	0.4	2.3	12	0.3	29	0
06-may	5.8	0.4	2.3	14	0.3	29	0
07-may	5.9	0.4	2.4	16	0.5	49	0
08-may	5.9	0.4	2.4	19	0.5	49	0
09-may	5.9	0.4	2.4	21	0.5	49	0
10-may	5.9	0.4	2.4	23	0.5	49	0



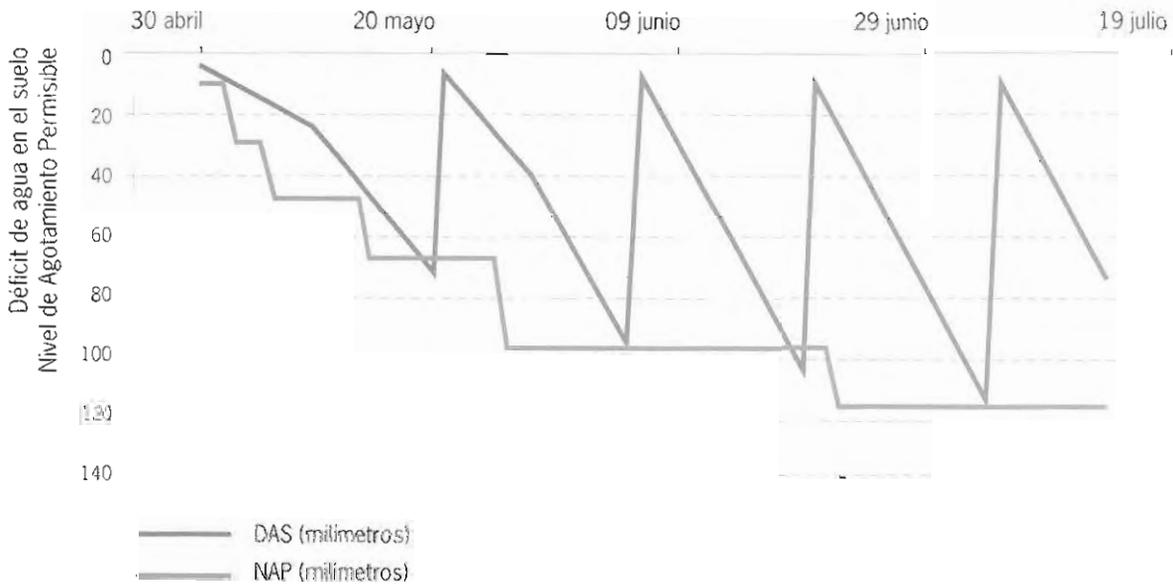
→ 11-may	6	0.8	4.8	28	0.5	49	0
12-may	6	0.8	4.8	33	0.5	49	0
13-may	6	0.8	4.8	38	0.5	49	0
14-may	6	0.8	4.8	43	0.5	49	0
15-may	6	0.8	4.8	47	0.7	68	0
16-may	6	0.8	4.8	52	0.7	68	0
17-may	6.1	0.8	4.9	57	0.7	68	0
18-may	6.1	0.8	4.9	62	0.7	68	0
19-may	6.1	0.8	4.9	67	0.7	68	0
20-may	6.1	0.8	4.9	72	0.7	68	91
(Riego)							(Riego)
21-may	6.1	0.8	4.9	5	0.7	68	0
22-may	6.1	0.8	4.9	10	0.7	68	0
23-may	6.1	0.8	4.9	15	0.7	68	0
24-may	6.2	0.8	5.0	20	0.7	68	0
25-may	6.2	0.8	5.0	25	0.7	68	0
26-may	6.2	0.8	5.0	30	1	98	0
27-may	6.2	0.8	5.0	34	1	98	0
28-may	6.2	0.8	5.0	39	1	98	0
29-may	6.2	1.15	7.1	47	1	98	0
30-may	6.2	1.15	7.1	54	1	98	0
31-may	6.3	1.15	7.2	61	1	98	0
01-jun	6.3	1.15	7.2	68	1	98	0
02-jun	6.3	1.15	7.2	75	1	98	0
03-jun	6.4	1.15	7.4	83	1	98	0
04-jun	6.4	1.15	7.4	90	1	98	0
05-jun	6.4	1.15	7.4	98	1	98	131
(Riego)							(Riego)
06-jun	6.4	1.15	7.4	7	1	98	0
07-jun	6.4	1.15	7.4	15	1	98	0
08-jun	6.5	1.15	7.5	22	1	98	0
09-jun	6.5	1.15	7.5	30	1	98	0
10-jun	6.5	1.15	7.5	37	1	98	0
11-jun	6.5	1.15	7.5	45	1	98	0
12-jun	6.5	1.15	7.5	52	1	98	0
13-jun	6.5	1.15	7.5	60	1	98	0
14-jun	6.5	1.15	7.5	67	1	98	0
15-jun	6.6	1.15	7.6	75	1	98	0
16-jun	6.6	1.15	7.6	82	1	98	0
17-jun	6.6	1.15	7.6	90	1	98	0

→ 18-jun	6.6	1.15	7.6	97	1	98	0
19-jun	6.7	1.15	7.7	105	1	98	131
(Riego)							(Riego)
20-jun	6.7	1.15	7.7	8	1	98	0
21-jun	6.7	1.15	7.7	15	1	98	0
22-jun	6.7	1.15	7.7	23	1.2	117	0
23-jun	6.7	1.15	7.7	31	1.2	117	0
24-jun	6.7	1.15	7.7	39	1.2	117	0
25-jun	6.8	1.15	7.8	46	1.2	117	0
26-jun	6.8	1.15	7.8	54	1.2	117	0
27-jun	6.8	1.15	7.8	62	1.2	117	0
28-jun	6.8	1.15	7.8	70	1.2	117	0
29-jun	6.8	1.15	7.8	78	1.2	117	0
30-jun	6.8	1.15	7.8	85	1.2	117	0
01-jul	6.8	1.15	7.8	93	1.2	117	0
02-jul	6.8	1.15	7.8	101	1.2	117	0
03-jul	6.8	1.15	7.8	109	1.2	117	0
04-jul	6.7	1.15	7.7	117	1.2	117	156
(Riego)							(Riego)
05-jul	6.7	1.15	7.7	8	1.2	117	0
06-jul	6.7	1.15	7.7	15	1.2	117	0
07-jul	6.7	1.15	7.7	23	1.2	117	0
08-jul	6.6	1.15	7.6	31	1.2	117	0
09-jul	6.6	1.15	7.6	38	1.2	117	0
10-jul	6.6	1.15	7.6	46	1.2	117	0
11-jul	6.6	1.15	7.6	53	1.2	117	0
12-jul	6.6	1.15	7.6	61	1.2	117	0
13-jul	6.6	1.15	7.6	69	1.2	117	0
14-jul	6.5	1.15	7.5	76	1.2	117	0

Mientras que el calendario medio de riegos se elabora teniendo en cuenta valores medidos en varios años, si se dispusiera de **datos obtenidos en tiempo real**, es decir **medidos diariamente o en fechas cercanas al momento actual**, el procedimiento para establecer la fecha de riego y la cantidad de agua a aplicar sería el mismo, excepto que los valores de evapotranspiración y Déficit de Agua en el Suelo se irían calculando cada vez que se dispusiera de datos reales. Es lo que se llama **programación en tiempo real**.

Sin embargo, es muy difícil encontrar valores de ET_r diarios con facilidad, por lo que la programación en tiempo real como tal no suele aplicarse asiduamente. A este respecto es preciso indicar que los **Servicios de Asesoramiento al Regante**, como entidades de apoyo que prestan orientación y recomendaciones en materia de riegos, son cada día una ayuda más valiosa para hacer un uso del agua más eficiente y mejorar las expectativas de los agricultores. Se impone, por lo tanto, la necesidad de disponer y utilizar tales Servicios para realizar una programación en tiempo real rigurosa que permita obtener máximas producciones utilizando la cantidad de agua estrictamente necesaria.

Figura 13. Evolución del DAS y del NAP para el calendario medio del ejemplo



En los climas mediterráneos es frecuente que se produzcan lluvias en primavera y otoño, y ocasionalmente tormentas en verano. En esta situación, es una práctica muy sencilla y habitual **mantener las fechas de riego** obtenidas con un calendario medio de riego, y **restar el agua de lluvia** que ha caído desde el último riego a la cantidad de agua a aplicar en el riego siguiente. Por ejemplo, para el caso del calendario medio de riegos del ejemplo anterior, si el día 7 de mayo cayeron 2 mm de lluvia y el día 8 otros 5 mm, hasta el día 20 de mayo han caído 7 mm de agua de lluvia. Por lo tanto se regará el día prefijado pero aplicando $91 - 7 = 84$ mm en lugar de los 91 mm calculados sin tener en cuenta la lluvia.

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
20-may	6.1	0.8	4.9	72	0.7	68	91
20-may	6.1	0.8	4.9	72	0.7	68	84

En estas zonas también es una opción bastante recomendable no regar hasta alcanzar el contenido de humedad correspondiente al límite superior, como es la estrategia más común, sino **dejar parte del almacenamiento del suelo sin rellenar** para aprovechar el agua de lluvia durante los días posteriores al riego.

Unidad Didáctica 6. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

RESUMEN

Con la programación de riegos se pretende establecer el momento más oportuno para regar y determinar la cantidad de agua a aplicar. De esta manera se aprovechará el agua de la forma más eficientemente posible utilizando al máximo el potencial de la instalación de riego con objeto de conseguir ciertos propósitos como maximizar la producción o mejorar la calidad del cultivo.

Para calcular la cantidad de agua a aplicar es necesario realizar un balance de agua entre la que se aporta al sistema suelo-planta y la que se extrae. El agua extraída depende del tipo de cultivo su estado de desarrollo (cuantificado con el coeficiente de cultivo) y de las condiciones climáticas de la zona (cuantificadas por la evapotranspiración de referencia), en lo que se conoce como evapotranspiración. Así, se determinarán las necesidades netas de riego y, según la eficiencia de aplicación de cada sistema de riego en particular, las necesidades brutas de riego o cantidad real de agua a aplicar.

A medida que pasa el tiempo y se produce evapotranspiración, el déficit de agua en el suelo o cantidad de agua extraída será mayor. El momento de regar será a juicio del regante, pero existe un nivel de referencia que no es aconsejable sobrepasar para mantener una máxima producción del cultivo, el nivel de agotamiento permisible. En cualquier caso dependiendo del tipo de riego y de la estrategia a seguir, el momento de riego puede ser diferente. Una mayor cantidad de agua aplicada no garantiza una mayor producción.

Usando valores medios de evapotranspiración de referencia se puede concretar la estrategia de riego elegida en un calendario medio de riegos, donde aparecerán especificados los días en los que regar y la cantidad de agua a aplicar, lo que permite no sólo programar los riegos sino otra serie de labores u operaciones propias del cultivo ■

Unidad Didáctica 6. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

AUTOEVALUACIÓN

1. Para una correcta programación de los riegos es necesario conocer el estado de desarrollo del cultivo y las características físicas del suelo en el que está implantado, sin embargo no es preciso tener información precisa de la climatología de la zona.
Verdadero / Falso
2. La unión de la evaporación de agua desde el suelo y la transpiración desde las plantas, evapotranspiración, depende básicamente de
 - a) La climatología de la zona
 - b) La calidad del agua de riego
 - c) El cultivo
 - d) La climatología de la zona y el cultivo
3. Para determinar el valor de la evapotranspiración de referencia se utiliza siempre el mismo cultivo, por lo que su valor solo dependerá de la climatología de la zona.
Verdadero / Falso
4. Para la mayor parte de los cultivos anuales el coeficiente de cultivo es máximo en fase
 - a) Media
 - b) Desarrollo
 - c) Maduración
 - d) Inicial
5. Cuando se trata de realizar un balance de agua en el suelo con vistas a programar los riegos, la zona del suelo que realmente interesa es
 - a) La que está en contacto con la atmósfera
 - b) La que se encuentra bajo las raíces del cultivo
 - c) La más próxima al tallo de las plantas
 - d) La que está ocupada por las raíces del cultivo
6. Cuando no se precisa agua para lavado de sales, el cálculo de las necesidades de riego brutas se realiza a partir de las necesidades netas de riego y de
 - a) La evapotranspiración
 - b) La eficiencia de aplicación del riego
 - c) La lámina requerida
 - d) La lámina aplicada
7. El nivel de humedad entre el límite superior y el límite inferior por debajo del cual la planta comienza a sufrir disminuciones en la actividad fotosintética, y puede repercutir en la producción, se denomina
 - a) Déficit de agua en el suelo
 - b) Tiempo de riego
 - c) Riego deficitario
 - d) Nivel de agotamiento permisible
8. Un nivel de agotamiento permisible entre 0.6 y 0.8 suele emplearse muy frecuentemente, sin embargo no debe ser superior a 0.5
 - a) Si el cultivo tiene alto valor comercial
 - b) Cuando aumenta el déficit de agua en el suelo
 - c) Si disminuye la evapotranspiración
 - d) Cuando la profundidad de raíces es mayor de 1 metro

RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES

Unidad Didáctica 1

1. d
2. c
3. c
4. b
5. b
6. Verdadero
7. d
8. Falso
9. Falso

Unidad Didáctica 2

1. Verdadero
2. d
3. c
4. a
5. b
6. b
7. Falso
8. c
9. Falso

Unidad Didáctica 3

1. Falso
2. c
3. b
4. b
5. c
6. d
7. c
8. Verdadero

Unidad Didáctica 4

1. d
2. c
3. Falso
4. c
5. d
6. a
7. b
8. a

Unidad Didáctica 5

1. Falso
2. d
3. Verdadero
4. b
5. a
6. c
7. b
8. c
9. Verdadero

Unidad Didáctica 6

1. Falso
2. d
3. Verdadero
4. a
5. d
6. b
7. d
8. a

GLOSARIO

Acuífero. Capa del subsuelo que tiene capacidad suficiente para almacenar agua en su interior, y permitir su movimiento hacia otras zonas o cederla cuando se efectúa un sondeo.

Cabecera. En el riego por superficie, zona de la parcela donde se aplica el agua.

Ciclo hidrológico. Movimiento continuo del agua en el planeta (en los tres estados, sólido, líquido y vapor) en el que el agua se evapora desde fuentes superficiales, cae por precipitación y discurre de nuevo en cauces superficiales o subterráneos.

Coefficiente de cultivo. Coeficiente que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que éstas se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. Se utiliza en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

Cola. En el riego por superficie, zona de la parcela donde el agua llega más tarde.

Concentración. Cantidad de un elemento por una unidad de volumen de agua. Suele expresarse en gramos por litro o en miligramos por litro (partes por millón, ppm).

Cultivo anual. Aquellos que permanecen en el suelo sólo una campaña de cultivo.

Déficit de agua en el suelo. Se denomina así a la cantidad de agua que el sistema suelo-planta extrae desde el último riego, siendo mayor a medida que pasa el tiempo. Vuelve a ser cero cuando se efectúa un nuevo riego.

Densidad aparente. Es la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen que ocupa. Normalmente se mide en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

Drenar. Referido al agua del suelo, dejar que se elimine libremente por gravedad sin realizar ninguna presión o succión.

Eficiencia. Es la relación entre la cantidad de agua que queda en la zona ocupada por las raíces y la cantidad de agua que se aplica con el riego.

Emisor. Elemento destinado a aplicar el agua al suelo en un sistema de riego localizado.

Erosión. Arranque, transporte y depósito de partículas del suelo, provocada por factores externos como el agua y el viento. En el caso que nos ocupa es provocada por el agua de riego.

Escorrentia. Es el agua aplicada con un determinado sistema de riego que no se infiltra en el suelo, escurriendo sobre su superficie y por lo tanto perdiéndose.

Estomas. Son unas células especiales, situadas en la superficie de las hojas de las plantas, que les permite evacuar el vapor de agua en el proceso de transpiración e introducir en ellas el anhídrido carbónico (CO_2) del aire, necesario para realizar la fotosíntesis.

Eutrofización. Proceso por el cual la vegetación acuática o de ribera se desarrolla excesivamente al contener el agua grandes cantidades de nitrógeno y fósforo, principalmente.

Evaporación. Proceso por el cual el agua que existe en las capas más superficiales del suelo, y principalmente la que está en contacto directo con el aire exterior, pasa a la atmósfera en forma de vapor.

Evapotranspiración. Es el término con el que se cuantifican de forma conjunta los procesos de evaporación directa de agua desde la superficie del suelo y la transpiración del vapor de agua desde la superficie de las hojas.

Evapotranspiración de referencia. Es la evapotranspiración que produce una superficie extensa de hierba que cubre totalmente el suelo, con una altura de unos 10–15 centímetros, sin falta de agua y en pleno crecimiento. Con ella se evalúan las condiciones climáticas de la zona a la hora de calcular la evapotranspiración de un cultivo.

Explicación. Operación con la cual se consigue que el suelo quede perfectamente horizontal y alisado o con una pendiente uniforme en toda su superficie.

Filtración profunda. Cantidad de agua de riego que después de haberse infiltrado en el suelo no puede ser retenida por éste y pasa hasta zonas situadas bajo la zona de raíces. Es, por lo tanto, agua perdida.

Fotosíntesis. Proceso vital que ocurre en las plantas por el que las sustancias inorgánicas que extraen del suelo disueltas en agua (nutrientes minerales) pasan a ser sustancias orgánicas directamente aprovechables, contribuyendo así sus procesos de crecimiento y formando parte de su estructura.

Fracción de lavado. Es el tanto por uno de las necesidades de lavado, es decir, el porcentaje que representan las necesidades dividido por 100.

Impacto ambiental negativo. Efecto perjudicial que el riego provoca en el medio ambiente o natural circundante.

Impacto ambiental positivo. Efecto beneficioso que el riego provoca en el medio ambiente o natural circundante.

Intervalo de humedad disponible. Cantidad de agua que teóricamente pueden extraer las plantas, correspondiente a la diferencia de humedades entre el límite superior y el límite inferior.

Lámina de agua aplicada. Es la cantidad de agua correspondiente a las necesidades brutas de riego, expresada en altura de la lámina de agua por metro cuadrado de superficie.

Lámina de agua requerida. Es la cantidad de agua correspondiente a las necesidades netas de riego, expresada en altura de la lámina de agua por metro cuadrado de superficie.

Lavado de sales. Operación con la cual se aporta con el riego una cantidad de agua extra que disuelve las sales en exceso, generando una filtración profunda que hace que las sales pasen a capas más profundas del suelo evitando así que afecten negativamente al cultivo.

Límite inferior. Contenido de humedad del suelo para el cual las raíces de las plantas no pueden extraer el agua. Depende fundamentalmente del tipo de suelo. También se conoce como punto de marchitamiento permanente.

Límite superior. Es el contenido de humedad del suelo que se consigue dejando drenar libremente un suelo que se ha saturado, es decir, el máximo contenido de agua que el suelo puede retener. Depende del tipo de suelo y también se conoce como capacidad de campo.

Lixiviación o lavado de nitratos. Proceso por el cual el nitrato del suelo se mueve con el agua de riego hacia capas profundas del suelo, pasando a formar parte de las aguas subterráneas o superficiales.

Necesidades brutas de riego. Cantidad de agua que realmente ha de aplicarse en un riego como consecuencia de tener en cuenta la eficiencia de aplicación del riego.

Necesidades de lavado. Cantidad de agua extra que ha de aplicarse con el riego para realizar un lavado adecuado de las sales del suelo que se encuentran en exceso. Se expresa como un porcentaje del agua total aplicada con el riego.

Necesidades netas de riego. Cantidad de agua que necesita el cultivo como consecuencia de la diferencia entre el agua que éste evapotranspira y la cantidad de agua aportada por la lluvia.

Nivel de agotamiento permisible. Es un nivel de humedad del suelo con el que cada tipo de cultivo no sufre disminución en la fotosíntesis y por lo tanto no afecta negativamente a la producción. Normalmente se expresa como un porcentaje del Intervalo de humedad disponible.

Nutrientes. Elementos o compuestos químicos presentes en el suelo o aplicados por el hombre, que las plantas absorben disueltos en agua formando parte de su "alimentación".

Patógeno. Organismo vivo que es perjudicial para las plantas.

Porosidad. Propiedad física del suelo que indica el volumen de poros con respecto a un volumen de muestra de suelo.

Precipitados. Acumulaciones de ciertos elementos o compuestos químicos que se forman en el líquido en el que se encuentran disueltos haciendo que tiendan a depositarse en tal líquido.

Precipitar. Acción por la cual las partículas de un elemento químico que se encuentra disuelto en un líquido se unen, formando precipitados.

Red de drenaje. Conjunto de tuberías y piezas especiales que, enterrados en la parcela de riego, permiten evacuar el exceso de agua que constituye la filtración profunda.

Relación de adsorción de sodio (RAS). Índice con el que se evalúa la relación entre la cantidad de sodio y la suma de calcio y magnesio que existe en el suelo. Cuanto mayor sea el RAS mayor será la dispersión de las partículas del suelo lo que genera problemas de degradación del suelo y sellado de poros.

Sales. Formas en que se encuentran en el suelo los compuestos nutritivos para las plantas. En contacto con el agua tienden a disolverse, quedando así disponibles para ser absorbidas.

Salinidad. Medida del contenido de sales.

Soluble. Cualquier elemento o compuesto que es capaz de disolverse en un líquido.

Suelo saturado. Es el que tiene todos los poros llenos de agua y no es capaz de infiltrar mayor cantidad.

Textura. Propiedad física del suelo con la que se refleja la proporción de partículas minerales de arena, limo y arcilla que existen en su fracción sólida.

Tiempo de riego. Es el tiempo que ha de durar un riego para aplicar en la parcela de cultivo la cantidad de agua necesaria para cubrir las necesidades brutas de riego.

Tolerancia a la salinidad. Es la capacidad que tiene el cultivo de soportar un exceso de sales en la zona de raíces. Se cuantifica con el valor de conductividad en el agua del suelo que cada cultivo puede soportar sin producirse disminuciones en su rendimiento.

Transpiración. Proceso por el cual gran parte del agua que la planta extrae del suelo pasa a la atmósfera en forma de vapor a través de los estomas.

Unidad operacional. Superficie de la parcela de cultivo que se riega de una sola vez.

Uniformidad. Un riego es uniforme cuando gran parte de los puntos de la parcela reciben cantidades de riego similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila, R.; Cabello, A.; Ortiz, F.; Lirola, J.; Martín, A. (1996). **Agua, Riego y Fertirrigación**. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Corominas Masip, J. (1996). **El Regadío en el Umbral del Siglo XXI: Plan Nacional de Regadíos y Plan de Regadíos de Andalucía**. Ingeniería del Agua. Vol. 3, 4, pp 57-76.
- Corominas Masip, J. Servicio de Infraestructuras Agrarias. Dirección General de Desarrollo Rural y Estructuras Agrarias. Consejería de Agricultura Pesca y Alimentación. Junta de Andalucía.
- El Libro del Agua**. (1985). Secretaría General Técnica. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- Faci González, J.M.; Playan Jubillar, E. (1994). **Principios Básicos del Riego por Superficie**. Hoja Divulgadora 10-11/94 HD. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Fernández R.; Oyonarte N.; Mateos L. (1998). (CD-Rom). **Curso de Riego por Superficie**. Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Guadalquivir. Sevilla.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1996). **Teoría y Práctica del Riego**. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- Fuentes Yagüe, J.L.; Cruz Roche, J. (1990). **Curso Elemental de Riego**. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Doorenbos J.; Pruitt, W.O. (1977). **Las Necesidades de Agua en los Cultivos**. FAO, nº 24. Roma.
- Melvyn, K. (1986). **Surface Irrigation. Systems and Practice**. Cranfield Press. England.
- Oyonarte N.; Fernández R.; Mateos L. (1998). (CD-Rom). **Curso de Riego por Aspersión**. Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Guadalquivir. Sevilla.
- Oyonarte N.; Fernández R.; Mateos L. (1998). (CD-Rom). **Curso de Riego Localizado**. Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Guadalquivir. Sevilla.
- Pizarro Cabello, F. (1987). **Riegos Localizados de Alta Frecuencia**. Mundi Prensa. Madrid.
- Ramos Mompó C.; Ocio Armentia J.A. (1992). **La Agricultura y la Contaminación de la Aguas por Nitrato**. Hoja Divulgadora 7/92 HD. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Reche Mármol, J. (1993). **Limpieza y Mantenimiento de las Instalaciones de Riego por Goteo**. Hoja Divulgadora 8-9/93 HD. Secretaría General de Estructuras Agrarias. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.

Manual de Riego para Agricultores

MÓDULO 1

FUNDAMENTOS DEL RIEGO

CUADERNO DE EJERCICIOS

EJERCICIOS

UNIDAD DIDÁCTICA 1. EL AGUA Y EL RIEGO

Ejercicio nº 1

La disponibilidad de agua en una zona está en función de las características de las cuencas hidrográficas que existan en ella. En la superficie de Andalucía existen 4 cuencas, Sur, Guadiana, Guadalquivir y Segura; sin embargo, una de ellas ocupa mucha mayor superficie y aporta gran parte de los recursos hídricos que el resto. ¿Cuál?

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

Ejercicio nº 2

¿Cuál es el origen de las aguas con las que se riega la mayor parte de la superficie en regadío de Andalucía, superficial, subterráneo, trasvase, retorno o depuración?

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

Ejercicio nº 3

Aunque por lo general la agricultura de regadío provoca impactos medioambientales negativos, no debe ignorarse que existen ciertos regadíos tradicionales que producen un impacto favorable. ¿En qué sentido?

Referencia: Apartado 1.4. Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego.

Ejercicio nº 4

La Agricultura de regadío es actualmente la actividad que mayor cantidad de agua consume tanto en Andalucía como a escala nacional. ¿Podría indicar aproximadamente qué porcentaje de agua, con respecto a las demandas totales, consume la Agricultura de regadío en España?

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

Ejercicio nº 5

Parte del agua consumida por los regadíos procede de bolsas de agua subterráneas que se localizan en capas de suelo con mayor o menor capacidad de almacenamiento. En Andalucía el uso de este agua es predominante en zonas costeras donde, por una excesiva explotación, se degrada tanto la calidad del agua como la disponibilidad. ¿Cómo se denominan tales bolsas de agua subterránea?

Referencia: Apartado 1.2. Ciclos y usos del agua.

Ejercicio nº 6

Aunque en Andalucía la superficie de regadío representa menos del 20% de la superficie total agraria, ¿cuánto supone la producción de la agricultura de regadío frente al total de la producción final agraria?

Referencia: Apartado 1.4. Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego.

UNIDAD DIDÁCTICA 2. MÉTODOS DE RIEGO

Ejercicio nº 1

Los métodos de riego engloban las diferentes formas de aplicar el agua al suelo. ¿Cuáles son los tres métodos utilizados actualmente en todo el mundo?

Referencia: Apartado 2.1. Introducción.

Ejercicio nº 2

Se pretende poner en riego un olivar implantado en una parcela con suelo franco y pendiente moderada, donde la cantidad de agua disponible es bastante escasa. Sin tener en cuenta otros factores, indicar cuál podría ser el método de riego más apropiado sabiendo que se dispone de un capital suficiente para su instalación y mantenimiento. Justifique brevemente la respuesta.

Referencia: Apartado 2.1. Introducción. Apartado 2.4. Riego localizado.

Ejercicio nº 3

¿Cuál sería el orden de mayor a menor superficie regada en Andalucía correspondiente a cada método de riego, localizado, aspersión y superficie?

Referencia: Apartado 2.1. Introducción.

□ Ejercicio nº 6

El nitrato es un nutriente esencial para las plantas, pero arrastrado por el agua con el manejo del riego, puede pasar a reservas que posteriormente podrán ser utilizadas para el consumo humano. Un exceso de nitrato en este agua puede ser perjudicial para la salud, por lo que la Organización Mundial de la Salud ha impuesto los llamados límite recomendado y máximo de nitrato en esas aguas. ¿Cuáles son ambos límites?

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

□ Ejercicio nº 7

El vertido de agua de escorrentía que arrastre cantidades importantes de nitrato a cauces naturales, puede provocar un crecimiento desmesurado de la vegetación ribereña que tiene importantes consecuencias medioambientales, como la muerte de fauna acuática, entre otras. ¿Cómo se denomina este fenómeno? Cite otros efectos que también puede ocasionar dicho fenómeno.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

UNIDAD DIDÁCTICA 4

EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA

□ Ejercicio nº 1

Un agricultor tiene implantado un cultivo de remolacha sobre un suelo arcilloso. Se recogió una muestra de suelo y se determinó una densidad aparente de 1.22 g/cm^3 y una humedad gravimétrica del 29%.

- ¿Cuál será la humedad volumétrica del suelo teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la muestra?
- Calcular la altura de la lámina de agua (que estaría en 1 metro de profundidad del suelo) correspondiente a la humedad volumétrica calculada en el apartado anterior.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

□ Ejercicio nº 2

En una parcela de riego se aplican $1.780 \text{ m}^3/\text{ha}$ (metros cúbicos por hectárea) de agua. Tras el riego se han medido $353 \text{ m}^3/\text{ha}$ de agua perdidas por escorrentía y $18 \text{ m}^3/\text{ha}$ perdidas por filtración profunda. Calcule la relación de escorrentía y la relación de filtración de ese riego.

Referencia: Apartado 4.5. Pérdidas de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación.

□ Ejercicio nº 3

Un agricultor dispone de una parcela muy extensa en la que existen dos tipos de suelos diferentes: uno franco-arenoso y otro franco. La humedad volumétrica que corresponde al límite superior y al inferior de cada tipo de suelo es la siguiente:

Suelo	Límite superior (Hum. Vol.)	Límite inferior (Hum. Vol.)
Franco-arenoso	32%	22%
Franco	39%	23%

Indicar cuál es la diferencia entre el Intervalo de Humedad Disponible (IHD) de ambos suelos e indicar si sería adecuado (teniendo en cuenta el diferente contenido de agua que pueden almacenar los dos suelos) implantar un solo cultivo en toda la parcela.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

□ Ejercicio nº 4

Un técnico se encuentra evaluando la eficiencia de aplicación de los riegos de una comunidad de regantes. Durante el riego de una parcela realiza las siguientes medidas:

- Cantidad de agua aplicada con el riego: 1.856 m³/ha
- Cantidad de agua de escorrentía: 122 m³/ha
- Cantidad de agua de filtración profunda: 83 m³/ha

Indicar cuál sería el procedimiento para calcular la eficiencia de aplicación (Ea) del riego y su valor.

Referencia: Apartado 4.6. Calidad del riego: eficiencia, uniformidad y déficit.

□ Ejercicio nº 5

Se desea saber si con el agua de riego se consigue llenar toda la zona ocupada por las raíces del cultivo. Tras diversas mediciones durante uno de los riegos se determinó que la cantidad aplicada a dicha zona fue de 1.736 m³/ha mientras la cantidad agua necesaria para llenarla era de 2.140 m³/ha. Indique qué índice evalúa la falta de agua en la zona de raíces y calcularlo en este caso.

Referencia: Apartado 4.6. Calidad del riego: eficiencia, uniformidad y déficit.

□ Ejercicio nº 6

Un parte meteorológico indica que en la zona han caído 32 litros por metro cuadrado de lluvia en las últimas 24 horas. Expresar esa cantidad en altura de la lámina de agua que se habrá infiltrado en el suelo y calcular la cantidad de metros cúbicos que se habrán aportado a una hectárea.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

Ejercicio nº 7

Las plantas absorben el agua del suelo a través de las raíces y es empleada fundamentalmente en tres procesos: fotosíntesis, crecimiento y transpiración. Indicar cuál de los tres procesos es el que consume, con mucha diferencia, la mayor parte del agua absorbida.

Referencia: Apartado 4.4. El agua en la planta. Uso del agua por la planta.

Ejercicio nº 8

Indique cuál de los siguientes aparatos de medida indirecta de la humedad del suelo consiste en un emisor y receptor de impulsos electromagnéticos: Sonda de neutrones; TDR; Tensiómetro.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

Ejercicio nº 9

Existe un nivel de humedad en cada suelo por debajo del cual las raíces de las plantas no pueden extraer el agua, denominado límite inferior. Indique qué otro nombre recibe ese mismo nivel de humedad del suelo. ¿Qué otro nombre recibe el límite superior?

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

UNIDAD DIDÁCTICA 5. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

Ejercicio nº 1

Utilizando un conductivímetro portátil, un agricultor ha medido la conductividad eléctrica de su agua de riego, resultando ser de 1.26 dS/m (deciSiemens por metro). Indique cuál será el Contenido Total de Sales de dicha agua, expresado en g/L (gramos por litro).

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

Ejercicio nº 2

Una agricultora desea conocer con precisión la calidad de su agua de riego, por lo que envía una muestra al laboratorio para ser analizada. El laboratorio da los resultados y las cantidades de sales medidas son las siguientes:

Contenido (mg/L)			
Carbonatos:	1.8	Magnesio:	32
Bicarbonatos:	452	Potasio:	2.3
Cloruros:	430	Sodio:	520
Sulfatos:	46	Boro:	0.68
Calcio:	123	Hierro:	0.48

Calcule cuál sería el Contenido Total de Sales e indique si en función de ese indicador el agua puede provocar riesgo de salinización del suelo.

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

Ejercicio nº 3

Con un riego por aspersión se van a aplicar 1.650 m³/ha a una parcela, de los cuales se pretende que 132 sirvan para lavado de las sales. ¿Qué porcentaje representan, por tanto, las necesidades de lavado en ese riego?

Referencia: Apartado 5.6. Lavado de sales.

Ejercicio nº 4

Ordene los siguientes cultivos extensivos de mayor a menor tolerancia a salinidad: Remolacha; Maíz; Cebada; Algodón; Soja; Trigo.

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

Ejercicio nº 5

Determinados suelos presentan problemas de infiltración de agua al producirse un sellado o taponamiento de los poros tras el deterioro de la estructura de dichos suelos. Indique qué elemento es generalmente el responsable de este efecto y qué índice suele usarse para evaluar la posibilidad de problemas de infiltración.

Referencia: Apartado 5.4. Problemas de infiltración.

Ejercicio nº 6

Un problema asociado generalmente a una mala calidad del agua de riego es la obturación de emisores de riego localizado. Existen ciertos valores de pH y dureza a partir de los cuales, cuando se dan a la vez, los problemas de obturación pueden ser frecuentes y muy importantes. ¿Cuáles son dichos valores?

Referencia: Apartado 5.5. Otros criterios de calidad.

□ Ejercicio nº 7

Para recoger una muestra de agua de riego para su análisis es conveniente tener en cuenta si proviene de pozo o de una fuente superficial (embalse, río, etc.). Un agricultor que tiene experiencia en la toma de muestras de agua ha tomado 5 muestras diferentes, las ha mezclado y finalmente a llenado una botella con agua de la mezcla. Indique si cree que habrá tomado la muestra de agua superficial o de pozo.

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

UNIDAD DIDÁCTICA 6. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

□ Ejercicio nº 1

La cantidad de agua que las plantas extraen del suelo varía según la fase de desarrollo en que éstas se encuentren, inicial, desarrollo, media o maduración. ¿Cuál es el coeficiente con que se evalúan dichas variaciones en la evapotranspiración (ET)?

Referencia: Apartado 6.2. Necesidades de agua de los cultivos.

□ Ejercicio nº 2

Se desea saber, haciendo uso de valores típicos de ETr en el valle medio del Guadalquivir, cuál es la evapotranspiración (ET) diaria durante el mes de junio de un cultivo de algodón que se encuentra en la fase media y está situado en las proximidades de Córdoba.

NOTA: Para obtener valores tanto de ETr en el valle medio del Guadalquivir como de coeficientes de cultivo en algodón, ver las tablas incluidas en la Unidad Didáctica 6 "Programación de Riegos" del Módulo 1 "Fundamentos del Riego".

Referencia: Apartado 6.2. Necesidades de agua de los cultivos.

□ Ejercicio nº 3

Un agricultor tiene una explotación de melocotoneros de 7 años en la vega baja del Guadalquivir en la provincia de Jaén, y quiere saber la cantidad de agua que teóricamente está disponible para la planta, en milímetros de altura de agua. Sabe que el suelo es franco-arcilloso con un Intervalo de Humedad Disponible de 195 mm de agua por metro de profundidad de suelo, y las raíces del melocotonero tienen una profundidad de 0,8 metros.

Una vez calculado el apartado anterior, ¿cuál sería la humedad correspondiente a un Nivel de Agotamiento Permissible de 0,65, también en milímetros?

Referencia: Apartado 6.3. El agua en el suelo en relación con el riego.

□ Ejercicio nº 4

Calcular la lámina de agua aplicada en un riego (necesidades brutas), expresada en mm de agua y en m^3/ha , a un cultivo de remolacha situado en la provincia de Córdoba. El método de riego utilizado es aspersión. Los datos que a continuación se detallan corresponden al mes de mayo.

Lámina de agua requerida = 120 mm.

Eficiencia de aplicación del sistema = 75%.

Necesidades de lavado = 10%.

NOTA: Para calcular la lámina aplicada en un riego se necesita saber la lámina de agua requerida, la eficiencia de aplicación y la fracción de lavado. La fracción de lavado es el tanto por uno de las necesidades de lavado y se calcula dividiendo las necesidades de lavado entre 100.

Referencia: Apartado 6.4. Estimación de las necesidades de riego usando el método del balance de agua.

□ Ejercicio nº 5

Se desea elaborar un calendario medio de riegos durante los 20 primeros días del mes de junio, para una plantación de melocotoneros en una finca situada en el término Municipal de Córdoba con los siguientes datos:

Localización: Córdoba.

Cultivo: melocotoneros.

Método de riego: riego por aspersión.

Eficiencia de aplicación: 85%.

Suelo: franco con un Intervalo de Humedad Disponible de 165 milímetros por metro de profundidad de suelo.

Nivel de Agotamiento Permisible (NAP): 0.5

En este ejemplo práctico se va a suponer que el día 7 de Junio caen $10 L/m^2$ de lluvia. Se establece el criterio de regar cuando el Déficit de Agua en el Suelo (DAS) alcance el Nivel de Agotamiento Permisible y aplicar las necesidades brutas de riego. Si el día 7 de Junio cayeron 10 mm de lluvia, se regaría el día determinado por el calendario pero aplicando la diferencia entre el agua a aplicar en el riego y el agua de lluvia caída.

Pasos a seguir para resolver este ejercicio:

Para calcular los valores de Evapotranspiración diaria (ET) hay que saber la Evapotranspiración de referencia (ET_r) y el coeficiente de cultivo (K_c), valores que se encuentran en tablas en la Unidad Didáctica 6 "Programación de Riegos" del Módulo 1 "Fundamentos del Riego".

Los valores de Déficit de Agua en el Suelo (DAS) se calculan sumando la evapotranspiración de ese día a la que hay acumulada del día anterior.

Para los valores de profundidad radicular, habrá que remitirse a las tabla de la Unidad Didáctica 6 del Módulo 1. Para cada profundidad radicular se calcula la cantidad de agua en el suelo (en milímetros de altura) que supone el Nivel de Agotamiento Permisible (NAP) para lo cual se necesita saber: profundidad de raíces, Intervalo de Humedad Disponible (IHD) y el Nivel de Agotamiento Permisible (NAP).

Cuando en la tabla que se elabore exista una fila donde el Déficit de Agua en el Suelo (DAS) sea mayor que el Nivel de Agotamiento Permisible (NAP) será necesario regar ese día. La cantidad de agua a aplicar se determinará calculando las necesidades brutas de riego a partir de los datos de Necesidades Netas (N_n), que en este caso coinciden con el Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), y de la Eficiencia de aplicación (E_a).

A partir del día que se riega, dado que el déficit de agua en el suelo vuelve a ser cero, se comienza a calcular

el nuevo Déficit de Agua en el Suelo según la ET que se produzca cada día. El proceso continúa igual hasta el final de la campaña. Como en este caso se han producido lluvias, se mantiene la fecha de riego y se resta el agua de lluvia que ha caído a la cantidad de agua a aplicar en el riego.

Resumiendo, los pasos a seguir serán:

- Cálculo de la Evapotranspiración.
- Cálculo del Déficit de agua en el Suelo.
- Nivel de Agotamiento Permisible (en este caso).
- Comparar el Déficit de Agua en el suelo con el Nivel de Agotamiento Permisible.
- Necesidades brutas.

Nota: Utilice la tabla adjunta para completar el calendario de riegos.

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-junio							
02-junio							
03-junio							
04-junio							
05-junio							
06-junio							
07-junio							
08-junio							
09-junio							
10-junio							
11-junio							
12-junio							
13-junio							
14-junio							
15-junio							
16-junio							
17-junio							
18-junio							
19-junio							
20-junio							

Referencia: Apartado 6.6. Calendarios medios de riego.

Ejercicio nº 6

Una plantación de ciruelos de alto valor comercial se encuentra en fase próxima a la recolección, y se desea que los árboles no sufran falta de agua en ningún instante. Aunque se ha adoptado para la programación de los riegos un Nivel de Agotamiento Permisible suficientemente bajo, ¿qué estrategia de riego sugeriría para asegurar que las raíces de los ciruelos no van a tener ningún problema para extraer el agua del suelo?

Referencia: Apartado 6.5. Estrategias de riego.

□ Ejercicio nº 7

Para una correcta programación de riegos sería preciso contar con valores de ETr y precipitación reales, obtenidos en la zona y recientes, con los que se podría realizar una programación en tiempo real. Sin embargo esto es muy poco frecuente, aunque existen organismos que ofrecen este tipo de datos así como orientación y recomendaciones en materia de riegos. ¿De que tipo de entidades u organismos se está hablando?

Referencia: Apartado 6.5. Estrategias de riego.

SOLUCIONES

UNIDAD DIDÁCTICA 1. EL AGUA Y EL RIEGO

Ejercicio nº 1

La cuenca hidrográfica del Guadalquivir, que ocupa cerca de un 60% de la superficie total andaluza.

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

Ejercicio nº 2

De origen superficial, ya que unas 547.000 has de las 800.000 regadas en Andalucía, es decir en torno a un 70%, se riegan con aguas superficiales.

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

Ejercicio nº 3

En general se considera que incrementan la calidad del paisaje, mejoran el impacto visual del entorno e incrementan el valor del medio rural.

Referencia: Apartado 1.4. Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego.

Ejercicio nº 4

En torno al 80%. El resto se divide en el uso doméstico (14%) y en el industrial (6%).

Referencia: Apartado 1.3. El agua como recurso limitado.

❑ Ejercicio nº 5

Acuíferos.

Referencia: Apartado 1.2. Ciclos y usos del agua.

❑ Ejercicio nº 6

Más del 50%, en torno al 53%. De igual forma, genera más del 50% de empleo total agrario.

Referencia: Apartado 1.4. Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego.

UNIDAD DIDÁCTICA 2. MÉTODOS DE RIEGO

❑ Ejercicio nº 1

Riego por superficie, riego por aspersión y riego localizado.

Referencia: Apartado 2.1. Introducción.

❑ Ejercicio nº 2

Riego localizado, ya que es el método más eficiente en el uso del agua. Además, permite implantar instalaciones en terrenos con topografías onduladas y con pendientes moderadas. De igual forma, cuando se pueda asumir una inversión importante en equipos, es el método más indicado.

Referencia: Apartado 2.1. Introducción. Apartado 2.4. Riego localizado.

❑ Ejercicio nº 3

Riego por superficie con unas 330.000 hectáreas, riego localizado con algo menos de 300.000 hectáreas y finalmente riego por aspersión con unas 175.000 hectáreas.

Referencia: Apartado 2.1. Introducción.

Ejercicio nº 4

Riego por superficie. Incluye gran variedad de tipos de sistemas diferentes en los que el agua se aplica sobre el suelo y escurre sobre él.

Referencia: Apartado 2.2. Riego por superficie.

Ejercicio nº 5

Riego por superficie, donde se requieren terrenos con escasa o nula pendiente, gran disponibilidad de agua y mano de obra que maneje los riegos adecuadamente.

Referencia: Apartado 2.2. Riego por superficie.

Ejercicio nº 6

En riego por aspersión los aspersores deben estar situados sobre el campo de manera que la lluvia que aplican cubra toda la superficie de cultivo. Si sólo se trata de aplicar agua en una zona del suelo próxima a la planta se emplea el riego localizado.

Referencia: Apartado 2.3. Riego por aspersión.

Ejercicio nº 7

Riego por aspersión, con el que se pueden aplicar riegos ligeros con facilidad independientemente del tipo de suelo.

Referencia: Apartado 2.3. Riego por aspersión.

Ejercicio nº 8

Riego localizado.

Referencia: Apartado 2.4. Riego localizado.

Ejercicio nº 9

Con él se aplica el agua sólo en una zona determinada del suelo, mientras que con el riego por superficie o aspersión se aplica agua a la totalidad de la superficie cultivada.

Referencia: Apartado 2.4. Riego localizado.

UNIDAD DIDÁCTICA 3.

IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LOS REGADÍOS

Ejercicio nº 1

En general aumentan el valor paisajístico del entorno, principalmente aquellos regadíos tradicionales de riego por superficie. Otro impacto positivo supone el aumento de la biodiversidad, y como consecuencia de ello el desarrollo de actividades turísticas, cinegéticas o deportivas en el medio rural.

Referencia: Apartado 3.2. Efectos ambientales positivos relacionados con los regadíos.

Ejercicio nº 2

Obras para el almacenamiento de agua como balsas, presas, embalses, depósitos, etc.; obras para el transporte y distribución del agua, canales, estructuras de distribución, control y protección, etc.; obras complementarias para facilitar accesos, como caminos, para albergar maquinaria como edificaciones, redes de desagüe, etc.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

Ejercicio nº 3

La filtración profunda, con la que el agua arrastra elementos y compuestos químicos hacia capas de suelo profundas, y la escorrentía, que contamina las aguas superficiales donde se vierte, pudiendo acarrear sedimentos y otros elementos.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

Ejercicio nº 4

En el riego por superficie, ya que el agua se aplica en forma de chorros o avenidas que pueden tener gran energía y romper la estructura del suelo, erosionando las partículas sólidas y arrastrándolas con la corriente.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

Ejercicio nº 5

En cabecera de parcela, donde la velocidad del agua y su energía es mayor, el suelo se descarna y puede quedar muy deteriorado. En cola de parcela, por el contrario, los caudales que fluyen son menores y el sedimento que lleva el agua se deposita, sella la superficie y puede provocar problemas de infiltración en riegos posteriores.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

❑ Ejercicio nº 6

El límite recomendado es de 50 miligramos de nitrato por litro de agua y el máximo de 100 miligramos por litro.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

❑ Ejercicio nº 7

Eutrofización. Suele ocasionar dificultad para que el agua del cauce circule adecuadamente, provoca efectos visuales muy antiestéticos y limita el uso del cauce para fines recreativos.

Referencia: Apartado 3.3. Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.

UNIDAD DIDÁCTICA 4.

EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA

❑ Ejercicio nº 1

a) La humedad volumétrica de una muestra de suelo se puede calcular de forma muy simple sabiendo la humedad gravimétrica (en %) y multiplicándola por la densidad aparente. Así,

$$\text{Humedad volumétrica} = \text{Humedad gravimétrica} \times \text{densidad aparente} = 29 \times 1.22 = 35.4\%$$

b) Si el agua contenida en 1 metro de profundidad de suelo se coloca en forma de lámina, una humedad volumétrica del 35.4% ó 0.345 representa una altura de

$$35.4\% \Rightarrow 0.354 \text{ metros} = 354 \text{ milímetros}$$

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

❑ Ejercicio nº 2

Ambos índices, relación de escorrentía y relación de filtración, proporcionan información sobre la cantidad de agua perdida por cada uno de los dos procesos con respecto al total de agua aplicada. Se calculan utilizando expresiones muy sencillas:

$$\text{Relación de escorrentía} = \frac{\text{cantidad perdida por escorrentía}}{\text{cantidad de agua aplicada}} = \frac{353}{1.780} = 0.198 = 19.8\%$$

$$\text{Relación de filtración} = \frac{\text{cantidad perdida por filtración profunda}}{\text{cantidad de agua aplicada}} = \frac{18}{1.780} = 0.010 = 1\%$$

Referencia: Apartado 4.5. Pérdidas de agua en el suelo: escorrentía, filtración profunda y evaporación.

□ Ejercicio nº 3

El Intervalo de Humedad Disponible indica el contenido de agua en el suelo que teóricamente está a disposición para las plantas y se calcula como la diferencia entre la humedad correspondiente al límite superior y la del límite inferior. Se calculará, por tanto, el IHD para cada uno de los dos suelos:

- Franco-arenoso: IHD = 32 – 22 = 10%
- Franco: IHD = 39 – 23 = 16%

Por lo tanto, existe una diferencia de 16 – 10 = 6% de humedad, que en 1 metro de profundidad del suelo sería una lámina de agua de 0.06 metros o 60 milímetros de altura.

Es de suponer que los aportes de agua a la parcela (bien sea por lluvia o mediante el riego) son iguales para los dos tipos de suelo. Por ello, en caso de implantar un mismo cultivo, la cantidad disponible será muy distinta y las plantas que se encuentren en el suelo franco-arenoso agotarán las reservas del suelo antes que las del suelo franco. La diferencia en la producción podría ser importante, por lo que no sería aconsejable.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

□ Ejercicio nº 4

La eficiencia de aplicación indica la relación entre el agua que pasa a la zona de raíces y puede ser absorbida por las plantas, por lo tanto agua aprovechada, y el agua total aplicada con el riego. Cuanto mayor es la eficiencia de aplicación, mejor habrá sido el uso del agua durante el riego.

Se calcula restando a la máxima eficiencia posible (100%) la relación de escorrentía y la relación de filtración, ya que estas son las pérdidas de agua en el suelo. Por lo tanto lo primero será calcular ambas relaciones:

$$\text{Relación de escorrentía} = \frac{\text{cantidad perdida por escorrentía}}{\text{cantidad de agua aplicada}} = \frac{122}{1.856} = 0.065 = 6.5\%$$

$$\text{Relación de filtración} = \frac{\text{cantidad perdida por filtración profunda}}{\text{cantidad de agua aplicada}} = \frac{83}{1.856} = 0.045 = 4.5\%$$

$$\text{Eficiencia de aplicación} = 100 - \text{relación de escorrentía} - \text{relación de filtración}$$



$$E_a = 100 - 6.5 - 4.5 = 89\%$$

Referencia: Apartado 4.6. Calidad del riego: eficiencia, uniformidad y déficit.

❑ Ejercicio nº 5

El índice que muestra la relación entre el agua que ha faltado para llenar la zona de raíces y la que se ha aplicado en realidad es el cociente de déficit. Si se denomina a la primera cantidad como agua no aportada y a la segunda como agua necesaria, se calcula con la expresión:

$$\text{Cociente de déficit} = \frac{\text{cantidad no aportada}}{\text{cantidad necesaria}} \times 100 = \frac{2.140 - 1.736}{2.140} \times 100 = \frac{404}{2.140} \times 100 = 18.9\%$$

Es decir, el 18.9% de la zona ocupada por las raíces no recibe el agua necesaria, por lo que las plantas que se encuentren afectadas por una falta de agua pueden tener problemas en su desarrollo y crecimiento normales.

Referencia: Apartado 4.6. Calidad del riego: eficiencia, uniformidad y déficit.

❑ Ejercicio nº 6

Existen dos cantidades equivalentes en lo que se refiere a cantidad de agua por metro cuadrado: litros y altura de agua en milímetros. Eso significa que si han caído 32 L/m² (litros por metro cuadrado) la lámina de agua sería de 32 milímetros de altura.

Una hectárea tiene 10.000 m² (metros cuadrados). Si han caído 32 litros en cada metro cuadrado, en 10.000 se habrán recogido

$$10.000 \times 32 = 320.000 \text{ litros} = 320 \text{ m}^3 \text{ (metros cúbicos)}$$

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

❑ Ejercicio nº 7

La transpiración, o paso del agua desde las hojas (por las células denominadas estomas) hasta la atmósfera en forma de vapor.

Referencia: Apartado 4.4. El agua en la planta. Uso del agua por la planta.

❑ Ejercicio nº 8

TDR. El contenido de humedad del suelo condiciona el tiempo que tarda un impulso electromagnético en recorrer la longitud de las varillas. Midiendo ese tiempo se establece una relación que indica la humedad del suelo.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

Ejercicio nº 9

Punto de marchitamiento permanente.
El límite superior también es conocido como capacidad de campo.

Referencia: Apartado 4.3. El agua en el suelo.

UNIDAD DIDÁCTICA 5. CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

Ejercicio nº 1

El Contenido Total de Sales (CTS) en el agua de riego se calcula fácilmente sabiendo su conductividad eléctrica. La relación es:

$$\text{CTS} = \text{Conductividad eléctrica} \times 0.64$$

por lo tanto, en este caso

$$\text{CTS} = 1.26 \times 0.64 = 0.806 \text{ g/L (gramos/litro)}$$

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

Ejercicio nº 2

El Contenido Total de Sales (CTS) se calcula sumando la cantidad medida de todas las sales que contenga el agua. Por lo tanto,

$$\text{CTS} = 1.8 + 452 + 430 + 46 + 123 + 32 + 2.3 + 520 + 0.68 + 0.48 = 1608.26 \text{ mg/L} \approx 1.61 \text{ g/L}$$

Teniendo en cuenta el criterio que establece la FAO para la aptitud del agua de riego en función del Contenido Total de Sales, el agua podría provocar un riesgo ligero a moderado de salinización del suelo.

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

□ Ejercicio nº 3

Las necesidades de lavado constituyen la cantidad de agua que se destina a lavar las sales. Como 132 de los 1.650 m³/ha son para lavado, esa cantidad representa

$$\frac{132}{1.650} = 0.08 = 8\%$$

Por lo tanto, el 8% del agua aplicada será para lavado de sales y el resto, 92% de riego propiamente dicho.

Referencia: Apartado 5.6. Lavado de sales.

□ Ejercicio nº 4

Cebada (8.0); Algodón (7.7); Remolacha (7.0); Trigo (6.0); Soja (5.0); Maíz (1.7). (Entre paréntesis se indican los valores de tolerancia en dS/m).

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

□ Ejercicio nº 5

El sodio, que dispersa las partículas del suelo que obturan los poros. El índice es la Relación de Adsorción de Sodio.

Referencia: Apartado 5.4. Problemas de infiltración.

□ Ejercicio nº 6

Se considera que esos problemas pueden ocurrir con aguas cuyo pH sea superior a 7 y cuya dureza sea superior a 40–50 grados franceses.

Referencia: Apartado 5.5. Otros criterios de calidad.

□ Ejercicio nº 7

Probablemente de origen superficial, porque en estos casos conviene tomar varias muestras de diferentes sitios, mezclarlas y coger una que sea representativa para enviarla a analizar.

Referencia: Apartado 5.2. El agua de riego y las sales.

UNIDAD DIDÁCTICA 6. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

Ejercicio nº 1

Coeficiente de cultivo (K_c).

Referencia: Apartado 6.2. Necesidades de agua de los cultivos.

Ejercicio nº 2

Para el valle medio y bajo del Guadalquivir se puede estimar una evapotranspiración de referencia (E_{Tr}) para junio de 6 mm/día. De la tabla de coeficientes de cultivo (K_c) para el algodón se obtiene un valor de 1.15 en la fase media. Así pues, la evapotranspiración diaria (ET) será:

$$ET = E_{Tr} \times K_c = 6 \times 1.15 = 6.9 \text{ mm/día}$$

Referencia: Apartado 6.2. Necesidades de agua de los cultivos.

Ejercicio nº 3

La cantidad disponible se calculará teniendo en cuenta la profundidad de la zona de raíces y el Intervalo de Humedad Disponible (que está expresado por metro de profundidad del suelo).

$$IHD \times \text{Profundidad de raíces} = 195 \times 0.8 = \mathbf{156 \text{ milímetros}}$$

Para calcular la humedad correspondiente a un Nivel de Agotamiento Permisible determinado, sólo hay que multiplicar la cantidad teóricamente disponible por el porcentaje que representa el NAP, en este caso:

$$IHD \times \text{Profundidad de raíces} \times \text{NAP} = 195 \times 0.8 \times 0.65 = \mathbf{101.4 \text{ milímetros.}}$$

Referencia: Apartado 6.3. El agua en el suelo en relación con el riego.

Ejercicio nº 4

En el cálculo de las necesidades brutas de riego intervienen las necesidades netas de riego, la eficiencia de aplicación y la fracción de lavado.

La fracción de lavado es el tanto por uno de las necesidades de lavado y se calculará dividiendo estas últimas por 100:

$$\text{Fracción de lavado} = \frac{\text{necesidades de lavado}}{100} = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{Nn}{Ea \times (1 - \text{fracción de lavado})} \times 100 = \frac{120}{75 (1 - 0.1)} \times 100 = 177.8 \text{ mm}$$

Una vez calculada la lámina de agua a aplicar en milímetros, para determinar el agua a aplicar en metros cúbicos por hectárea hay que hacer una serie de operaciones que se describen a continuación:

$$177.8 \text{ mm} = \frac{177.8 \text{ L/m}^2 \times 10.000 \text{ m}^3/\text{ha}}{1.000 \text{ L/m}^3} = 1.778 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Referencia: Apartado 6.4. Estimación de las necesidades de riego usando el método del balance de agua.

□ Ejercicio nº 5

- a) El primer paso es calcular la evapotranspiración diaria (en milímetros por día), a partir de datos estimados del valle medio y bajo del Guadalquivir por no disponer en este caso de datos reales, y del coeficiente de cultivo (Kc).

Ejemplo: La evapotranspiración de referencia (ET_r) para el mes de junio en dicha zona es de 6 mm/día. El valor del coeficiente de cultivo para el melocotonero durante junio es de 0,75.

$$\text{Día 1 de junio, ET} = 6 \times 0.75 = \mathbf{4.5 \text{ mm/día.}}$$

- b) El Déficit de Agua en el Suelo se calcula acumulando la evapotranspiración que se produce cada día.

Ejemplo: para el día 3 de junio se han acumulado los 9 milímetros/día que había el día 2 de junio más los 4.5 milímetros que se produjeron el día 3, es decir $9 + 4.5 = \mathbf{13.5 \text{ milímetros.}}$

- c) Para cada profundidad radicular se calcula la cantidad de agua en el suelo (en milímetros de altura) que supone el Nivel de Agotamiento Permisible.

Ejemplo: para una profundidad radicular de 0.8 metros, el nivel de agotamiento permisible será: $0.8 \text{ (profundidad de raíces)} \times 0.165 \text{ (IHD)} \times 0.5 \text{ (NAP)} = 0.066 \text{ metros} = \mathbf{66 \text{ milímetros.}}$

- d) Para cada día se comprueba si el Déficit de Agua en el Suelo es mayor o menor que el Nivel de agotamiento permisible. Si es mayor será el momento de regar.

Ejemplo: para el día 15 de junio DAS = 67.5 milímetros, mientras que NAP = 66 milímetros, es decir, es necesario regar ese día. Las necesidades de riego brutas serían las siguientes:

$$N_b = \frac{Nn}{Ea} \times 100 = \frac{66}{85} \times 100 = 77.64 \text{ milímetros} \approx \mathbf{78 \text{ milímetros}}$$

A partir del 15 de junio, dado que el déficit de agua en el suelo vuelve a ser cero, se comienza a calcular el nuevo déficit según la ET que se produzca cada día. El proceso continúa igual hasta el final de la campaña.

- e) En caso que se produzcan lluvias, se mantienen las fechas de riego obtenidas en el calendario medio de riegos y se resta el agua de lluvia que ha caído desde el último riego a la cantidad de agua a aplicar en el riego siguiente.

Ejemplo: si el 7 de junio cayeron 10 mm de lluvia, se regará el día prefijado pero aplicando $78 - 10 = 68$ mm en lugar de los 78 mm calculados sin tener en cuenta la lluvia.

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-junio	6	0.75	4.5	4.5	0.8	66	0
02-junio	6	0.75	4.5	9	0.8	66	0
03-junio	6	0.75	4.5	13.5	0.8	66	0
04-junio	6	0.75	4.5	18	0.8	66	0
05-junio	6	0.75	4.5	22.5	0.8	66	0
06-junio	6	0.75	4.5	27	0.8	66	0
07-junio	6	0.75	4.5	31.5	0.8	66	0
08-junio	6	0.75	4.5	36	0.8	66	0
09-junio	6	0.75	4.5	40.5	0.8	66	0
10-junio	6	0.75	4.5	45	0.8	66	0
11-junio	6	0.75	4.5	49.5	0.8	66	0
12-junio	6	0.75	4.5	54	0.8	66	0
13-junio	6	0.75	4.5	58.5	0.8	66	0
14-junio	6	0.75	4.5	63	0.8	66	0
15-junio	6	0.75	4.5	67.5	0.8	66	68
							(Riego)
16-junio	6	0.75	4.5	4.5	0.8	66	0
17-junio	6	0.75	4.5	9	0.8	66	0
18-junio	6	0.75	4.5	13.5	0.8	66	0
19-junio	6	0.75	4.5	18	0.8	66	0
20-junio	6	0.75	4.5	22.5	0.8	66	0

Referencia: Apartado 6.6. Calendarios medios de riego.

Ejercicio nº 6

Aplicar las necesidades brutas de riego antes de que el Déficit de Agua en el Suelo alcance el Nivel de Agotamiento Permisible.

Referencia: Apartado 6.5. Estrategias de riego.

Ejercicio nº 7

De los Servicios de Asesoramiento al Regante.

Referencia: Apartado 6.5. Estrategias de riego.

AGRICULTURA

GANADERÍA

PESCA Y ACUICULTURA

POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA

FORMACIÓN AGRARIA

CONGRESOS Y JORNADAS

R.A.E.A

ISBN: 84-8474-133-8



9 788484 741336

P.V.P.: 9,17 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca