

Manual de Riego para Agricultores

Módulo 2

Riego por Superficie



Consejería de Agricultura y Pesca



MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES

MÓDULO 2. RIEGO POR SUPERFICIE

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

Autores: Rafael Fernández Gómez, Mercedes Milla Milla, Ricardo Ávila Atabarces, Joaquín Berengena Herrera,
Pedro Gavilán Zaña, Nicolás A. Oyomarte Gutiérrez.

Depósito Legal: CO-1250-99

I.S.B.N: 84-8474-025-0

Diseño y Maquetación: Ediciones Ilustres S.L. (Córdoba)

Diciembre 99

Entre los factores que determinan que un sistema agrícola sea moderno se encuentra, sin lugar a dudas, la gestión que se haga del agua. La Consejería de Agricultura y Pesca, en el contexto de la modernización de la agricultura, está impulsando y desarrollando acciones para mejorar la eficiencia de la utilización del agua en los regadíos de la Comunidad Autónoma.

Dentro de estas actuaciones, se encuentra el establecimiento de servicios de asesoramiento al regante, entre los que se incluyen la formación de agricultores, técnicos y gestores de agua en el manejo de sus sistemas de riego, así como la divulgación de los resultados de sus experiencias.

La edición de este "Manual de Riego para agricultores" proporciona una herramienta adecuada, útil e innovadora para ofrecer esa información a los regantes de manera eficaz. Su objetivo es concienciar sobre los efectos de la agricultura de regadío en la disponibilidad de agua y en la sostenibilidad del medio, así como potenciar el manejo correcto de los sistemas de riego y el empleo de técnicas adecuadas para la gestión del agua.

La realización de este manual didáctico, se inscribe en la apuesta decidida que la Consejería de Agricultura y Pesca está haciendo para responder a la gran demanda de formación específica y adaptada a las necesidades concretas de los sectores productores y comercializadores andaluces. Además, pretende mejorar el acceso de los agricultores a la información y, con ello, elevar su capacidad de respuesta ante los cambios.

Y, siendo el agua en la agricultura andaluza un recurso irregular, limitado y estratégico, fuente de riqueza, diversificación y empleo, se hacía necesario contar con un material didáctico, riguroso y moderno, que apoyará la planificación y la gestión de su uso por parte de los agricultores andaluces.

Paulino Plata Cánovas

Presentación

La adecuada práctica del riego incide grandemente en una mayor disponibilidad de agua para los regantes y en la mejora las producciones de sus cultivos, pero también, y no menos importante, en la disminución de la contaminación de los sistemas hidrológicos de los que se nutren el conjunto de la población y espacios de alto interés ambiental. Por tanto, la mejora del riego redundará en un mayor nivel y calidad de vida en los agricultores y del conjunto de la población.

La importancia de un manejo adecuado del agua de riego está en el ánimo de las administraciones públicas, gestores del agua y regantes, pero son frecuentes las situaciones en las que las pérdidas de agua de riego son importantes. Este **“Manual de Riego para Agricultores”** intenta contribuir a mejorar esta situación desde la formación del regante. Con él se pretende poner al alcance del regante conocimientos sobre los fundamentos del riego y el manejo de diferentes sistemas de riego.

En la elaboración de este manual se ha perseguido la simplicidad y claridad, sin renunciar a la calidad y el rigor. Abarca un gran número de cuestiones en torno al manejo del riego, desde la decisión sobre cuándo y cuánto regar hasta la evaluación básica de instalaciones de riego, de forma que se puedan detectar sus deficiencias y buscar soluciones factibles. Se han eludido aspectos complejos relacionados con el diseño de instalaciones, cuestión reservada para personal cualificado, si bien se abordan criterios que debe conocer el agricultor para participar en el diseño de su instalación.

Componen el manual cuatro módulos, en los que se abordan los fundamentos del riego (módulo 1) y cada uno de los tipos de riegos: riego por superficie (módulo 2), riego por aspersión (módulo 3) y riego localizado (módulo4). Al final de cada capítulo se incluyen unas preguntas con las que el usuario podrá evaluar sus progresos. Se acompaña de un libro de ejercicios y de materiales de ayuda para el profesorado. Además, se ha elaborado una versión en disco compacto, susceptible de ser utilizada en cualquier ordenador personal. De esta forma, el conjunto es también utilizable en la enseñanza a distancia.

El **“Manual de Riego para Agricultores”** es un material didáctico que se ha elaborado dentro de un programa de actuaciones para la optimización del uso y gestión del agua de riego. Este programa está siendo desarrollado por la Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Consejería de Agricultura (Junta de Andalucía) a través de la Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía S.A. (D.a.p). Incluye, además de la elaboración de material didáctico, el establecimiento de Servicios de Asesoramiento al Regante, la caracterización de Comunidades de Regantes y un extenso plan de formación.

En la elaboración del **“Manual de Riego para Agricultores”**, todo lo aprendido en el desarrollo de estas actuaciones ha sido utilizado. Por tanto, además de los autores y las personas que lo han producido y coordinado, queremos mencionar a otras personas de D.a.p. que han contribuido a su realización: José Bellido González, Isabel González de Quevedo, Ana Salas Méndez, Juan Carlos Martín-Loeches Sánchez, Fátima Moreno Pérez, Javier Mósig Pérez, Benito Salvatierra Bellido, Darío Reina Gímenez, Antonio Romero López, Paula Triviño Tarradas y Salvador López Gracia.

Equipo de Trabajo

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.

Unidad Didáctica 1. INTRODUCCIÓN AL RIEGO POR SUPERFICIE	11
1.1 Introducción.	11
1.2 Desarrollo del Riego por Superficie	14
1.3 Infiltración del agua. Lámina de agua infiltrada	18
Resumen.	21
Autoevaluación	22
Unidad Didáctica 2. TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO POR SUPERFICIE	23
2.1 Introducción.	23
2.2 Riego por tablares	24
2.3 Riego por fajas.	26
2.4 Riego por surcos con pendiente	27
2.5 Riego por surcos a nivel	31
2.6 Otros tipos de riego	31
Resumen.	33
Autoevaluación	34
Unidad Didáctica 3. DISEÑO Y MANEJO DEL RIEGO POR SUPERFICIE	35
3.1 Introducción.	35
3.2 Factores a considerar en el diseño de las unidades de riego	36
3.3 Características de las unidades de riego.	40
3.4 Otros factores a considerar en el manejo y diseño del riego	45
Resumen.	47
Autoevaluación	48
Unidad Didáctica 4. ESTRUCTURAS DE CONTROL Y DISTRIBUCIÓN. MEDICIÓN DE CAUDALES (AFORO).	49
4.1 Introducción.	49





El riego por superficie es un método que puede aplicarse prácticamente a **todo tipo de cultivos**, bien sean anuales o leñosos, y con distintos sistemas de siembra o plantación como cultivos en línea, plantaciones arbóreas de diferentes marcos, cultivos que cubren todo el suelo, etc. Ello se debe al gran número de tipos de sistemas diferentes y a su vez a las distintas prácticas de manejo que se realizan de forma tradicional en cada zona. Es recomendable utilizar estos sistemas en terrenos con **topografías o relieves llanos** o con escasa pendiente. Es un método de riego **poco costoso en instalaciones y mantenimiento** pero generalmente no se consiguen altas eficiencias, si bien cuando el diseño es adecuado y el riego se maneja de forma adecuada las eficiencias pueden ser iguales a las de los sistemas de riego más tecnificados.

VENTAJAS DEL RIEGO POR SUPERFICIE

Las ventajas del riego por superficie frente al resto de métodos de riego son principalmente las siguientes:

- Bajo coste de inversión, si no se precisa una explanación previa, y de mantenimiento de las instalaciones.
- Son riegos que no están afectados por las condiciones climáticas como viento, humedad ambiental, etc. como ocurre con el riego por aspersión.
- La calidad del agua no influye (a excepción de las sales) y es posible regar con aguas de baja calidad, no aptas para otros métodos de riego como localizado.
- No requieren consumo de energía, al menos desde que el agua llega a parcela. Se consume energía cuando es preciso elevarla desde el lugar de origen a menor nivel que la parcela.
- Por el movimiento del agua esencialmente vertical cuando se infiltra, son muy aptos para lavar sales.



- Las estructuras usadas para controlar el agua y distribuirla suelen estar fabricadas con materiales de bajo coste e incluso realizadas con el propio suelo.

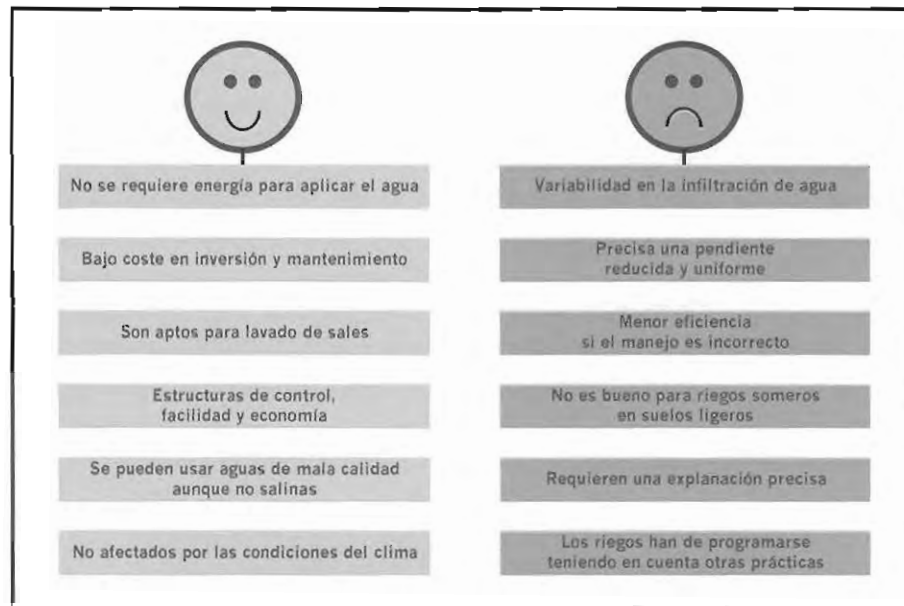


Figura 1: Ventajas e inconvenientes del riego por superficie

INCONVENIENTES DEL RIEGO POR SUPERFICIE

Se pueden destacar los siguientes:

- Los sistemas de riego por superficie suelen tener menor eficiencia en el uso del agua que los de otros métodos, si bien con adecuados diseño y manejo se puede conseguir valores muy aceptables.
- Dado que el suelo distribuye e infiltra el agua, la cantidad de agua infiltrada depende mucho de las características del mismo que pueden variar considerablemente incluso dentro de la misma parcela.
- Se requieren terrenos con nula o escasa pendiente y exigen una explanación precisa.
- No es muy adecuado para dar riegos ligeros, sobre todo en suelos arenosos, donde el agua infiltra rápidamente.
- Se moja toda o gran parte de la superficie del suelo, por lo que habrán de programarse otra serie de prácticas culturales (aclarado, abonado, aplicación de herbicida o fitosanitario, recolección, etc.) para que no interfieran con el riego.
- Puede producir alteraciones en la estructura del suelo y perjudicar el desarrollo de las raíces.

En cualquier caso pueden existir otras ventajas o inconvenientes atendiendo a la zona donde se desarrollen los riegos, pero sea cual sea la situación, se puede admitir que los riegos por superficie son los más flexibles (admiten cambios de cultivo, de sistema, de caudales aplicados, etc.) y económicos.



1.2 Desarrollo del riego por superficie

FASES DEL RIEGO

En cualquier sistema de riego por superficie, la aplicación del agua a la parcela implica una serie de **etapas o fases** en referencia al movimiento del agua, su almacenamiento sobre la superficie del suelo y su *infiltración*. En cualquier sistema de riego se pueden producir todas estas etapas o fases, pero en determinados casos alguna de ellas puede no existir. Un desarrollo habitual o normal de un riego por superficie consiste en lo siguiente:

Avance del agua sobre la superficie a partir del momento en que comienza a ser aplicada. Se origina el **avance de ésta por la superficie del suelo** hasta alcanzar el punto más lejano considerando que ha finalizado el avance cuando todos los lugares a los que debe llegar el agua se han mojado.



Figura 2. Avance del agua en un surco de riego.

El avance del agua sobre el suelo puede tener una **duración muy diversa** dependiendo del tipo de sistema de riego por superficie, pero básicamente depende de: el **caudal** aplicado, la **pendiente**, la **longitud** del camino que debe recorrer el agua y de la **capacidad de infiltración** del suelo. A mayor caudal, mayor pendiente y menor longitud de parcela, menor será el tiempo necesario para que el agua cubra todos los puntos de la parcela y se complete el avance. Como se verá a continuación, a efectos de cantidad de agua infiltrada con el riego lo ideal es que el avance sea rápido para que todos los puntos de la parcela permanezcan mojados el tiempo más parecido posible, pero esto supone un **riesgo de erosionar el suelo**.



Una vez que se completa el avance, si aún continúa la aplicación de agua a la parcela, **ésta comienza a almacenarse sobre el suelo a la vez que continúa infiltrándose**. En esta etapa del riego, todos los puntos de la parcela que deben recibir agua y ya se han mojado, comienzan a almacenarla. Se puede admitir que el **almacenamiento** comienza cuando se completa el avance y continúa hasta que se corta el suministro de agua, es decir, hasta que se alcanza el tiempo de aplicación del riego, denominado **tiempo de riego**. Si el suministro de agua se corta justo cuando se ha completado el avance, no se producirá el almacenamiento de agua sobre el suelo.



Figura 3. Parcela de riego en receso.

Cuando se ha cortado el suministro de agua en cabecera, la infiltración del agua en el suelo, unida al escurrimiento si hay pendiente, hace que el agua almacenada sobre la superficie vaya desapareciendo poco a poco, tiempo durante el cual se produce el **agotamiento paulatino del agua** que existe sobre el suelo. En un momento determinado algún lugar de la parcela queda humedecido pero sin agua en superficie, terminando con ello la fase de agotamiento y comenzando la etapa o **fase de receso**, que se prolonga hasta que el agua desaparece totalmente de la superficie del suelo. Si la parcela no tiene pendiente y está perfectamente nivelada, el receso se produce simultáneamente en todos los puntos. De lo contrario, lo habitual será que el receso comience en cabecera y termine en cola.

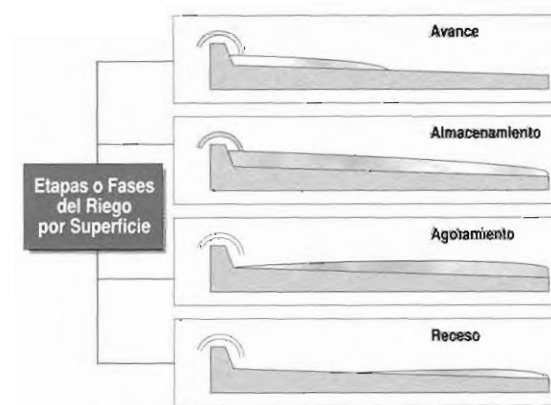


Figura 4. Representación esquemática de las etapas o fases de un riego por superficie



TIEMPOS CARACTERÍSTICOS DEL RIEGO

Durante el desarrollo normal de un riego por superficie, delimitado aproximadamente por las fases descritas anteriormente, se pueden establecer unos tiempos característicos. En concreto se diferencian los siguientes:

- **TIEMPO DE AVANCE:** es el tiempo, medido desde que comienza el riego, que el agua tarda en **llegar a todos y cada uno de los puntos de la parcela**. Es muy variable dependiendo del manejo que se haga del riego.
- **TIEMPO DE RECESO:** medido desde el inicio del riego, es el tiempo en que todo el agua **desaparece de la superficie** del suelo.

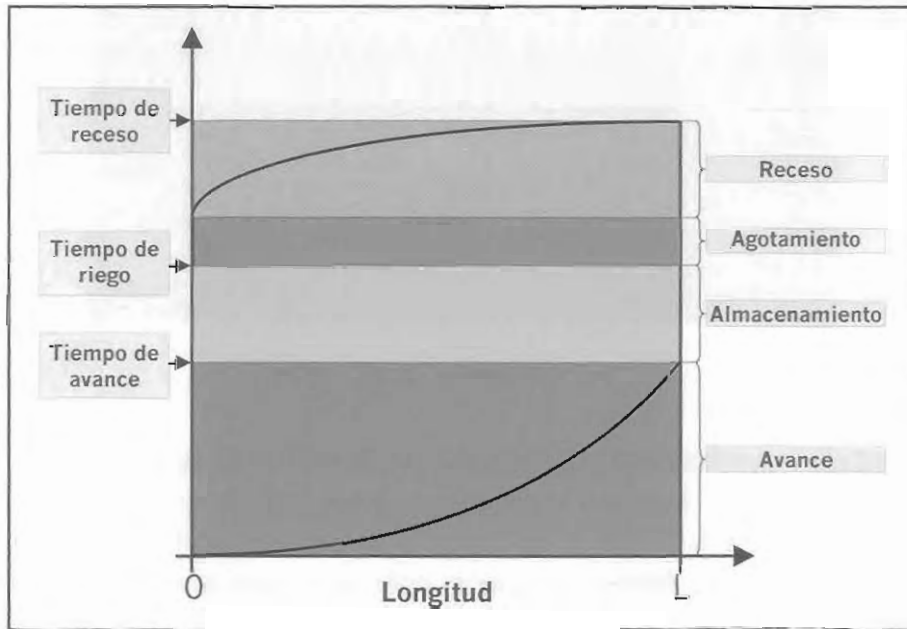


Figura 5. Tiempos de avance y de receso en un riego por superficie.

Ambos tiempos característicos, de avance y de receso, se determinan tomando como referencia toda la longitud de la parcela. Sin embargo, el agua alcanzará cada punto de ella y posteriormente desaparecerá en tiempos de avance y receso diferentes (Figura 6). De esta manera, en cada punto "p", el agua habrá llegado en un tiempo de avance hasta ese punto y habrá desaparecido en un tiempo de receso determinado.

- **TIEMPO DE INFILTRACIÓN:** es el tiempo que **el agua está en contacto con el suelo** durante el riego y por lo tanto se estará infiltrando en él. Para cada punto, es la diferencia entre el tiempo en que se haya producido el receso y en el que haya llegado el agua en ese lugar. Normalmente es **mayor en zonas de cabecera y menor en zonas de cola** de la parcela.
- **TIEMPO DE RIEGO:** es el tiempo que dura la aplicación de agua a la parcela de riego.

Lo habitual es que en riego por superficie todos estos tiempos se midan en minutos.

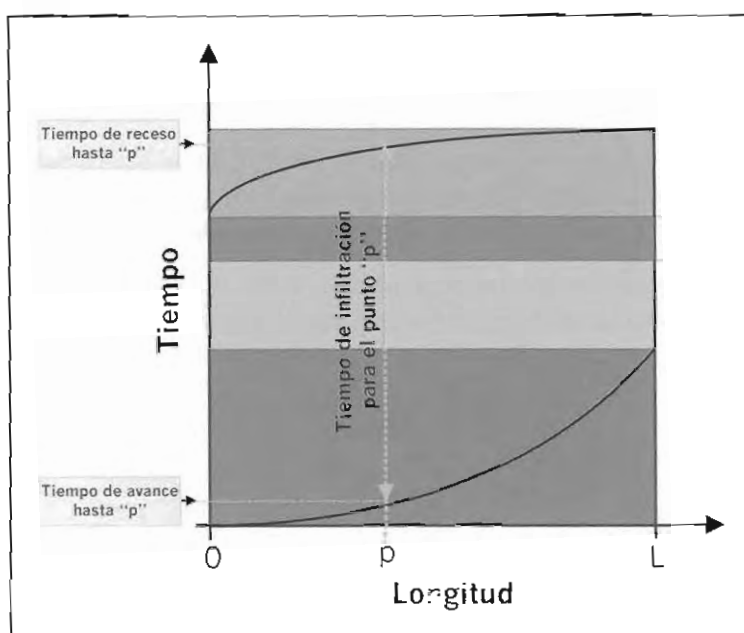


Figura 6. Diagrama de avance-receso de un riego por superficie con representación del tiempo de infiltración.

Utilizando el tiempo que el agua tarda en avanzar o llegar hasta cada punto, además del tiempo que tarda en desaparecer de cada uno de ellos, un riego se puede representar fácilmente mediante el denominado **diagrama de avance-receso** (Figura 6), de donde se deducen también los **tiempos de infiltración** en cada punto de la parcela. El conocimiento de los tiempos de infiltración es clave para analizar la bondad o calidad del riego por superficie y conocer su eficiencia y uniformidad. Un riego será más uniforme cuanto más parecidos sean los tiempos de infiltración en todos los puntos de la parcela, aunque la cantidad de agua infiltrada en cada punto dependerá también de la variación de las características del suelo.

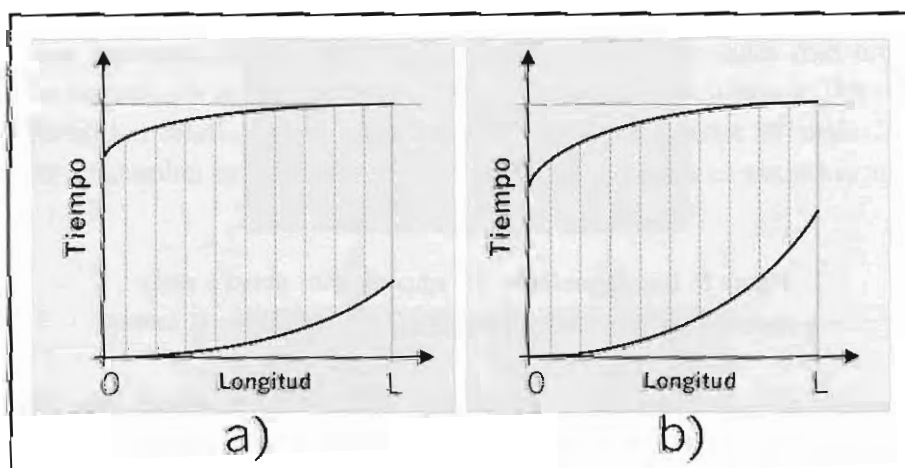


Figura 7. En el caso a) los tiempos de infiltración son más parecidos en toda la parcela que en el caso b) lo que, si el suelo es más o menos homogéneo, originará mayor uniformidad de distribución.



En una parcela de riego por superficie el agua se aplica normalmente en uno de sus extremos, por lo que unas zonas estarán cubiertas de agua más tiempo que otras y así **la cantidad de agua infiltrada será distinta**. Generalmente en cabecera se infiltra más agua que en cola, y el tiempo que debe durar el riego está en función de la cantidad de agua que requiera el cultivo y de la velocidad con que el suelo infiltra el agua. Si durante la ejecución de un riego se diera un corte al suelo, se podría observar la cantidad de agua infiltrada en cada punto de la parcela y cómo evoluciona el **frente de humedecimiento**. De la misma manera, si se mirara el perfil del suelo una vez concluido el riego se podría observar la “altura” de agua que se ha infiltrado a lo largo de la parcela, lo que se denomina como **lámina de agua infiltrada**.



Figura 11. Perfil del agua infiltrada durante el avance y durante el humedecimiento del suelo.

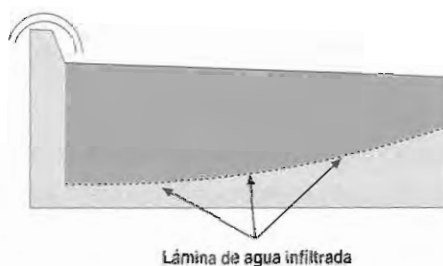


Figura 12. Lámina de agua infiltrada tras un riego.

Sin embargo, en condiciones normales **el suelo no es homogéneo** en toda la parcela sino que existirán zonas donde la textura sea diferente a otras, esté más compactado, más húmedo o seco, haya grietas o caminos preferenciales del agua, etc. Esto supone que la infiltración será distinta incluso dentro de la misma parcela, y aunque se pueda pensar que el frente de humedecimiento es más o menos homogéneo, lo cierto es que **la cantidad de agua infiltrada puede ser muy irregular**. En realidad en numerosas ocasiones existen zonas de la parcela de riego en las que el cultivo sufre problemas de suministro de agua y la producción final se ve afectada.

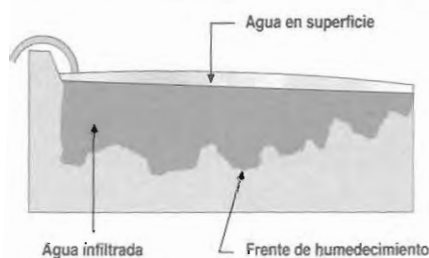


Figura 13. La infiltración se ve afectada por la heterogeneidad del suelo.

Resumen

El método de riego por superficie consiste en la aplicación del agua por gravedad. Ha sido muy utilizado desde la antigüedad en todo el mundo y existen numerosas técnicas o formas de aplicarlo así como prácticas de manejo que se adaptan a cada situación particular. Es un método barato, que se ve muy poco afectado por condiciones climáticas ni calidad del agua, pero en general son los menos eficientes y suelen estar limitados por la topografía de las parcelas y el tipo de suelo.

Durante el desarrollo de un riego por superficie suelen ocurrir de forma consecutiva el avance del agua desde cabecera hasta cola, el almacenamiento del agua en superficie, el agotamiento mientras que el agua se infiltra y el receso, hasta que toda el agua desaparece totalmente de la parcela. Dependiendo del tipo de riego puede que alguna de estas etapas o fases no exista. Conocer el tiempo que tarda el agua en avanzar hasta cada punto, el tiempo en que se produce el receso en ellos, el de infiltración y el de riego es importante para controlar el desarrollo del riego y poder obtener el máximo aprovechamiento del agua.

La capacidad del suelo para infiltrar el agua es decisiva, junto con el tiempo de infiltración, para realizar el riego de forma correcta. La cantidad de agua infiltrada en un punto depende de las características del suelo (textura, presencia de grietas, etc.) y el tiempo de infiltración, por lo que es importante que el suelo sea homogéneo en toda la parcela y que los tiempos de infiltración sean lo más parecidos posible a lo largo de ésta.



Autoevaluación

1. Indicar cuál de las siguientes es una ventaja del riego por superficie:
 - a) La cantidad de agua infiltrada se ve afectada por la heterogeneidad del suelo
 - b) Si la pendiente es excesiva es preciso explicar el suelo
 - c) Hay que hacer una programación del resto de labores del suelo al mojarse toda la superficie.
 - d) Pueden usar aguas de baja calidad sin que influya en el riego

2. Por lo general, en una parcela de riego por superficie la zona donde mayor es la cantidad de agua infiltrada corresponde a
 - a) La zona intermedia
 - b) Cola de parcela
 - c) Cabecera de parcela
 - d) Es la misma en todos los puntos de la parcela

3. El tiempo que transcurre desde el inicio del riego (cuando comienza a aplicarse agua a la parcela) hasta que agua llega a todos los puntos de la parcela se denomina
 - a) Tiempo de riego
 - b) Tiempo de receso
 - c) Tiempo de avance
 - d) Tiempo de infiltración

4. Un agricultor desea conocer los tiempos de infiltración que se producen durante un riego en varios puntos a lo largo de su parcela. En un punto seleccionado a lo largo de la parcela el agua tardó 52 minutos en llegar, mientras que hubo receso en ese punto a los 425 minutos. ¿Cuál será el tiempo de infiltración en ese lugar?
 - a) 425 minutos
 - b) $425-52=373$ minutos
 - c) 52 minutos
 - d) $425+52=477$ minutos

5. ¿En cuál de las siguientes etapas o fases estará un riego si ya se ha completado totalmente el avance del agua y todavía continúa el suministro de agua a la parcela?
 - a) Avance
 - b) Receso
 - c) Almacenamiento
 - d) Agotamiento

6. En un suelo arcilloso, tanto las partículas minerales como los poros son muy pequeños, lo que hace que el agua tienda a infiltrarse lateralmente además de moverse hacia capas más profundas.

Verdadero / Falso

7. Cuando un suelo bastante seco comienza a infiltrar agua lo hace relativamente rápido al comienzo, sin embargo a medida que pasa el tiempo la velocidad de infiltración se hace menor hasta alcanzar un valor casi constante. Tal valor suele denominarse:
 - a) Infiltración lenta
 - b) Infiltración básica
 - c) Velocidad de infiltración
 - d) Tiempo de infiltración

8. Si en un riego los tiempos de infiltración en todos los puntos de la parcela son muy similares, la uniformidad de aplicación será muy buena aunque las características del suelo no sean homogéneas.

Verdadero / Falso



2.1 Introducción

El riego por superficie es un método que ha ido sufriendo variaciones en función de las necesidades surgidas en cada zona o región y según los recursos específicos de cada una de ellas. Se puede realizar en múltiples condiciones de *topografía* y distintas disponibilidades de agua gracias a los diferentes tipos de riego por superficie y sus variantes.

El riego por superficie **admite numerosas modalidades**. De todas ellas se estudiarán con mayor detalle los tres tipos que son más representativos tanto en el ámbito general como en Andalucía.

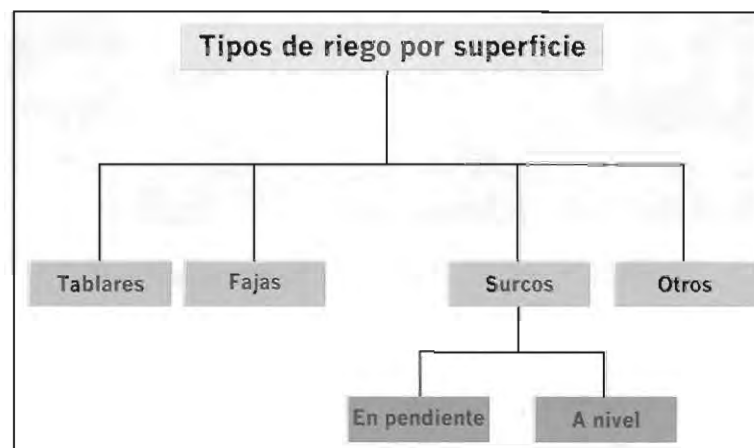


Figura 1

- Riego **por tablares**
- Riego **por fajas**
- Riego **por surcos**

Debido a la antigüedad de muchos sistemas de riego por superficie, a las necesidades tan diversas de muchos cultivos y a la variabilidad en la disponibilidad de agua, se han desarrollado tipos de riego por superficie que responden a necesidades muy concretas. Aunque no son masivamente utilizados suelen ser característicos en zonas muy determinadas y es conveniente conocerlos para ampliar y mejorar la aplicación del riego por superficie.

2.2 Riego por tablares

En este sistema de riego el terreno se divide en **compartimentos cerrados** separados por medio de diques ó caballones de unos 50 cm de altura. Estas zonas, de forma rectangular o cuadrada, son los denominados **tablares o canteros**; dentro de ellos se vierte un volumen de agua que queda estancada y va infiltrando en el suelo. En general es conveniente que el caudal de agua sea elevado aunque su magnitud dependerá de las dimensiones de los tablares y el riesgo de erosión. El agua puede aplicarse bien por una sola entrada o por varias.



Figura 2. Riego de un olivar por medio de tablares.

La situación ideal es que el terreno esté **completamente nivelado** tanto longitudinalmente como transversalmente. El tamaño de los compartimentos depende sobre todo del caudal de agua disponible y de la *textura* del suelo, pero normalmente oscilan entre 0.3 y 3 hectáreas, debiendo corresponder los tamaños menores a los suelos arenosos. Explanando el suelo con tecnología láser y utilizando grandes caudales, también se riegan tablares de hasta 10 ó 15 has con los que se puede conseguir tanto una alta eficiencia de aplicación como un menor coste asociado al riego en mano de obra y preparación del terreno. Cuando se emplean grandes caudales en riego por tablares, es conveniente que existan **estructuras especiales en cabecera para evitar la erosión**.



Figura 3: Estructura para evitar la erosión en cabecera consistente en dados de hormigón situados en la entrada de agua.

La topografía del terreno determinará la forma de los tablares. Cuando la topografía y la profundidad del suelo permitan una explanación adecuada, se pueden formar compartimentos de gran superficie; pero cuando la topografía es muy ondulante los compartimentos se adaptarán a las curvas de nivel dando lugar a una gran variedad en formas y tamaños de los mismos.

Este tipo de riego se podrá utilizar con cultivos que toleren encharcamientos sólo temporales, tales como: forrajeras, algodón, maíz, frutales, chopos, etc.



Figura 5. Riego por tablares en frutales.

Al estar cerrados, en los tablares no se dispone desagüe superficial; por lo que **la principal causa de disminución de eficiencia es la filtración profunda**. Para evitar este problema el aporte de agua suele cerrarse cuando se completa la *fase de avance*, o incluso antes, de forma que se aplique la cantidad mínima de agua que permite cubrir toda la superficie del tablar. Una vez completado el avance, el agua se infiltra durante un periodo de tiempo más o menos largo dependiendo de la textura del suelo. Si la pendiente es realmente nula, el agua **desaparece al mismo tiempo** de todos los puntos del tablar.



2.3 Riego por fajas

En este tipo de riego, el terreno se divide en **franjas rectangulares estrechas, llamadas fajas o melgas**, separadas unas de otras mediante caballones dispuestos longitudinalmente. Suelen realizarse **acequias de abastecimiento** en el extremo superior de las fajas, y **canales de desagüe** en el extremo inferior. El agua discurre a lo largo de las fajas formando una lámina delgada que se va infiltrando poco a poco al tiempo que avanza.



Figura 6. Riego por fajas, con acequia de abastecimiento en la cabecera y desagüe en cola.

Las fajas deberán tener una **pendiente longitudinal muy uniforme** con el fin de conseguir una buena distribución del agua. Las pendientes más recomendadas son las que están comprendidas entre el 0.2 y 0.5 %. En los suelos arcillosos se puede llegar a disponer las fajas casi a nivel (sin pendiente), y en suelos arenosos la pendiente no deberá ser mayor de un 2 %. Las fajas no deberán tener pendiente transversal.



Figura 7. Parcela preparada para aplicar un riego mediante fajas.

La **anchura** de las fajas suele oscilar entre 10 y 20 metros dependiendo fundamentalmente del caudal disponible (que deberá ser suficiente para permitir que toda la anchura de la faja se cubra homogéneamente), mientras que su **longitud** depende básicamente del tipo de suelo, variando entre los 50-80 metros en suelos arenosos hasta los 500 metros en caso de suelos arcillosos. Por tanto, las dimensiones de las fajas estarán condicionadas por el tipo de suelo y la disponibilidad de caudal, con el fin de que el avance del agua no dure demasiado y evitar pérdidas excesivas por *filtración profunda* en cabecera.

Este tipo de riego suele utilizarse en cultivos extensivos tales como alfalfa, pastos y cereales, así como en los cultivos arbóreos.

2.4 Riego por surcos con pendiente

Constituye un tipo de riego donde el agua se distribuye por **surcos paralelos**, de forma que se infiltra por el fondo y costados de los mismos. Agronómicamente, es muy aconsejable para algunos cultivos que son muy sensibles al encharcamiento, ya que al sembrarse sobre los caballones (parte superior de los surcos) se evita mojar el cuello de la planta y que se produzcan ciertas enfermedades. También lo es en los casos en que no se desee que la zona en que se desarrollan las raíces se compacte en exceso (patatas, ajos, zanahorias, etc.).



Figura 8. Parcela de maíz en riego por surcos.

La **separación entre los surcos** debe ser tal que quede asegurado el mojado de todo el suelo ocupado por las raíces. El movimiento del agua en el suelo depende, sobre todo, de la *textura*: en suelos arcillosos el agua se expande lateralmente con mayor facilidad que en los arenosos, en los que el agua tiende a desplazarse en profundidad, por lo que los surcos pueden estar más separados en



el primer caso. Las pérdidas de agua que se producen en suelos arenosos pueden condicionar la utilización de surcos en este tipo de suelos. En ocasiones puede haber dificultades a la hora de acomodar la separación de los surcos a la textura del suelo, ya que es necesario tener en cuenta el marco requerido por el cultivo y la maquinaria a utilizar en otras operaciones.

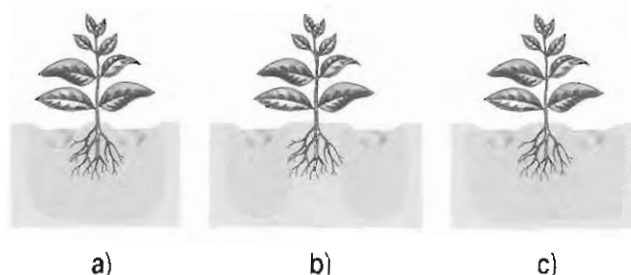


Figura 9. Separación entre surcos. a) Poca separación. b) Mucha separación. c) Separación adecuada.

Los surcos deben tener la misma **pendiente** en toda su longitud. En caso contrario se originan zonas con **falta de agua y otras con exceso**, pudiendo dar lugar a encharcamientos o desbordamientos del agua de un surco a otro. La pendiente más adecuada está comprendida entre el 0.2 y 1 %. Se puede aumentar ligeramente la pendiente en surcos más cortos, con caudales pequeños y siempre que se cuente con mano de obra experimentada.

Para determinar la **longitud de los surcos** hay que tener en cuenta dos factores: la *eficiencia de aplicación del riego* y la economía o coste de realización de dichos surcos. Cuanto más largos sean, más fácil y barato resulta asurcar el suelo y realizar otras prácticas de cultivo, pero la eficiencia en el uso del agua tenderá a ser menor. Como regla general se aconseja hacer los surcos tan largos como sea posible con la condición de que **no se produzca erosión** del suelo y se consiga una **eficiencia razonable**.

El riego por surcos en pendiente es muy utilizado para regar cultivos en línea, y es especialmente apropiado para los cultivos muy sensibles al encharcamiento.

El agua se aplica a cada surco independientemente en la zona de cabecera utilizando diferentes métodos:

- **Derivación directa:** el agua va directamente desde la acequia de abastecimiento hasta los surcos.

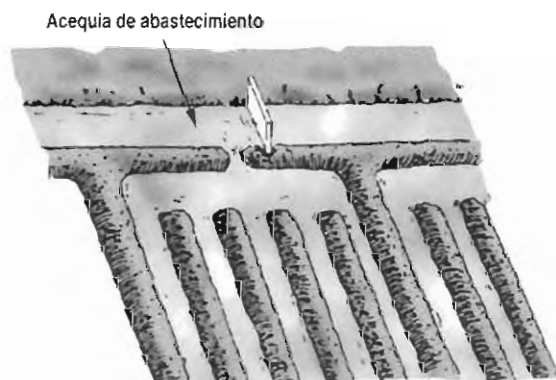


Figura 10. Alimentación directa desde una acequia de abastecimiento hasta los surcos.

- **Derivación mediante una acequia auxiliar:** es una acequia paralela a la de alimentación que se utiliza para evitar la apertura de varias salidas en esta acequia. Hay ocasiones en que la acequia de alimentación es de obra de fábrica, por lo que las salidas están limitadas y es necesario realizar una acequia auxiliar para poder tener una salida para cada *unidad de riego*.



Figura 11. Alimentación de los surcos mediante una acequia auxiliar paralela a la de abastecimiento.

- **Derivación mediante sifones:** los *sifones* son básicamente tubos rígidos o flexibles que pueden estar fabricados en diversos materiales, aluminio, plástico, goma, etc. Con ellos se traspasa el agua desde la acequia hasta cada surco individualmente, para lo cual es preciso que la acequia esté más elevada que el surco.



Figura 12. Derivación del agua a los surcos mediante sifones.

El **caudal que descarga cada sifón** depende de su diámetro y de la diferencia de altura entre acequia y surco, denominada **carga del sifón**. El diámetro de los sifones puede ser muy variable dependiendo de la práctica habitual de cada zona pero suelen estar comprendidos entre los 20 y los 60 milímetros. En la siguiente tabla se indican el caudal que puede suministrar un sifón según su diámetro y la carga:



Caudal aproximado del sifón (litros por segundo)				
Diámetro (milímetros)	Carga (centímetros)			
	5	10	15	30
20	0.2	0.26	0.32	0.37
30	0.42	0.6	0.73	0.84
40	0.75	1.1	1.3	1.5
50	1.2	1.43	2.0	2.33
60	1.7	2.4	2.9	3.4

- Derivación mediante tuberías portátiles: Suelen ser de aluminio, PVC o polietileno. Van provistas de salidas espaciadas que coinciden con la separación de los surcos. Estas salidas pueden ser simples orificios de un determinado diámetro, de acuerdo con el caudal que se desea obtener, o compuertillas regulables. Las tuberías más recomendadas, por su bajo coste y fácil manejo, son las de polietileno.



Figura 13. Alimentación de los surcos mediante una tubería rígida portátil. Obsérvese las protecciones de plástico colocadas en cabecera de los surcos para evitar erosión del suelo en la zona de impacto de los chorros.



Figura 14. Tubería flexible de polietileno con compuertas regulables.

2.5 Riego por surcos a nivel

En este tipo de sistema de riego, el trazado de los surcos se realiza dentro de un tablar. Por ello el **riego por surcos a nivel** presenta las ventajas tanto del riego por tablares como el de surcos en pendiente, además de las específicas de este tipo de riego:

- Se elimina la escorrentía característica del riego por surcos en pendiente.
- Al estar el agua canalizada por los surcos se puede aplicar una dosis de riego inferior a la necesaria para el riego de un tablar, importante para los terrenos con poca capacidad de retención de agua.

El caudal que entra en cada surco es diferente. **El agua excedente** de los surcos que han completado su avance rápidamente **retornará por los surcos contiguos** desde cola a cabecera. Con esta práctica se evitan encharcamientos localizados y se puede conseguir una buena uniformidad en la distribución del agua infiltrada, siempre que la parcela haya sido nivelada adecuadamente.



Figura 15. Riego por surcos a nivel.

2.6 Otros tipos de riego

Además de los tipos de sistemas anteriores, existen otros utilizados en el riego por superficie aunque no de forma frecuente, por lo que sólo se describirán de forma muy breve.

RIEGO POR ALCORQUES: consiste en el trazado de acequias de tierra que conectan unas pozas u hoyos realizadas en torno a los troncos (alcorques), que se van llenando de agua a medida que esta avanza por la acequia. Es un tipo de riego utilizado con cierta frecuencia para el **riego de árboles**.



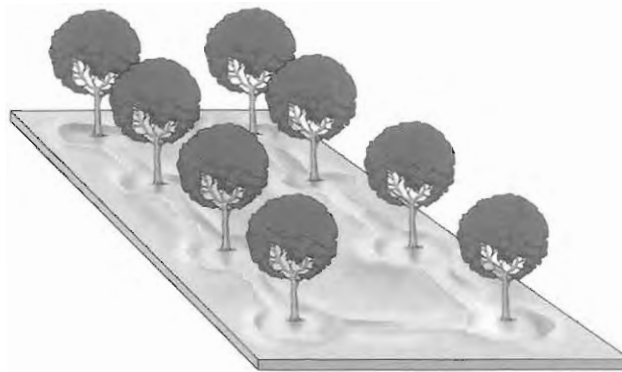


Figura 16. Sistema de riego por alcorques

RIEGOS “DE CAREO” DE ZONAS DE MONTAÑA: se trata de una acequia que corre casi a nivel sobre una ladera y tiene pequeñas salidas por las que el agua fluye escurriendo ladera abajo. Es un riego poco eficiente y uniforme, pero no requiere ninguna sistematización del terreno y permite incrementar considerablemente el rendimiento de las praderas con muy poca inversión. Se utiliza donde se dispone de agua abundante. Si no se controlan bien los caudales se pueden producir serios problemas de erosión.

RIEGOS POR BOQUERAS: consiste en aprovechar las avenidas que se producen en los cauces (ramblas) de zonas áridas cuando llueve. Suelen emplearse **para dar riegos de apoyo** así como para el *lavado de sales* en lugares donde no existan otros métodos más apropiados para ello.

POZAS: se utilizan en zonas con pendientes acusadas y para cultivos arbóreos como es el caso del olivar. Las pozas tienen como función **almacenar el agua de lluvia** y quedar a disposición de la planta durante un periodo de tiempo, que varía dependiendo de las condiciones climáticas. En años con escasa lluvia, estas pozas pueden llenarse mediante mangueras siempre y cuando se disponga de agua en los alrededores. Normalmente las pozas están cerradas pero hay ocasiones en que están comunicadas entre sí, disponiendo entonces de una especie de canal de desagüe.



Figura 17. Riego de olivar mediante pozas comunicadas entre sí.

Resumen

El riego por superficie es un método que engloba gran número de variantes o sistemas diferentes. Los más usados en la actualidad son el riego por tablares, el riego por fajas y el riego por surcos.

Los tablares son compartimentos cerrados de forma rectangular o cuadrada separados por medio de diques o caballones, en los que se vierte un gran caudal de agua que se almacena mientras se infiltra. Los tablares deben estar bien nivelados y su tamaño depende fundamentalmente de la textura del suelo.

Las fajas son franjas rectangulares estrechas separadas unas de otras mediante caballones con una pendiente longitudinal uniforme con el fin de conseguir una buena distribución del agua. En este tipo de riego se hacen acequias de abastecimiento en el extremo superior y canales de desagüe en el extremo inferior. El tamaño de las fajas depende, sobre todo, del tipo de suelo y del caudal disponible.

En el riego por surcos el agua se distribuye por surcos paralelos. Pueden utilizarse surcos en pendiente o a nivel en los que el agua se aplica utilizando una gran variedad de métodos. La longitud de los surcos estará determinada tanto por el tipo de suelo y la disponibilidad de caudal como de la relación entre la eficiencia que se pretende conseguir y el coste de realización de los surcos.

Además de estos tipos de sistemas existen otros muchos, si bien están poco difundidos y suelen emplearse en zonas concretas.



3.2 Factores a considerar en el diseño de las unidades de riego

CULTIVO Y TIPO DE RIEGO

La elección del tipo de riego depende de numerosos factores relacionados con la geometría y topografía del terreno, disponibilidad de agua, etc., sin embargo debe tenerse muy en cuenta el tipo de cultivo que se va a regar. En ocasiones, cuando ya se ha implantado un determinado tipo de riego, el cultivo debe condicionarse a aquél en función del tipo de siembra o marco de plantación que se adapte mejor al tipo de riego a usar.

El **riego por surcos** está especialmente indicado para aplicar riegos a los **cultivos sembrados en línea**. Por ejemplo se adapta perfectamente a maíz, algodón, remolacha, tomate, lechuga, girasol e incluso a otros de alto valor económico como fresa o melón tempranos que se siembran en línea usando plásticos. También está **indicado en cultivos arbóreos** conduciendo el agua a las proximidades de la zona de raíces. Dado que normalmente los cultivos leñosos están plantados en un marco amplio, a veces se disponen dos surcos por fila de árboles para aplicar agua solamente donde es estrictamente necesaria e incluso regar en uno de ellos cuando el cultivo es todavía joven y las necesidades de agua son menores.

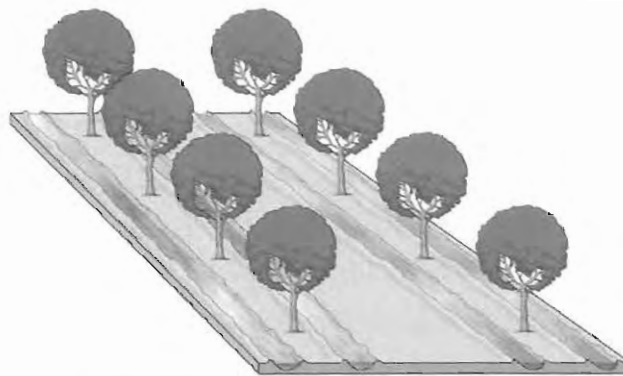


Figura 1. Representación esquemática de un riego de cultivos leñosos aplicando el agua mediante dos surcos por árbol.

Se aconseja usar el riego por **surcos en pendiente**, abiertos en cola y con escorrentía, cuando el cultivo sea **sensible al encharcamiento** ya que el agua no se almacena sobre el suelo un periodo de tiempo largo sino que fluye durante el tiempo necesario para infiltrar la lámina requerida. Sin embargo no se aconseja implantar un cultivo altamente sensible a la salinidad en un sistema de riego por surcos cuando el agua es salina porque **las sales tienden a acumularse en la zona de raíces**, lo que puede provocar problemas de germinación de semillas y afectar posteriormente a la producción del cultivo. Una alternativa consiste en ensanchar los surcos y sembrar una línea de cultivo a cada lado del surco de manera que la zona de acumulación de sales quede **fuera del alcance de las raíces**.



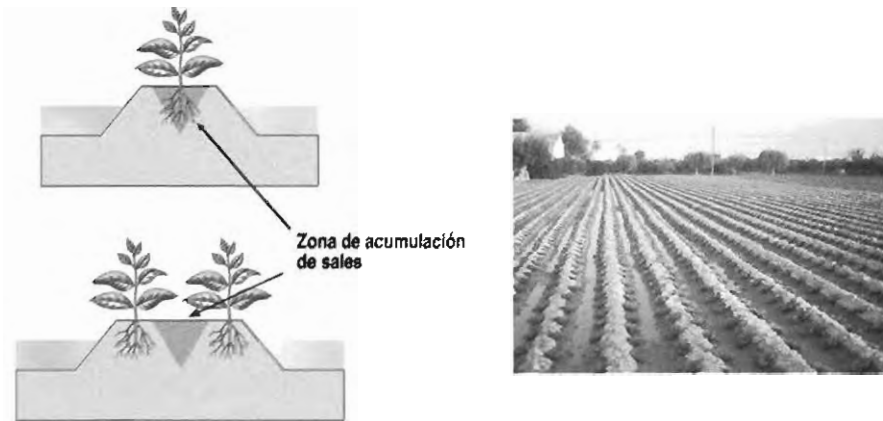


Figura 2. La salinización de la zona radicular se puede evitar sembrando en dos líneas por surco de riego.

Los riegos por tablares y por fajas se utilizan eficazmente para regar cultivos hortícolas, arbóreos y especialmente cultivos forrajeros densos que ocupan la totalidad de la superficie del suelo como alfalfa o praderas. Sin embargo, al ser los tablares un tipo de riego en que el suelo permanece inundado durante un cierto periodo de tiempo, debe evitarse su uso en suelos con baja capacidad de infiltración cuando las raíces del cultivo necesiten una buena aireación, es decir, sean sensibles a encharcamientos. En estos casos es preferible regar por fajas y si es posible, por surcos.

Cuando se pretende regar cultivos arbóreos mediante un riego por superficie, puede emplearse cualquier tipo si el cultivo en cuestión no es sensible al encharcamiento. Pero con marcos de plantación muy amplios puede no estar aconsejado el riego por tablares o fajas en los que toda la superficie del suelo queda cubierta por el agua, y al ser sólo una parte del suelo la que está ocupada por las raíces, la eficiencia puede ser muy baja; igualmente, los problemas de malas hierbas pueden llegar a ser muy importantes. Es común en muchos cultivos leñosos aplicar el riego mediante alcorques e incluso pozas que suponen una ventaja importante cuando la disponibilidad del agua es reducida ya que se consigue un importante ahorro.

NECESIDADES DE RIEGO

Un aspecto fundamental en el diseño del sistema de riego radica en su capacidad para suministrar al cultivo la cantidad de agua que necesita cuando sus requerimientos son máximos. Como es lógico, el sistema deberá ser capaz de satisfacer esa demanda.

Según se expuso en la Unidad Didáctica 6 del módulo 1 “Fundamentos del Riego”, las necesidades de agua del cultivo están definidas por la evapotranspiración (ET), en la que se cuantifican de forma conjunta la influencia de las condiciones climáticas (evapotranspiración de referencia, ET_r) y las características del cultivo (coeficiente de cultivo, K_c). La evapotranspiración es variable a lo largo del año, pero para diseñar la instalación de riego es necesario conocer su valor máximo con objeto de que pueda suministrar el agua necesaria en ese periodo.

Para el cálculo de la evapotranspiración suelen usarse valores de evapotranspiración de referencia medios (normalmente mensuales), así como valores de coeficiente de cultivo aproximados para cada

cultivo y fase de desarrollo. Para tener en cuenta las variaciones que pueden producirse de un año a otro en los valores de evapotranspiración de referencia, la ET máxima calculada debe multiplicarse por 1.1. El valor resultante será la ET que se considerará en el diseño de la instalación y suele denominarse evapotranspiración de diseño (ETd).

EJEMPLO

El valor máximo de ET para un cultivo de remolacha en Córdoba, calculado a partir de valores medios mensuales de evapotranspiración de referencia, es de 8.3 milímetros/día. La evapotranspiración de diseño (ETd) será:

$$ETd = ET \times 1.1 = 8.3 \times 1.1 = 9.13 \approx 9.1 \text{ milímetros/día}$$

UNIFORMIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA INFILTRADA

Cuando se aplica el agua al suelo con cualquiera de los métodos y tipos de riego existentes, es imposible que la uniformidad en la distribución del agua infiltrada sea del 100 %, es decir, que todos los puntos reciban la misma cantidad de agua. Esto se debe básicamente a la diferencia en tiempos de infiltración a lo largo de la parcela y a la heterogeneidad de los suelos, que provocan infiltraciones diferentes aunque la cantidad de agua aportada sea igual.

En el riego por superficie en particular, al aplicarse el agua en un extremo, diferentes puntos de la parcela estarán cubiertos por agua distintos tiempos, lo que supone que **la cantidad de agua infiltrada es variable a lo largo del campo**. Por ello, la lámina de agua infiltrada no es homogénea a lo largo de la parcela sino que las zonas próximas a cabecera infiltrarán, por lo general, una mayor cantidad de agua que las próximas a cola.

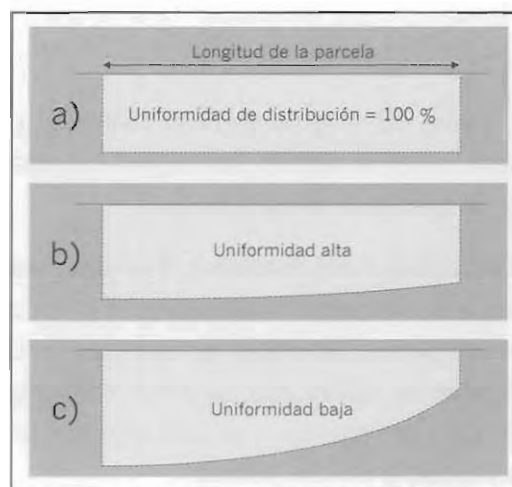


Figura 3. Uniformidad en la distribución del agua infiltrada
a) situación ideal; b) alta uniformidad; c) baja uniformidad.

Por este y otros motivos, suelen existir zonas dentro de la parcela que **reciben exceso de agua** con respecto a la lámina requerida y se genera *filtración profunda*, mientras que otras tienen **déficit o falta de agua**. A efectos de diseño del sistema, suelen establecerse dos criterios para satisfacer la lámina requerida consistentes en: uno, permitir que **se produzca déficit sólo en la cuarta parte de la longitud de la parcela**, la más próxima a cola; y dos, satisfacer la lámina requerida en toda la longitud de la parcela, es decir, no permitir déficit.

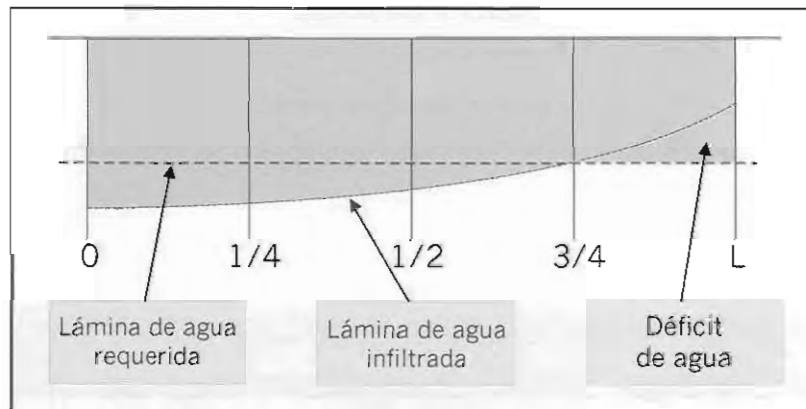


Figura 4. Criterio de diseño en riego por superficie relativo a la uniformidad: permitir déficit sólo en el último cuarto de la parcela.

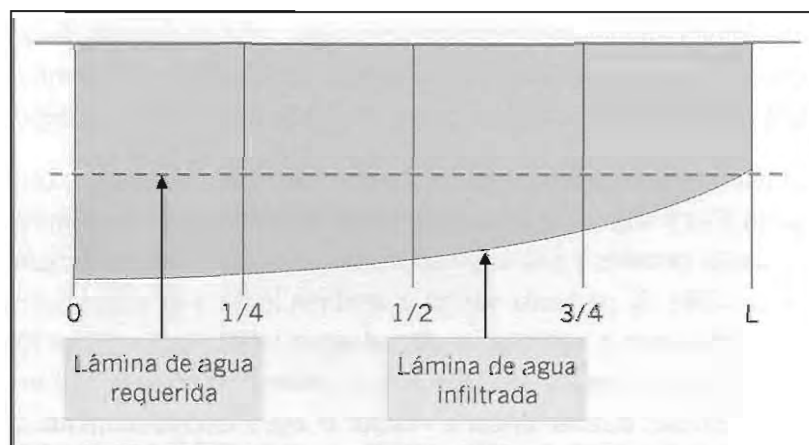


Figura 5. Criterio de diseño en el riego por superficie relativo a la uniformidad: no permitir déficit en toda la parcela.

Aunque se tengan en cuenta estos criterios, **siempre debe procurarse que la uniformidad sea la mayor posible** ya que un mismo criterio o grado de satisfacción de las necesidades del cultivo se puede conseguir con uniformidades muy diferentes. Lograr una elevada uniformidad en la distribución del agua implica que las plantas reciban cantidades similares y se evite al máximo la existencia de zonas con menor producción.



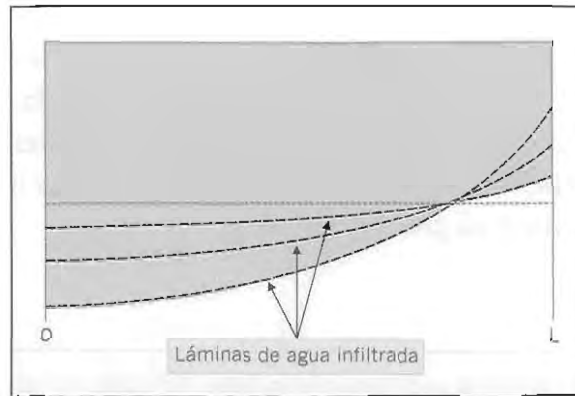


Figura 6. Respetando el mismo criterio de diseño se pueden conseguir diferentes uniformidades de aplicación.

3.3 Características de las unidades de riego

TIPO DE SUELO

En el riego por superficie, el **tipo de suelo** y sus características físicas son elementos determinantes de la calidad o resultado del riego, ya que para tiempos de infiltración iguales la cantidad de agua que se infiltrará en cada punto será mayor o menor según la capacidad de aquél para infiltrarla. Además, en este método de riego las características del suelo (principalmente físicas) influyen mucho en la distribución del agua por la totalidad de los puntos de la parcela. Por ambos motivos es preciso considerar el tipo de suelo a la hora de realizar el diseño del sistema de riego.

La textura del suelo puede variar desde arcillosa (suelos llamados “pesados”), con partículas minerales y poros muy pequeños y baja velocidad de infiltración, hasta arenosa (también llamados “ligeros”) con poros y partículas grandes y alta infiltración, pasando por casos intermedios en que los porcentajes de distintos tamaños de partícula varían y también lo hace la velocidad de infiltración. Por ejemplo, suelos de textura franca a arenosa en que el agua infiltra con relativa rapidez. Suelos con textura arcillosa suelen provocar **mayor escorrentía** (al estar la infiltración del agua bastante limitada) mientras que los arenosos pueden llegar a infiltrar el agua tan rápidamente que se origine una **excesiva filtración profunda**.



Figura 7. Relación entre la textura del suelo y su velocidad de infiltración de agua.



Pero incluso en suelos aparentemente homogéneos, la variación en la infiltración puede ser muy importante, por lo que es preciso tener en cuenta la variabilidad en la cantidad de agua infiltrada a igualdad del resto de factores. Tal variación se debe, entre otros motivos, a la presencia de poros de distinto tamaño, grietas en suelos expansibles, canales realizados por animales o provocados por raíces muertas o caminos preferenciales debido a la estructura del suelo.

Los suelos con velocidad de infiltración baja o muy baja pueden ser recomendables para regar tablares porque en ellos no se genera escorrentía, aunque el tiempo de riego en estos casos deba ser muy alto para permitir que el suelo infiltre el agua necesaria para satisfacer la lámina requerida. Ha de tenerse en cuenta, sin embargo, que no debe realizarse esta práctica cuando el cultivo es sensible al encharcamiento prolongado del terreno. Si un suelo arenoso o con velocidad de infiltración alta se riega mediante tablares, será preciso aplicar caudales muy grandes para permitir completar el avance del agua desde cabecera hasta cola en un tiempo prudencial; en cualquier caso es muy probable que en zonas próximas a cabecera la cantidad de agua perdida por filtración profunda sea elevada, disminuyendo así la eficiencia de aplicación del riego.

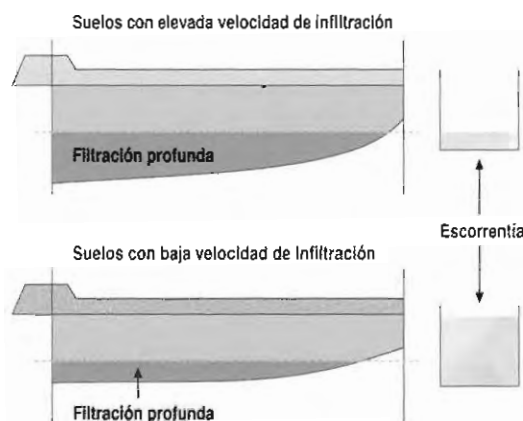


Figura 8. Pérdidas de agua por filtración profunda o percolación y por escorrentía según la velocidad de infiltración del suelo.

Regar por **surcos en pendiente o por fajas** en suelos con baja velocidad de infiltración implicará con bastante probabilidad **generar gran cantidad de escorrentía, por lo que es recomendable su empleo en suelos más ligeros** aunque sea preciso aplicar caudales más elevados.

Es preciso considerar otros dos aspectos relacionados con las características físicas del suelo al manejar el riego, es decir, al decidir las operaciones a realizar durante éste: por un lado, suelos con alto contenido en partículas de *limo* suelen producir **un sellado o taponamiento de los poros** del suelo debido al movimiento del agua durante el avance, por lo que la velocidad de infiltración del suelo disminuye y es preciso alargar el riego después de completarse el avance para satisfacer la cantidad de agua requerida. Por otro debe tenerse en cuenta que **suelos arcillosos con características expansivas**, muy comunes en muchas zonas de Andalucía, presentan **grietas de gran tamaño** cuando están secos antes del riego. Las grietas infiltran el agua aplicada rápidamente y en muchos casos las necesidades de agua se satisfacen en un tiempo de infiltración muy corto, por lo que prácticamente no es preciso un almacenamiento prolongado de agua sobre el suelo y la aplicación de agua puede suspenderse una vez que se ha completado el avance.



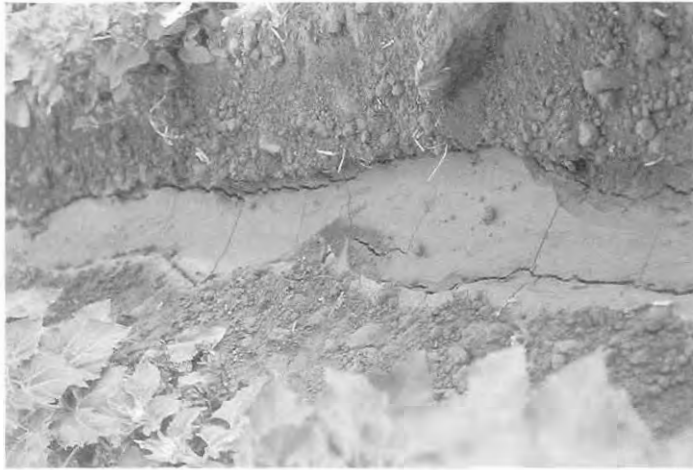


Figura 9. Sellado del suelo y taponamiento de los poros en un suelo limoso tras un riego.

PENDIENTE

La **pendiente** de una parcela de riego es la inclinación que tiene la superficie del suelo con respecto a la horizontal. En riego por superficie, las parcelas o no tienen pendiente (están a nivel) o tienen pendiente muy reducida, la suficiente para permitir el discurrir del agua desde la zona de aplicación hasta todos los puntos. En cualquiera de los dos casos, es fundamental que la totalidad de la parcela tenga la misma pendiente y no existan cambios, o lo que es igual, **que esté bien explanada**, ya que de lo contrario el almacenamiento y la infiltración del agua se ven alteradas.



Figura 10. Efecto de una mala explanación en el avance en un sistema de riego por fajas.

La pendiente de la parcela está muy determinada, en la mayor parte de los casos, por la topografía del terreno, por lo que los sistemas de riego por superficie suelen implantarse en zonas de vega o valle que **permiten una rápida, fácil y poco costosa explanación del terreno**. En casos de *topografía* ondulada el terreno puede explanarse cuando no es posible implantar otro método de riego o el cultivo es de alto valor y puede amortizarse rápidamente, aunque siempre dentro de un intervalo de pendientes razonable. Si la topografía es escarpada o con grandes pendientes suelen obligar a realizar parcelas muy pequeñas e irregulares (bancales) lo que **dificulta las operaciones mecanizadas**.

La pendiente es uno de los factores responsables de la **velocidad del agua cuando avanza** y circula a lo largo de la parcela. A mayor pendiente, más rápido será el avance y antes se completará esta fase o etapa, por lo que los tiempos de infiltración serán más parecidos en toda la parcela y se incrementará la uniformidad del agua infiltrada. Sin embargo influye directamente en la capacidad erosiva del agua; si se aplican dos caudales iguales, a más pendiente mayor será el arranque de suelo. Se recomienda que las parcelas de riego por superficie **no superen el 2% de pendiente para disminuir al máximo el riesgo de erosión** aunque dependiendo también del tipo de riego y el tipo de suelo incluso con pendientes menores la erosión puede ser muy importante.

En ocasiones en que la pendiente es excesiva para realizar un riego por surcos y el terreno no pueda explanarse a menor pendiente, es posible **orientar los surcos en otra dirección que no sea la de la máxima pendiente** o la del paso óptimo de maquinaria (en la que tengan que dar menos vueltas, por ejemplo) y disminuir así su pendiente. Esta práctica supone, en cambio, contar con surcos de diferente longitud lo que dificulta el manejo del riego y puede complicar el proceso de distribución del agua desde la acequia o canal hasta los surcos.

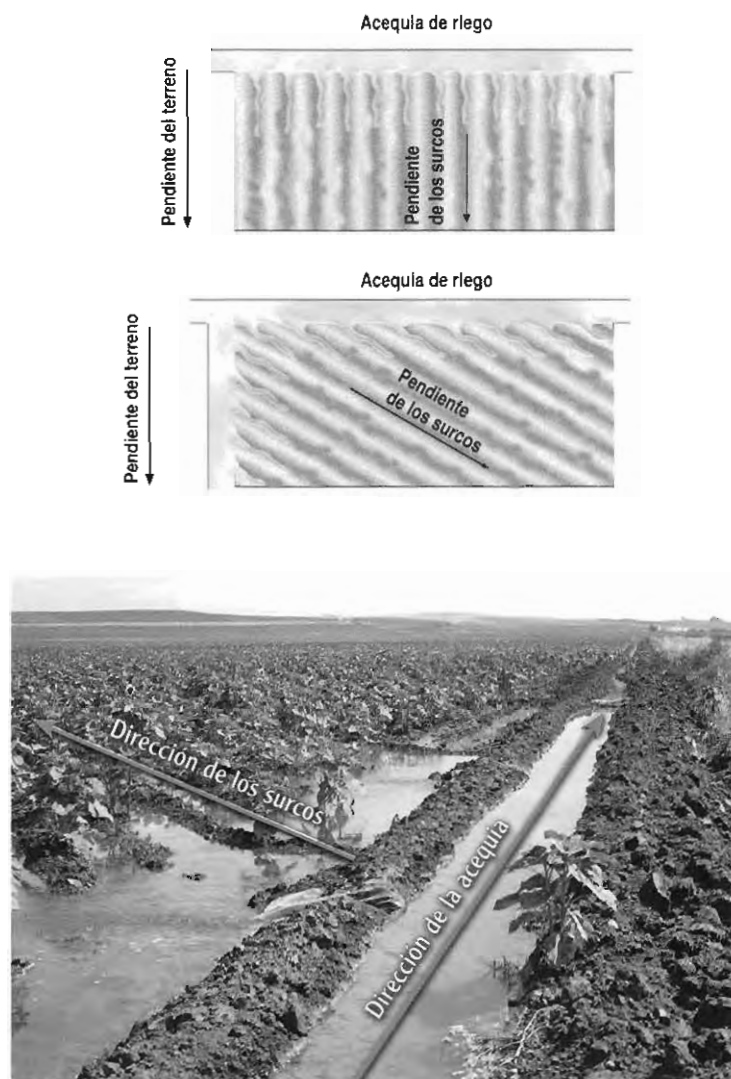


Figura 11. Disminución de la pendiente de los surcos de riego mediante un cambio de orientación.

LONGITUD O DIMENSIONES

La **longitud de la parcela** en el riego por surcos o **las dimensiones de los tablares y de las fajas**, son factores que pueden modificarse con cierta facilidad para realizar los riegos de la forma más eficiente posible. En cualquier caso, la geometría de las parcelas suele estar delimitada por barreras físicas como caminos, canales, arroyos, etc. que reducen las posibilidades de adaptación a las dimensiones óptimas.

Para un uso eficiente del agua es preciso tener en cuenta que las dimensiones deberán de ser **menores cuanto más ligero o arenoso sea el suelo** (y mayor su velocidad de infiltración), con objeto de conseguir completar la fase de avance del agua rápidamente. A medida que la infiltración es menor (suelos más arcillosos) los surcos pueden tener mayor longitud y los tablares y fajas mayor superficie. En estos casos será necesario aplicar caudales elevados lo que puede provocar un serio riesgo de erosión del suelo.

Dependiendo del valor de la *infiltración básica* del suelo (infiltración tras un tiempo prolongado), se pueden recomendar las siguientes **longitudes para surcos de riego**:

	Velocidad de infiltración básica (milímetros / hora)		
	Menor de 4 (suelo arcilloso)	De 4 a 12 (suelo franco)	Mayor de 12 (suelo arenoso)
Pendiente (%)	Longitud (metros)		
0.1	350-500	200-450	80-150
0.3	400-800	300-600	150-400
0.5	400-750	300-500	120-300
1.0	250-600	220-450	80-250
2.0	200-400	150-350	50-150

De forma análoga, para **fajas con una pendiente del 0.3 %**, muy usual y recomendada, y en función del tipo de suelo (características de infiltración), pueden ser bastante adecuadas las dimensiones que se presentan a continuación:

Tipo de suelo	Anchura (metros)	Longitud (metros)
Arenoso	10-12	50-80
Franco	10-15	100-200
Arcilloso	10-15	150-300

Siempre que el resto de factores de diseño lo permitan, debe considerarse la posibilidad de diseñar las parcelas de riego lo más grandes posible, con objeto de favorecer la mecanización del resto de operaciones y disminuir la mano de obra para realizar el riego.



3.4 Otros factores a considerar en el manejo y diseño del riego

CAUDAL

El desarrollo del riego, y principalmente lo que se refiere a los *tiempos de avance, de receso y de infiltración*, está muy condicionado al caudal de agua que se aplique durante el riego. Es una variable de manejo muy importante que ha de ser estudiada antes de regar para conseguir un resultado aceptable del riego; la experiencia del agricultor suele ser un factor clave al decidir el caudal a aplicar.

Para determinar el **caudal de riego** ha de tenerse en cuenta la cantidad de agua que llega a la parcela por el canal o acequia ya que ésta será la máxima cantidad que se podrá aplicar a una unidad de riego; posteriormente deberán considerarse las dimensiones de la parcela y la pendiente. Es importante tener presente que **a mayor caudal aplicado el avance del agua será más rápido** y por lo tanto los tiempos de infiltración a lo largo de la parcela más parecidos, lo que repercutirá en la uniformidad del agua infiltrada.

Considerando de forma conjunta la pendiente de la parcela, sus dimensiones y las características de infiltración del suelo se podrá determinar el caudal a aplicar. Pero en ocasiones es desaconsejado aplicar el caudal elegido, por ejemplo porque no se satisfagan las necesidades del cultivo, en cuyo caso **será preciso replantear el diseño de las parcelas** y adecuarlas modificando sus dimensiones, orientación y en ciertos casos la pendiente.

Aunque los caudales pueden ser muy diversos en función de los valores del resto de variables de diseño, para fajas con pendiente de 0.3 % y tablares según sean sus dimensiones, se podrían recomendar los siguientes:

Caudales recomendados para fajas con 0.3% de pendiente			
Tipo de suelo	Anchura (metros)	Longitud (metros)	Caudal (litros/segundo)
Arenoso	10-12	50-80	150-300
Franco	10-15	100-200	100-300
Arcilloso	10-15	150-300	50-150

Caudales recomendados para tablares		
Tipo de suelo	Superficie (metros cuadrados)	Caudal (litros/segundo)
Arenoso	600-2500	30-450
Franco	500-7500	15-200
Arcilloso	4000-12000	25-120



El **caudal aplicado a los surcos de riego** puede ser muy variable dependiendo de su longitud y pendiente, pero por lo general no suelen ni deben ser mayores de 3 litros por segundo. Para controlar la erosión del suelo en riego por surcos se recomiendan los denominados **caudales máximos no erosivos**, cuyos valores dependen de la facilidad del suelo a ser erosionado y de la pendiente de los surcos. Un suelo será fácilmente erosionable si está poco estructurado, muy suelto, como después de realizar la labor de asurcado, o si está muy seco. Por el contrario, será poco erosionable si, por ejemplo, está húmedo, bien estructurado o tiene restos de cultivo como raíces u hojas.

Caudal máximo no erosivo para riego por surcos (litros/segundo)				
Tipo de suelo	Pendiente (%)			
	0.1	0.2	0.3	0.5
Suelo muy erosionable	1.1	0.45	0.25	0.12
Suelo poco erosionable	2.15	0.85	0.50	0.25

TIEMPO DE RIEGO

El **tiempo de riego** es una variable de diseño y manejo del riego con la que se determina la **duración de la aplicación de agua**. Es muy flexible y fácilmente modificable por el agricultor, que podrá decidir si regar más o menos tiempo dependiendo de sus necesidades. Existe sin embargo la posibilidad de que por motivos de organización de la red de distribución de agua se le imponga un tiempo máximo de disposición de agua para riego, por lo que puede ocurrir que sea preciso modificar la configuración de la parcela o el caudal para adaptarse a la dotación de agua.

En general el tiempo de riego será mayor cuanto mayores sean las necesidades de agua del cultivo y más agua deba de aportarse al suelo; igualmente, a medida que las dimensiones de las parcelas o longitud de los surcos aumente, el tiempo de riego se deberá incrementar para completar la fase *de avance* y, en su caso, prolongar el almacenamiento del agua sobre el suelo y permitir que se infiltre la lámina de agua requerida en cada punto de la parcela. El tipo de suelo también puede ser un factor a tener en cuenta a la hora de decidir el tiempo de riego, ya que suelos pesados o arcillosos infiltran el agua muy lentamente y es preciso prolongar el tiempo de infiltración para conseguir el mismo objetivo.



Resumen

Como cualquier método de riego, el riego por superficie tiene como objetivo cubrir las necesidades de agua del cultivo de manera uniforme y eficiente, para lo cual debe ser diseñado correctamente antes de realizar los riegos y debe ser manejado de forma adecuada durante su ejecución. En los procesos de diseño y manejo han de tenerse en cuenta tanto criterios de tipo agronómico como hidráulico.

Criterios o elementos de carácter agronómico son el tipo de cultivo a regar, el sistema de riego, las necesidades de riego, la uniformidad en la distribución del agua infiltrada que se pretenda conseguir y el suelo sobre el que se riega.

Con esas premisas, las características geométricas de las parcelas, longitud o dimensiones, el tipo de suelo sobre el que se desarrolla el riego y la pendiente, son características que deberán tenerse en cuenta para definir el manejo del riego. En muchas ocasiones será preciso modificar alguna de ellas para optimizar el riego. Finalmente se podrán determinar las variables de manejo como el caudal a aplicar y el tiempo de riego, si bien puede ser preciso replantear determinadas características del sistema para regar de forma correcta.



Autoevaluación

1. ¿Qué tipo de riego por superficie es el menos indicado para regar cultivos en línea?
 - a) El de tablares
 - b) El riego por surcos en pendiente o a nivel
 - c) El riego mediante pozas o alcorques
 - d) El riego por fajas

2. En una parcela con suelo bastante pesado se pretende regar melocotoneros (muy sensibles al encharcamiento), para lo cual el mejor tipo de riego por superficie será el de tablares.
Verdadero / Falso

3. A efectos de diseño del sistema de riego, el valor de evapotranspiración que se utiliza es el máximo de evapotranspiración multiplicado por 1.1 para tener en cuenta las variaciones que puedan producirse respecto de los valores medios. Tal evaporación se denomina
 - a) Evapotranspiración media máxima
 - b) Evapotranspiración de referencia
 - c) Evapotranspiración de diseño
 - d) Ninguna de las anteriores es correcta

4. Uno de los criterios más utilizados en riego por superficie para satisfacer la lámina de agua requerida por el cultivo, es que con el riego se aporte la cantidad de agua requerida al menos
 - a) en la cuarta parte de la longitud de la parcela
 - b) en la zona más próxima a cola de parcela
 - c) en la mitad de la longitud de la parcela
 - d) en las tres cuartas partes de la longitud de la parcela

5. Una parcela de riego por surcos se encuentra situada en la Vega de Sevilla sobre un suelo muy arcilloso y expansible con gran cantidad de grietas de tamaño considerable. Como el agua se infiltra en ellas muy rápidamente, la mejor recomendación para el agricultor sería:
 - a) aplicar un caudal muy pequeño para que las grietas se llenen lentamente
 - b) prolongar la fase de avance todo lo posible
 - c) cortar el suministro de agua poco después de que se complete el avance
 - d) alargar el riego después de completar el avance

6. En riego por superficie, la pendiente de las parcelas suele ser un factor fácilmente modificable que permite un uso variable según las necesidades de cada sistema.
Verdadero / Falso

7. Se pretende regar por surcos un cultivo de maíz, pero la pendiente natural del terreno es superior al 2%. ¿Qué podría hacer el agricultor para poder regar por surcos con menor pendiente que la del terreno?
 - a) Alargar los surcos hasta el máximo posible
 - b) Disponer los surcos más espaciados y con el fondo más ancho
 - c) Sembrar el cultivo en dos líneas por surco
 - d) Orientar los surcos en otra dirección distinta a la de máxima pendiente

8. De forma general se puede afirmar que cuando el suelo es arenoso o ligero las dimensiones o longitud de las parcelas de riego por superficie deben ser menores que si el suelo es más pesado o arcilloso.
Verdadero / Falso

9. Para controlar el riesgo de erosión en riego por surcos es recomendable no aplicar un caudal mayor que
 - a) El caudal recomendado para un tablar de la misma superficie
 - b) El máximo caudal no erosivo
 - c) El que origina una fase de avance de 2 horas
 - d) El que permite infiltrar el agua requerida en cabecera de parcela



4.1 Introducción

El agua destinada a riego puede proceder de lugares muy diversos, como de un cauce natural, embalse, depósito o cualquier otra fuente de abastecimiento. En ocasiones es preciso transportarla o conducirla hasta el sistema que finalmente se encarga de distribuirla hasta las parcelas y unidades de riego donde va a ser utilizada. Se debe diferenciar, por tanto, entre el sistema de captación de agua desde el lugar de origen, el de transporte o conducción y el sistema de distribución que la reparte desde el ámbito de zona regable hasta parcela.

La estructura de la red de distribución del agua dependerá de la complejidad del sistema y no siempre tiene por qué existir un sistema formado por un mismo número de redes diferenciadas o definidas como tal, como ocurre en multitud de pequeños regadíos tradicionales. Sin embargo, lo más frecuente es encontrar tres redes a distinto nivel dentro del sistema de distribución.



Figura 1. Vista aérea de una zona de riego por superficie.

El agua captada se conduce hasta una **red de distribución o transporte primaria**, que está formada normalmente por canales en obra de formas muy variadas cuyo mantenimiento compete a la comunidad de regantes y, en su caso, a la Confederación Hidrográfica a la que pertenezca dicha comunidad de regantes. Esta red primaria abastece un sistema de canales (que suelen ser de menor tamaño) o acequias que constituyen la **red secundaria**. A partir de entonces el agua es transportada hasta cada unidad de riego a través de una red, normalmente abierta, formada por una serie de canales o acequias que se irán ramificando y que forma la **red terciaria**. A lo largo de esta red existirán **estructuras para la distribución, el control y la protección del sistema**.



En el riego por superficie es fundamental **conocer el caudal** que circula por la *acequia* o canal de distribución, en las entradas a las parcelas, así como el que se está utilizando en los puntos de suministro de agua a las *unidades de riego*, con objeto de regar uniforme y eficientemente. Por tanto, el *aforo* en las unidades de riego servirá de **control de la cantidad de agua aplicada** para una correcta ejecución de los riegos.

4.2 Organización y control de la distribución del agua de riego

El agua circula dentro del sistema de distribución por conducciones principales que suelen estar controladas por las comunidades de regantes. De esta red de distribución principal derivan otra red de conducciones secundarias y, en su caso terciarias, que reparten el agua a las distintas parcelas mediante tomas a través de las cuales se podrá abrir o cortar el paso del agua, permitiendo así el control y reparto de agua. En estas tomas se regula el caudal en función de las necesidades de riego y la capacidad de la red de distribución.

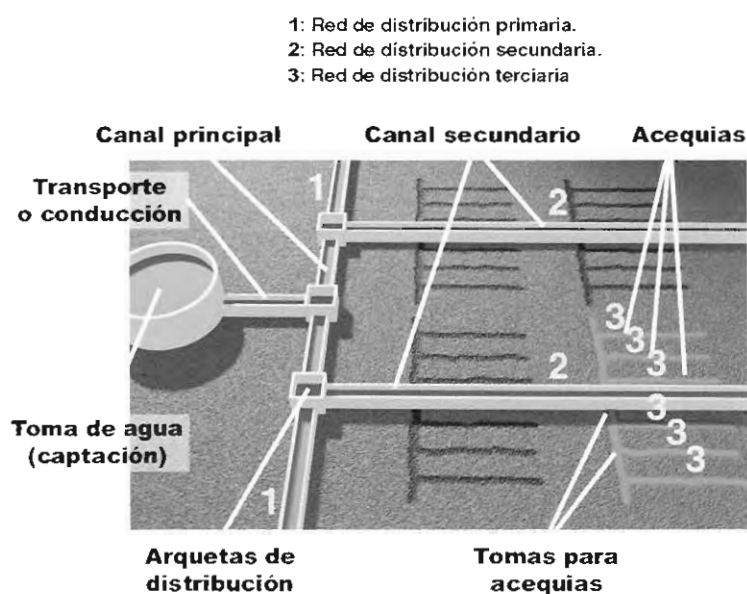


Figura 2. Esquema de una red de distribución típica en un riego por superficie.

Pueden existir diferentes formas o niveles de derivación del agua de riego mediante tomas:

- **Tomas para acequias o canales:** el agua pasa de unos canales a otros mediante tomas que tienen por objeto desviar el agua a zonas donde se encuentran las unidades de riego. Normalmente el agua pasa a otro canal o acequia de menor tamaño, en obra o de tierra. El cierre y la apertura de estas tomas suele corresponder a la comunidad de regantes y debe estar controlado por el guarda de dicha comunidad.
- **Tomas directas para parcela:** el agua pasa a la parcela desde una acequia o canal. El cierre y apertura de estas tomas estará controlado por el propio agricultor, aunque con la supervisión del guarda, para llevar un control de caudal y realizar una buena distribución del agua de riego.



Figura 3. Toma de agua desde una acequia a parcela.



Figura 4. Toma de agua desde una acequia de tierra a parcela.

Tanto en una red de distribución con canales abiertos como en caso de que parte de la red de distribución del riego sea subterránea, es necesario utilizar las **arquetas de distribución** para repartir el agua desde un canal o acequia a otras acequias o directamente a parcela. Tendrán tantas salidas como parcelas o sectores se quieran regar, y deben permitir **controlar el caudal de salida** en función de las necesidades que haya en cada momento.



Figura 5. Arqueta de distribución dotada de varias salidas de agua a parcela.

Otra estructura muy usual en las redes de distribución son los **partidores**, que permiten dividir el caudal de una acequia o canal en un número de partes iguales o diferentes. El objeto de estas estructuras es **tener un mayor control del caudal de agua** y poder distribuirla de la manera más apropiada en cada instante.



Figura 6. División y distribución del agua de una acequia mediante un partidor.

Así como la red de distribución del agua de riego es imprescindible, debería fomentarse el uso de las **redes de desagüe** dentro de la comunidad de regantes, con el fin de recoger el agua de *escorrentía* y conducirla de forma adecuada hasta ser vertida en los cauces naturales o ser reutilizada para el riego de parcelas situadas aguas abajo. Se evitan así pérdidas de agua, problemas de encharcamientos en cola de las parcelas, colmatación de dichas zonas con sedimentos, se favorece el paso de maquinaria y la realización de otras operaciones de cultivo, etc.

La cantidad de **agua de escorrentía** generada durante un riego dependerá del diseño de las parcelas y del manejo que se haga del riego. En cualquier caso, **siempre es deseable reconducirla a lugares apropiados**; de una forma controlada, a ríos, arroyos etc., para que pueda ser aprovechada por otras comunidades que riegan con aguas de retorno (“sobrantes”); conduciéndola a balsas de almacenamiento y sedimentación para que el agua sobrante de las unidades de riego sea almacenada y reutilizada posteriormente. El agricultor debería contar con *escorrederas* tanto a escala de parcela como de unidad de riego para conducir el agua de escorrentía a la red de desagüe.

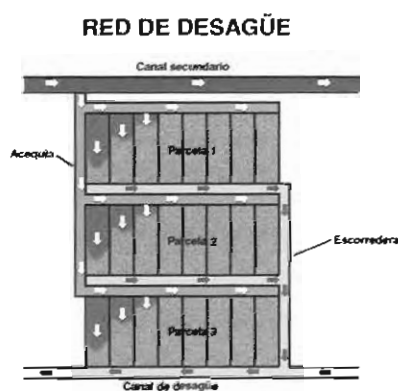


Figura 7. Esquema de escorrederas y red de desagüe.



Organización del control del agua de riego.

En toda zona regable debe existir un **control en la distribución del agua** de riego de forma que los agricultores que pertenecen a dicha zona **no tengan problemas de abastecimiento**. Normalmente, la aplicación de un riego está sujeta a una serie de limitaciones que vendrán impuestas por el caudal del que se dispone, capacidad de la red de distribución, cultivos existentes en la zona, época de máximas necesidades, etc. Por todo ello, debe existir una organización en la administración del agua de riego para que nadie resulte perjudicado.

Los riegos se suelen organizar por dos métodos diferentes:

- **Riegos por turnos:** normalmente los turnos de riego se establecen según orden de acceso de las acequias dentro de una comunidad. Si además existen otras comunidades de regantes en el mismo curso de agua, también deben establecerse turnos entre comunidades. En el riego por turnos, si el reparto es por tiempos, los regantes situados en cola no suelen mostrarse satisfechos debido a la disminución de caudal que suele ocurrir tanto por pérdidas de agua en la red de distribución como por falta de respeto del turno por parte de los demás regantes. En este sentido, el uso de balsas de regulación situadas en diferentes puntos de la red principal permite flexibilizar el sistema de turnos y mejorar las condiciones de los regantes situados en cola de la red o efectuar el reparto de agua dentro del turno por volúmenes en lugar de por tiempos.
- **Riegos a la demanda:** es un método mucho más flexible que el anterior, en el que el agricultor no tiene que esperar turno para regar sino que tiene libertad para adoptar un programa de riegos. Sin embargo, es el sistema de organización del control más sofisticado y que requiere una mayor inversión en infraestructuras y equipamiento.

En cualquiera de los sistemas de organización de la distribución, siempre es aconsejable que exista una persona cualificada en la comunidad para que el agua se utilice cuando sea realmente necesario y a las dosis requeridas por el cultivo en cada momento. Con ello se pretende hacer un uso efectivo del agua y evitar derroches innecesarios.

4.3 Estructuras de control y protección

En una red de distribución deben **existir elementos que controlen la distribución del agua** de manera que pueda derivarse a las parcelas que hayan de regarse. El uso de estas estructuras es necesario en toda zona regable, comunidad de regantes, y con frecuencia en la propia parcela. Existen varios **elementos de control** en la red de distribución, entre los que se destacarán **las compuertas, las barreras y las tornas**.





Figura 8. Compuerta para regular el caudal desde una acequia hasta la parcela.

Las tomas se regularán con **compuertas**, que son estructuras con las que se controla el caudal. Además, se utilizan para derivar el agua de un canal o acequia a la parcela que se pretende regar. En el caso de acequias de tierra, el agua pasa de unas acequias a otras o bien a parcela mediante unas barreras de tierra llamadas **tornas**.



Figura 9. Cambio de torna en una parcela de riego por surcos.



En ocasiones es necesario **mantener una determinada altura de agua en una acequia** para que el agua pueda pasar a las tomas. Esto se consigue mediante el uso de **barreras**, que pueden ser simples compuertas o estar construidas con materiales muy diversos. En el campo es frecuente ver estas barreras construidas a partir de sacos rellenos de algún material, normalmente de tierra de la misma parcela o de arena. Una vez que ha concluido el riego aguas arriba de la barrera, ésta se levanta y se instala aguas abajo para regar otras unidades de riego.



Figura 10. Barrera en una acequia con objeto de mantener un nivel de agua adecuado.

Además de los elementos de control existen otros de **protección con el fin de evitar situaciones peligrosas en la red de distribución**. Para prevenir estas situaciones se construyen estructuras con las que se intenta disminuir el efecto negativo que puede ocasionar, por ejemplo, que el caudal sea superior a la capacidad de las acequias o la erosión que puede producirse en la cabecera de los cancheros cuando el terreno tiene pendientes acusadas o bien presenta desniveles abruptos.

Entre todas las posibles estructuras de protección que pueden disponerse en una red de distribución, se destacan aquí **los aliviaderos y los saltos y rápidos**.



Figura 11. Aliviadero.

Cuando exista el riesgo de que **el caudal sea superior a la capacidad del canal o acequia**, es necesario disponer **aliviaderos**, que suelen construirse paralelamente a la acequia para que desagüe el caudal sobrante. En el caso de pendientes acusadas o desniveles abruptos, se construyen **saltos y rápidos** para disipar la energía del agua y así evitar que se dañe la red de distribución.



Figura 12. Salto construido para salvar una pendiente excesiva en un canal.

4.4 Medida del caudal. Aforadores

El **aforo** es la **medida del caudal de agua que pasa por un determinado punto de la red de riego**. Su conocimiento es muy importante para poder realizar el riego de forma uniforme y eficiente. La medida del caudal puede hacerse tanto en la acequia o canal de distribución en la entrada de la finca, como en los puntos de suministro de agua a las parcelas.

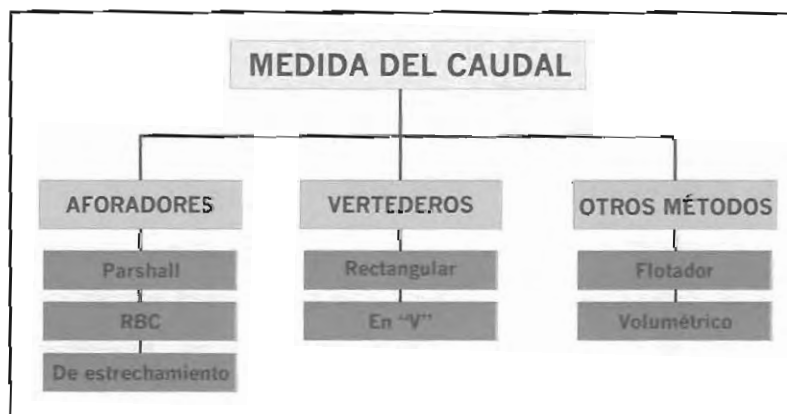


Figura 13. Estructuras y métodos para la medida del caudal.



Para realizar el aforo o medida del caudal existen muchos métodos, aunque en esta unidad sólo se van a estudiar los más utilizados en el ámbito de comunidad de regantes o de parcela, y que además son diseñadas específicamente para ello; otras estructuras como compuertas o saltos pueden usarse, a falta de otras, para aforar.

Los **aforadores** y **vertederos** son **estructuras o dispositivos para medir el caudal**, que se instalan de forma **permanente o provisional** en un canal, acequia o surco. Son bastante precisos y permiten determinar el caudal de forma indirecta, a partir de la medida de **la altura del nivel del agua** en un punto del dispositivo. Cada aforador o vertedero tiene una **curva de descarga** (relación entre altura de agua y caudal), que determina el **caudal que circula en función de la altura medida**. Para obtener una precisión razonable en la medida del caudal, debe realizarse una calibración de cada dispositivo una vez construido y colocado en su lugar de destino, debido a que las curvas de descarga se determinan para dispositivos con unas dimensiones exactas que normalmente no se reproducen durante la construcción de una manera fiable.

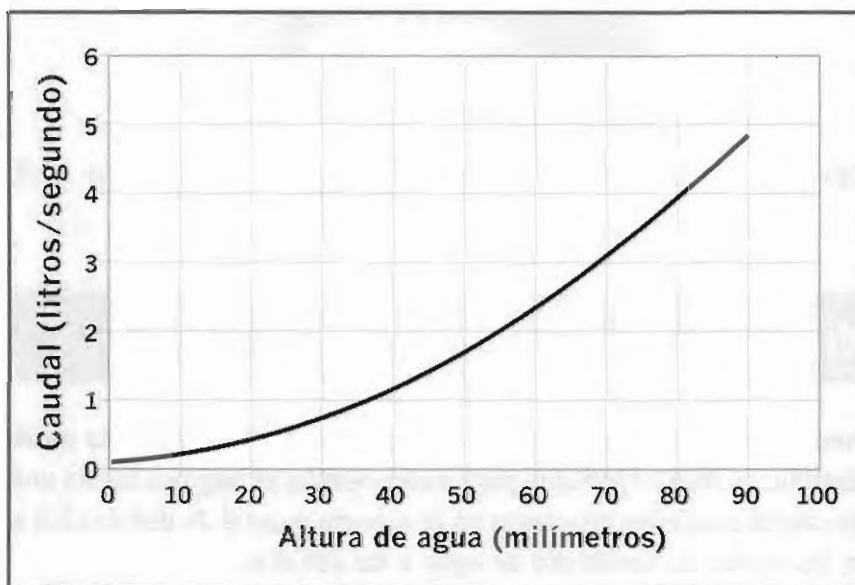


Figura 14. Curva de descarga típica de un aforador o vertedero.

4.4.1 TIPOS DE AFORADORES Y VERTEDEROS:

- ◆ **AFORADOR PARSHALL:** se utiliza con frecuencia para medir **caudales elevados** en el principio de los canales y acequias, justo después de su toma. **Se construyen en obra de fábrica** y constituyen un estrechamiento en el canal. Existen también **aforadores Parshall portátiles**, de menor tamaño y fabricados normalmente en plástico, metal o fibra de vidrio. Sirven para medir caudales reducidos a la entrada de surcos de riego o pequeños tablares. El caudal se determina según la **altura del agua en el estrechamiento**, utilizando su curva de descarga.



Figura 15. Aforador Parshall instalado para medir el caudal a la entrada de un tablár.

- ◆ **AFORADOR RBC O DE “CRESTA ANCHA”**: diseñados fundamentalmente para medir caudal en **surcos de riego o en medianas y pequeñas acequias** de riego, pueden ser portátiles y fabricarse de metal, plástico o fibra de vidrio. Se instalan fácilmente interponiéndolos a la corriente de agua. También pueden construirse en obra de fábrica en las acequias, incluso más fácilmente que los Parshall. Constan de una zona central dotada de un **resalte o elevación** precedida de una rampa. El nivel del agua **medido aguas arriba de este resalte** permite determinar el caudal según una relación de descarga, que en los portátiles será proporcionada por el fabricante.



Figura 16. Medida de caudal de escorrentía en cola de surcos de riego mediante aforadores RBC o de “cresta ancha”.

- ◆ **AFORADORES DE ESTRECHAMIENTO**: miden pequeños caudales de forma rápida y sencilla, frecuentemente en surcos de riego. Tienen la solera horizontal sin ningún resalte y el caudal se determina a partir de la altura de agua sobre la solera del aforador medida en la sección de estrechamiento.



Figura 17. Aforadores de estrechamiento usados para medir el caudal a la entrada de surcos de riego.

Los **vertederos** son estructuras en las que **el agua vierte por encima de una pared**. Constan de una abertura de geometría diversa por la que pasa el agua. Existen varios tipos de vertederos aunque sólo se van a citar los **vertederos rectangulares** y los **vertederos en “V”** por ser los más utilizados.

- ♦ **VERTEDERO RECTANGULAR:** está constituido por una estructura plana que se interpone transversalmente en la corriente y consta de una **abertura rectangular** por la que pasa el agua. El caudal se determina conociendo la altura del agua sobre el borde inferior del vertedero y aplicando la curva o relación de descarga.

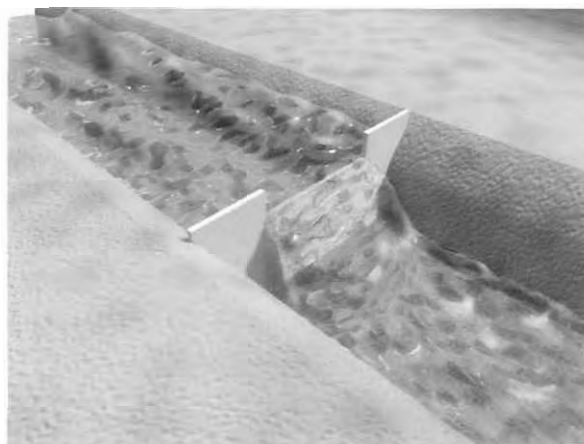


Figura 18. Vertedero rectangular

- ◆ **VERTEDERO EN “V”**: también formado por una estructura plana en la que hay una abertura en forma de “V”, por la que vierte el agua. Es un **vertedero muy preciso** por lo que suelen utilizarse en surcos de riego, en las entradas de agua a la parcela y en pequeñas acequias de distribución.

Tras la construcción o colocación de todo vertedero, es preciso **realizar una calibración** para determinar la correcta relación entre altura de agua y caudal. En los vertederos, la altura de agua no se mide directamente sobre la zona de vertido sino a un par de metros aguas arriba con el fin de tomar una medida más fiable.

4.4.2 OTROS MÉTODOS PARA MEDIR EL CAUDAL DE AGUA:

Además de usar los aforadores y vertederos, existen otras formas de medir el caudal **de forma directa y muy simple, requiriendo muy poco material** para realizar la medida. Los métodos más conocidos y usados por su simplicidad y fiabilidad son los siguientes:

- **FLOTADOR**: se basa en la determinación de **la velocidad del agua en un canal o acequia** midiendo el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer una distancia determinada. En ese tramo, el agua debe discurrir uniformemente, sin alteraciones, turbulencias o irregularidades, por lo que es preciso evitar zonas con elementos singulares como compuertas, saltos, salidas o entradas de agua, etc. El **caudal se calcula multiplicando la velocidad calculada por la sección transversal ocupada por el agua en el canal** y por un **coeficiente corrector**. Cuando el objeto flotante es pequeño y muy ligero, suele emplearse un coeficiente de 0.68.

A partir de datos tomados en multitud de redes de distribución en Andalucía, se ha determinado un coeficiente corrector de 0.8 cuando el objeto flotante empleado es una botella de plástico de un volumen aproximado de 1.5 litros, llena de agua hasta la mitad. De utilizar otro objeto flotante, debería realizarse una calibración del coeficiente corrector antes de calcular los caudales.



Figura 19. Medida del caudal mediante la utilización del método del flotador.



El procedimiento empleado se basa en lo siguiente: se señalan dos puntos separados unos 10 a 20 metros a lo largo del canal y se mide el tiempo que tarda el flotador en recorrer tal distancia. Es preciso tomar la medida varias veces para evitar errores. La velocidad se calcula dividiendo la distancia entre el tiempo que tarda en recorrerla.

EJEMPLO

Utilizando un objeto pequeño de plástico se pretende determinar el caudal en un canal rectangular de 0.5 metros de anchura y 1.0 metro de altura. La altura de agua en el punto medio del tramo elegido es de 0.60 metros. El flotador tardó 20 segundos en recorrer una distancia de 10 metros.

La **velocidad** se calcula dividiendo el espacio recorrido por el objeto entre el tiempo que ha tardado en hacerlo.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} = \frac{10}{20} = 0.2 \text{ metros/segundo}$$

La **sección** del agua en el canal es:

$$\text{Sección} = \text{Base del canal} \times \text{Altura del agua} = 0.5 \times 0.60 = 0.3 \text{ metros cuadrados}$$

El caudal será por lo tanto

$$Q = 0.3 \times 0.2 \times 0.68 = 0.041 \text{ metros cúbicos/segundo o } 41 \text{ litros/segundo}$$

- **VOLUMÉTRICO:** es un método fácil de realizar con pequeños caudales y se emplea principalmente para **medir el caudal en pequeños canales o acequias como pueden ser los surcos de riego**. Consiste en medir el **tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido** cuando se interpone en la corriente de agua. El caudal se calcula dividiendo el volumen del recipiente entre el tiempo que tarda en llenarse, para lo cual también deben realizarse varias medidas de forma que el resultado sea más fiable.



Figura 20. Medida del caudal de entrada a un surco utilizando un recipiente de volumen conocido y un cronómetro.

EJEMPLO

Se desea conocer el caudal que se está aplicando a un surco de riego. Se dispone de un recipiente de 18 litros de capacidad. Se realizan 3 medidas de tiempo de 25.2, 24.9 y 25.4 segundos.

$$\text{El tiempo medio es} = \frac{25.2 + 24.9 + 25.4}{3} = 25.16 \text{ segundos}$$

por lo que el caudal será

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{18 \text{ litros}}{25.16 \text{ segundos}} = 0.71 \text{ litros por segundo}$$

es decir, unos 0.7 litros por segundo.



Resumen

En riego por superficie el agua pasa desde su lugar de origen hasta la parcela de riego por un sistema de distribución, formado por varias redes de diferente orden. De la red de distribución principal el agua pasa a otra red de canales o acequias secundarias mediante tomas. Para distribuir el agua desde un canal o acequia a diferentes acequias o directamente a parcela se utilizan las arquetas de distribución. Otra estructura de distribución son los partidores que permiten dividir el caudal de una acequia o canal. Los riegos se podrán organizar por dos métodos diferentes, bien por turnos o a la demanda.

Las estructuras de control más utilizadas son las compuertas y las barreras. Como elementos de protección, que se instalan en la red de distribución para protegerla frente a riesgos diversos, cabe destacar los aliviaderos y los saltos o rápidos.

El conocimiento del caudal de agua que pasa por un determinado punto de la red de riego, o aforo, es muy importante para poder realizar el riego de forma uniforme y eficiente. Para realizar esta medida se usan los aforadores y vertederos, permanentes o portátiles, existiendo varios tipos de cada uno de ellos. Para determinar el caudal se mide la altura de agua en un punto de la estructura y se relaciona con las curvas de descarga que suministra el fabricante. Otros métodos de aforo simples y prácticos son el método del flotador y el volumétrico.



Autoevaluación

1. Un agricultor se dispone a regar su parcela para lo cual solicita al guarda de la comunidad que le conceda agua un día determinado. Por lo general, ¿qué estructura de la red de distribución tendrá que abrir el guarda para derivar el agua del canal principal al canal secundario que distribuye el agua a las acequias de tierra donde se encuentra la parcela del agricultor?
 - a) Partidores.
 - b) Saltos de agua.
 - c) Aliviaderos.
 - d) Tomas.
2. Los partidores son estructuras de distribución que permiten dividir el caudal de una acequia o canal en un número de partes iguales o diferentes, con objeto distribuir el agua en otros canales y tener un mayor control de ésta.

Verdadero/Falso
3. En una comunidad de regantes la concesión de agua es de $5.000 \text{ m}^3/\text{ha.}$ para repartir a lo largo del año y sin establecerse turnos de riego. Si no existen otras comunidades que tomen el agua del mismo curso, ¿qué método de distribución del agua cree que sería el más adecuado?
 - a) Método de riegos por turnos
 - b) Método de riegos a la demanda
 - c) Cualquiera de los dos anteriores
 - d) Ninguno de los anteriores
4. Los aliviaderos son estructuras de protección que se construyen para evitar pendientes excesivas en canales de distribución.

Verdadero / Falso
5. El aforo es la medida del caudal que pasa por un determinado punto de la red de riego y suele realizarse con aforadores o vertederos. El caudal se determina a partir de la medida de la altura de agua usando las curvas de descarga, iguales para todos los tipos de aforadores y vertederos.

Verdadero/Falso
6. ¿En qué tipo de aforadores la altura de agua se mide en la sección de estrechamiento y sirven para medir caudales de forma rápida y sencilla en surcos de riego?
 - a) Aforadores Parshall
 - b) Aforador RBC o de cresta ancha
 - c) Aforadores de estrechamiento
 - d) Ninguno de los anteriores
7. El método del flotador es un método muy simple y fácil de realizar para medir el caudal, aunque de forma aproximada. Se basa en medir la velocidad del agua, pero ¿cómo se calcula el caudal a partir de la velocidad?
 - a) Multiplicándola por el tiempo.
 - b) Dividiéndola por la sección del canal ocupada por el agua.
 - c) Multiplicándola otra vez por la velocidad del flujo
 - d) Multiplicándola por la sección del canal ocupada por el agua y por un coeficiente corrector.



5.1 Introducción

La evaluación es una práctica imprescindible para **conocer la calidad de los riegos y comprobar si se cumplen o no los objetivos que se pretenden conseguir**, es decir, si la cantidad de agua aplicada con el riego es la que necesita el cultivo, si el agua se ha aplicado de manera eficiente, evitando que se pierda y no sea aprovechada por las plantas. Finalmente si la aplicación del agua ha sido uniforme y todo el cultivo ha recibido cantidades de agua similares.



Aunque la evaluación del riego trata de determinar si se han cumplido estos objetivos, con ella también se pueden **cuantificar las pérdidas de agua durante el riego**, básicamente *filtración profunda* y *escorrentía*, a la vista de las cuales se podrán decidir las posibles prácticas o técnicas de mejora para que los riegos sean mejor aplicados, y conseguir así un mejor aprovechamiento del agua y producciones rentables.

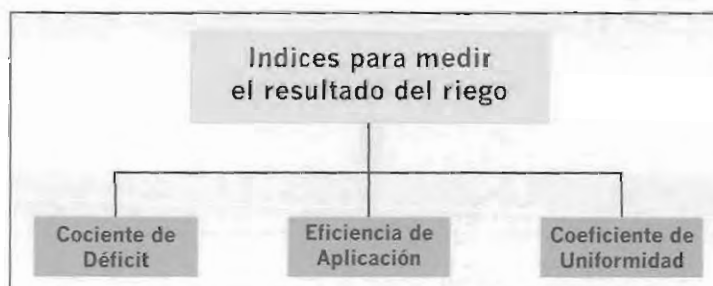


Un sistema de riego por superficie puede evaluarse utilizando conocimientos muy básicos y medidas simples como los que se expondrán a continuación. Sin embargo es muy conveniente que el regante tenga alguna experiencia previa antes de llevar a cabo la evaluación de pequeñas superficies de riego. Las unidades de riego de mayor entidad deberán ser evaluadas preferiblemente por personal técnico cualificado, para lo cual es preciso destacar **la ayuda que puede prestar el personal técnico de los Servicios de Asesoramiento en Riegos en la evaluación de los riegos por superficie**. También hay que recalcar el papel que juegan estos Servicios en la valoración real del riego y la asistencia que pueden ofrecer a los agricultores sugiriendo posibles prácticas de mejora.

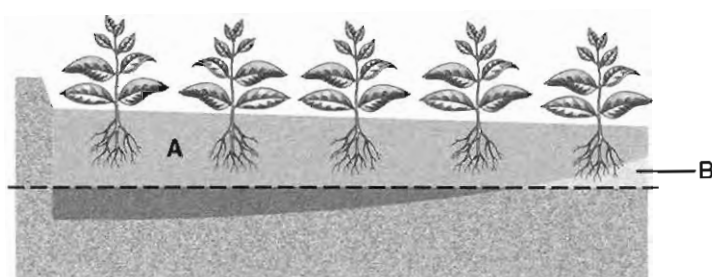
Es muy importante incidir en que las unidades de riego **han de evaluarse de forma periódica**, de manera que se pueda saber si el riego mejora o empeora tanto durante la campaña de riego como de año en año. Asimismo, las evaluaciones son imprescindibles cuando se realiza algún cambio en el sistema como cuando se sustituye un tipo de sistema de riego por otro (por ejemplo de fajas a surcos), cambios en la forma de las unidades de riego, en la forma de aplicar el agua (como de acequia auxiliar a tubería flexible con orificios de salida), etc. De esta manera se podrá saber si el cambio ha influido realmente en mejorar los riegos y conseguir los objetivos mencionados: aplicar al cultivo el agua que necesita y regar uniformemente usando el agua realmente necesaria.

5.2 Índices para medir el resultado del riego

Cuando se realiza un riego se pretende aportar al cultivo el agua necesaria para que se desarrolle correctamente y permita obtener buenas producciones. Pero el agua es un bien escaso y limitado que hay que conservar, evitando que se produzcan pérdidas o procurando que sean mínimas para lo cual es preciso saber si el resultado del riego ha sido bueno o no. Para describir el comportamiento de un riego por superficie se utilizan los tres índices siguientes:



- 1) **Cociente de déficit:** es la relación entre el agua que ha faltado para llenar totalmente la zona donde se encuentran las raíces del cultivo y el agua que realmente hubiera sido necesaria para llenar toda esa zona. Indica qué tanto por ciento del volumen de suelo que debería haber recibido agua no la ha recibido.



A: Agua almacenada en la zona de raíces.
B: Déficit de agua en la zona de raíces.

$$\text{Cociente de Déficit} = \frac{B}{A+B} \times 100$$

Figura 1. Representación esquemática de los elementos que intervienen en el cálculo del cociente de déficit.

2) Eficiencia de aplicación (E_a): es la relación entre la cantidad de agua que es realmente aprovechada por el cultivo (almacenada en la zona de raíces) y la cantidad total que se ha aplicado con el riego. Cuanta más agua se aplique y menos se almacene en la zona de raíces, menor será la eficiencia de aplicación; por el contrario la eficiencia será mayor (y el riego será más eficiente) si gran parte del agua aplicada es realmente aprovechada por las raíces de las plantas.

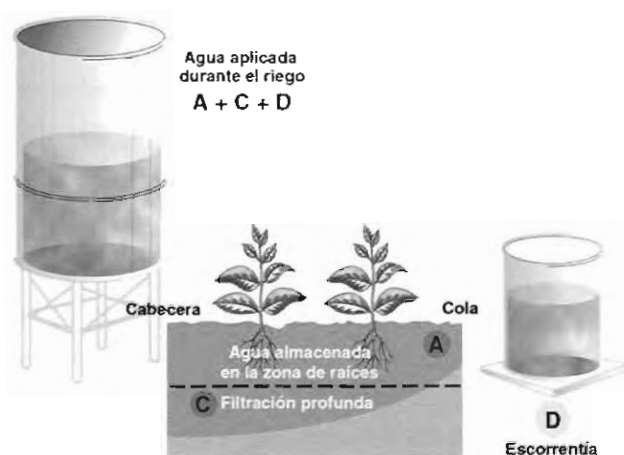


Figura 2. Representación esquemática de la eficiencia de aplicación.

De todas las pérdidas de agua que pueden generarse durante un riego, las que más pueden afectar reduciendo la eficiencia de aplicación son la *filtración profunda* o *percolación* (el agua drena por debajo de la zona de las raíces) y a la *escorrentía* (el agua que escurre sobre la superficie del suelo hasta salir fuera de la parcela). De ambas se pueden obtener la *relación de filtración* y la *relación de escorrentía*, ya comentadas en el módulo 1 “Fundamentos del Riego”, que serán útiles para realizar la evaluación del riego por superficie.



- 3) La forma en que el agua se infiltra en el suelo se estima mediante el **coeficiente de uniformidad (CU)**. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que ha infiltrado en todos los puntos de la parcela, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada. Siempre deberá tratarse que la uniformidad sea lo mayor posible, de forma que la totalidad del cultivo reciba una cantidad de agua similar y la producción sea más homogénea.

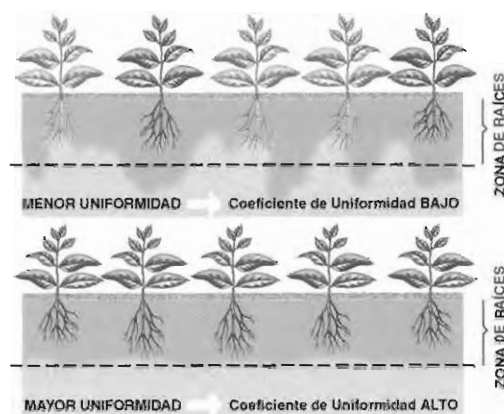


Figura 3. Representación esquemática del coeficiente de uniformidad y su efecto en el desarrollo del cultivo.

5.3 Estimación de la uniformidad del agua infiltrada

La uniformidad en la distribución del agua es un índice **útil para conocer si el cultivo recibe cantidades de agua parecidas en toda la parcela**, y si el rendimiento puede verse afectado por un riego poco uniforme. Cuanto mayor es la uniformidad, más homogénea será la *lámina de agua infiltrada* a lo largo de la parcela, que si corresponde aproximadamente a las necesidades de agua del cultivo, es de esperar que la producción sea próxima a la máxima posible.

Sin embargo, en el riego por superficie la cantidad de agua infiltrada en toda la parcela nunca podrá ser igual por muy perfecto y cuidadoso que haya sido el riego, es decir el coeficiente de uniformidad nunca será del 100 %. Las características físicas del suelo son muy variables y además el *tiempo de infiltración* varía a lo largo de la parcela de riego. La cantidad de agua infiltrada también varía dependiendo del estado de la explanación del suelo, si la pendiente es homogénea o no, etc.

En este método de riego, **la uniformidad se obtiene de forma aproximada** usando como ayuda la llamada **relación de avance**, que es un índice que indica cuántas veces mayor ha sido el tiempo durante el que se aplica el agua con respecto al tiempo que ha tardado en completarse el avance. Se obtiene dividiendo el *tiempo de riego* o tiempo de aplicación de agua, entre el *tiempo de avance*:

$$\text{Relación de avance} = \frac{\text{Tiempo de riego}}{\text{Tiempo de avance}}$$

EJEMPLO

Un agricultor posee una parcela de riego por surcos. Durante uno de los riegos, el tiempo de avance fue de 125 minutos, mientras que el tiempo de riego fue de 390 minutos. La relación de avance en ese habrá sido

$$\text{Relación de avance} = \frac{390}{125} = 3.12$$

EJEMPLO

Un agricultor tiene una parcela de riego por surcos. Durante un riego mide un tiempo de avance de 120 minutos y aplica agua a los surcos durante 480 minutos (tiempo de riego). En otro riego de la campaña realizado en la misma unidad de riego, el tiempo de avance fue de 240 minutos y el tiempo de riego de 480 minutos.

Como se observa, ambos riegos duraron prácticamente igual ya que el tiempo de riego fue el mismo, 480 minutos. Sin embargo, el agua tardó en avanzar hasta cola de parcela el doble durante el segundo riego que durante el primero.

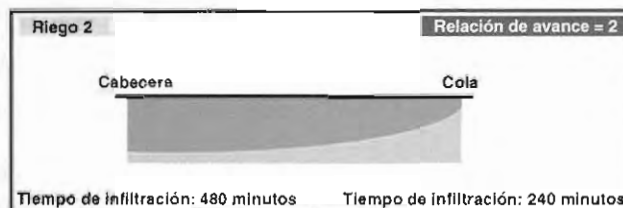
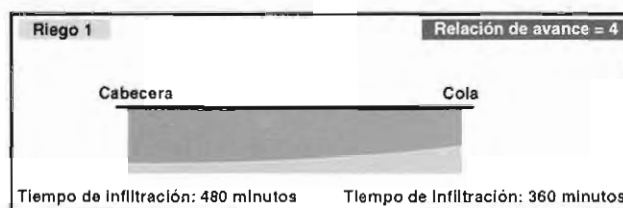
Durante el primer riego, el tiempo que el agua está cubriendo las zonas de cabecera corresponde prácticamente al total del tiempo de riego, mientras que en cola será aproximadamente el tiempo de riego menos el tiempo que tarda en llegar a cola.

Tiempo de infiltración aproximado

Cabecera
Cola

Primer Riego

$480 - 0 = 480$ minutos
Tiempo de riego - Tiempo que tarda el agua en alcanzar cola (T. de avance)
 $480 - 120 = 360$ minutos



De la misma manera, durante el segundo riego los tiempos que el agua cubre el suelo de las zonas de cabecera y de cola serán:



Tiempo de infiltración aproximado	Segundo Riego
Cabecera	480 - 0 = 480 minutos
Cola	Tiempo de riego - Tiempo que tarda el agua en alcanzar cola (T. de avance)
	480 - 240 = 240 minutos

Como la cantidad de agua infiltrada normalmente es mayor cuanto mayor es el tiempo de infiltración (tiempo que el agua está en contacto con el suelo), en el primer riego se habrán infiltrado cantidades de agua parecidas en toda la parcela (uniformidad aceptable). Por el contrario, en el segundo riego las cantidades infiltradas serán más dispares (uniformidad menor).

Esta misma idea se puede deducir de la relación de avance de cada uno de los dos riegos. Estas son:

$$\text{Relación de avance (Riego 1)} = \frac{\text{Tiempo de riego}}{\text{Tiempo de avance}} = \frac{480 \text{ minutos}}{120 \text{ minutos}} = 4$$

$$\text{Relación de avance (Riego 2)} = \frac{\text{Tiempo de riego}}{\text{Tiempo de avance}} = \frac{480 \text{ minutos}}{240 \text{ minutos}} = 2$$

y se deduce que:

- Cuando el avance del agua es rápido (riego 1), se riega durante un tiempo suficiente para hacer que los tiempos de infiltración en toda la parcela se parezcan. Así, la uniformidad del agua infiltrada podrá ser bastante aceptable.
- Por el contrario, en el segundo riego el avance ha sido muy lento. Como no se ha regado durante mucho tiempo, no ha habido tiempo suficiente para que en cola se infiltre cantidad de agua parecida a la que ha infiltrado en cabecera. En consecuencia, la uniformidad no será demasiado buena.

Así pues, la relación de avance puede dar una idea de la uniformidad que se conseguirá con un riego por superficie, aunque no podrá proporcionar datos muy exactos. En realidad es más útil para comparar o plantear situaciones diferentes.

Como se observa, para conseguir una buena uniformidad en un riego por superficie es conveniente que la relación de avance sea alta, pero es preciso tener en cuenta dos aspectos:

- el tiempo de riego deberá ser elevado para que el cultivo reciba el agua que necesita, **pero sin que se generen pérdidas excesivas por filtración profunda o por escorrentía**.
- el tiempo de avance deberá ser pequeño para que la relación de avance sea mayor, **pero evitando caudales o pendientes excesivas** que supongan un riesgo de erosión del suelo.

Como es prácticamente imposible medir uniformidades de forma simple y contando con pocos medios, se ofrecen algunos **valores de uniformidad habituales en riego por surcos** según sean la homogeneidad y características de infiltración del suelo, la uniformidad en la pendiente y la relación de avance:

Coeficiente de Uniformidad en Riego por Surcos (%)				
	Relación de avance mayor de 2		Relación de avance menor de 2	
	Pendiente uniforme	Pendiente no uniforme	Pendiente uniforme	Pendiente no uniforme
SUELOS CON VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN MEDIA O BAJA				
Suelo homogéneo	80	70	70	65
Suelo algo heterogéneo	65	60	60	55
Suelo muy heterogéneo	45	45	45	45
SUELOS CON VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ALTA				
Suelo homogéneo	80	70	60	60
Suelo algo heterogéneo	65	60	55	50
Suelo muy heterogéneo	45	45	45	45
SUELOS EXPANSIBLES				
Suelo homogéneo	80	70	80	70
Suelo algo heterogéneo	65	60	65	60
Suelo muy heterogéneo	45	45	45	45

Es importante señalar que en los casos de pendiente no uniforme se hace referencia a ligeros cambios de pendiente que hacen que la explanación no sea perfecta. En circunstancias en que una pendiente no uniforme suponga zonas de la parcela con encharcamientos y otras en las que prácticamente no se almacene agua, se aconseja una explanación del terreno antes de continuar regando en esas condiciones.



Figura 4. En aquellos casos en que se produzcan encharcamientos o zonas de suelo sin cubrir durante el riego, es imprescindible explanar el campo.

Se han incluido en la tabla los **valores de uniformidad para suelos expansibles** dado que esta es una característica común en gran parte de los suelos de nuestra región. Se caracterizan por ser bastante arcillosos y pesados cuando están húmedos y presentar grandes grietas cuando están secos.



Las grietas se llenan rápidamente de agua de forma que la infiltración inicial es muy elevada; sin embargo, al ser suelos arcillosos, **la infiltración básica es muy pequeña** y no son frecuentes grandes pérdidas por filtración profunda. Ambas circunstancias contribuyen a conseguir uniformidades aceptables con relaciones de avance pequeñas.

En el caso de **riegos por tablares o por fajas** existe muy poca información referente a uniformidad en la distribución del agua infiltrada. Algunos valores generales que pueden orientar son:

	Coeficiente de Uniformidad (%)	
	Suelo homogéneo	Suelo heterogéneo
Riego por tablares	80-90	65-75
Riego por fajas	65-80	55-70

En general deben considerarse los valores más altos cuanto mayor sea la relación de avance.

5.4 Estimación de la eficiencia de aplicación

La **eficiencia de aplicación** de un riego por superficie no puede ser medida directamente, sino que podrá ser calculada de forma aproximada tras haber medido la escorrentía y haber estimado la filtración: profunda o percolación como se indica a continuación:

MEDIDA DE LA ESCORRENTÍA

En los riegos por superficie en los que se puede producir escorrentía, tanto surcos en pendiente como fajas, **es posible y bastante recomendable medirla con un aforador o vertedero**. En el caso de surcos, **es preciso colocar un aforador en dos o tres surcos y medir el caudal de escorrentía en ellos**. En riego por fajas se puede medir el caudal de escorrentía colocando un vertedero o un aforador de dimensiones adecuadas en la *escorredera*.

Es importante realizar la medida cuando el nivel del agua en el aforador se mantenga más o menos constante, cierto tiempo después de que haya comenzado a pasar agua por él, y no medir cuando la escorrentía está subiendo y el nivel del agua también.

Una vez medida la escorrentía se debe calcular la *relación de escorrentía*, que será utilizada posteriormente para estimar la eficiencia de aplicación. Para el cálculo de la relación de escorrentía es preciso conocer tanto el caudal de escorrentía como el volumen total de agua aplicado.

a) **El volumen de agua de escorrentía** se calcula multiplicando el caudal de escorrentía medido con el aforador por el tiempo que se está produciendo tal escorrentía.





Figura 5. Aforador de estrechamiento colocado en cola de un surco de riego para medir el caudal de escorrentía.

EJEMPLO

En un aforador colocado en cola de un surco se mide un caudal de escorrentía de 0.35 litros/segundo. La escorrentía dura 160 minutos.

El volumen de agua de escorrentía será:

$$\text{Volumen de escorrentía (litros)} = \text{caudal de escorrentía (litros/segundo)} \times \text{x tiempo de escorrentía (minutos)} \times 60 = 0.35 \times 160 \times 60 = 3.360 \text{ litros}$$

- b) **El volumen de agua aplicado con el riego**, por su parte, se calcula multiplicando el caudal aplicado a cada surco por el tiempo que se está aplicando el agua.

EJEMPLO

A un surco de riego se aplican 1.2 litros/segundo durante 260 minutos.

El volumen de agua aplicado a ese surco durante todo el riego será:

$$\text{Volumen aplicado (litros)} = \text{caudal aplicado (litros/segundo)} \times \text{x tiempo de aplicación (minutos)} \times 60 = 1.2 \times 260 \times 60 = 18.720 \text{ litros}$$



- c) **La relación de escorrentía** se calcula como la relación entre el volumen de escorrentía y el volumen aplicado en el riego, y es necesaria para estimar posteriormente la eficiencia de aplicación.

$$\text{Relación de escorrentía} = \frac{\text{Volumen de escorrentía}}{\text{Volumen aplicado}}$$



Figura 6. Representación esquemática de los elementos que intervienen en el cálculo de la relación de escorrentía.

EJEMPLO

Un agricultor aplica a cada surco durante un riego 18.720 litros, y ha calculado un volumen de escorrentía de 3.360 litros.

La relación de escorrentía es, por tanto:

$$\text{Relación de escorrentía} = \frac{\text{Volumen de escorrentía}}{\text{Volumen aplicado}} = \frac{3.360}{18.720} = 0.179 = 17.9\%$$

En riego por tablares y riego por surcos a nivel, al realizarse en parcelas cerradas, no existe escorrentía y por lo tanto la relación de escorrentía es nula.

ESTIMACIÓN DE LA FILTRACIÓN PROFUNDA O PERCOLACIÓN

El **agua de riego que se infiltra en el suelo hasta zonas más profundas que la de actividad de las raíces** es agua que se pierde por **filtración profunda o percolación**. Esta cantidad de agua puede ser medida por personal cualificado utilizando dispositivos de medida de humedad en el suelo.

Sin embargo, se puede hacer un cálculo aproximado suponiendo que con el riego se ha aplicado al menos la cantidad que el cultivo necesita, es decir, **no existe ninguna zona en la parcela que tenga déficit de agua**, y en todos los puntos del campo se ha infiltrado al menos la lámina de agua requerida. Esta suposición se puede admitir cuando no se observen síntomas de falta de agua en ningún lugar del campo regado, especialmente en cola.

Aunque este supuesto no se cumple en muchos campos regados, **es muy importante tomar conciencia de que un objetivo del riego es aportar el agua necesaria al cultivo para conseguir un desarrollo correcto y máximos rendimientos.**

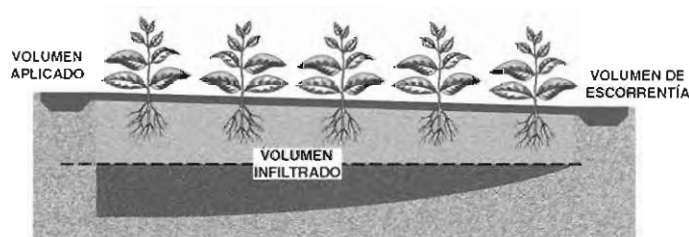
El volumen que corresponde a filtración profunda será la diferencia entre el volumen infiltrado y el volumen de agua necesario para satisfacer las necesidades de agua del cultivo:

$$\text{Volumen de filtración profunda} = \text{Volumen infiltrado} - \text{Volumen de agua requerido}$$



a) **El volumen infiltrado durante el riego** se calcula como la diferencia entre el volumen de agua aplicado con el riego y el volumen de agua de escorrentía:

$$\text{Volumen infiltrado} = \text{Volumen aplicado} - \text{Volumen de escorrentía}$$



El volumen de agua aplicado con el riego y el volumen de escorrentía se determinan como se ha descrito en el apartado anterior: "Medida de la escorrentía".

EJEMPLO

Un agricultor ha aplicado durante un riego 30.240 litros y ha calculado un volumen de escorrentía de 6.655 litros.

El volumen infiltrado será:

$$\text{Volumen infiltrado} = \text{Volumen aplicado} - \text{Volumen de escorrentía} = 30.240 - 6.655 = 23.585 \text{ litros}$$



- b) **El volumen de agua requerido** será el producto de la superficie regada por la altura de agua requerida. Para el caso de surcos de riego, la superficie que riega cada surco es la longitud de los surcos por el espaciamiento entre ellos:

$$\text{Volumen requerido} = \text{Altura requerida} \times \text{longitud de los surcos} \times \text{espaciamiento}$$

EJEMPLO

Se trata de aplicar una lámina de agua con una altura de 120 milímetros (120 litros/metro cuadrado) a surcos de 200 metros de longitud separados entre sí 0.75 metros.

La superficie que riega cada surco es: 200 metros x 0.75 metros

Y el volumen de agua requerido con el riego:

$$\begin{aligned} \text{Volumen requerido (litros)} &= \text{Altura requerida (milímetros)} \times \text{longitud de los surcos (metros)} \times \\ &\quad \times \text{espaciamiento (metros)} = 120 \times 200 \times 0.75 = 18.000 \end{aligned}$$

- c) **El volumen de filtración profunda** es la diferencia entre los dos calculados anteriormente.

EJEMPLO

Si durante un riego se han infiltrado 23.585 litros de agua por cada surco y el agua requerida para satisfacer las necesidades del cultivo son de 18.000, el volumen de filtración profunda o percolación que se ha originado con dicho riego será de:

$$\text{Volumen de filtración profunda} = \text{Volumen infiltrado} - \text{Volumen requerido} = 23.585 - 18.000 = 5.585 \text{ litros}$$

- d) Las pérdidas por filtración profunda o percolación con respecto a la cantidad de agua aplicada se reflejan en la **relación de filtración**.

$$\text{Relación de filtración} = \frac{\text{Volumen de filtración profunda}}{\text{Volumen aplicado}}$$





Figura 7. Representación esquemática de los elementos que intervienen en el cálculo de la relación de filtración.

EJEMPLO

El volumen de filtración profunda originado en un surco de riego ha sido de 5.585 litros, mientras que el volumen aplicado fue de 30.240. La relación de filtración en ese caso habrá sido de:

$$\text{Relación de filtración} = \frac{\text{Volumen de filtración profunda}}{\text{Volumen aplicado}} = \frac{5.585}{30.240} = 0.184 = 18.4\%$$

La relación de filtración, junto con la relación de escorrentía ya calculada, permitirá estimar la eficiencia de aplicación.

MEDIDA DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA

La **velocidad de infiltración básica es aquella a la que el agua se infiltra en el suelo cuando el tiempo de infiltración es muy alto**. Es una propiedad característica de cada tipo de suelo, siendo en general mayor para suelos arenosos o ligeros y menor para arcillosos o pesados.

Aunque para realizar la evaluación del riego no es imprescindible conocer el valor de la infiltración básica, **es un dato importante que el agricultor deberá conocer** a efectos de manejo de sus riegos, como dato necesario cuando reciba un asesoramiento en riegos, para establecer diferencias entre distintos tipos de suelos dentro de una misma parcela de riego, etc.

Es muy fácil medirla cuando se cuenta con un riego por surcos en pendiente o por fajas, **conociendo el caudal aplicado, el caudal de escorrentía y la superficie regada** por cada surco o cada faja.





Figura 8. Aforador de estrechamiento colocado en cabecera de un surco de riego para medir el caudal aplicado.

Normalmente se da en milímetros de agua infiltrada por hora, y para riego por surcos se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Infiltración básica (mm/hora)} = \frac{\text{caudal aplicado (litros/segundo)} - \text{caudal de escorrentía (litros/segundo)}}{\text{longitud (metros)} \times \text{espaciamiento (metros)}} \times 3600$$

En el caso de usarla para riego por fajas simplemente habría que sustituir el espaciamiento entre los surcos por la anchura de la faja en cuestión.

EJEMPLO

Durante un riego por surcos se aplica a cada surco un caudal de 1 litro/segundo, mientras que se ha medido un caudal de escorrentía de 0.22 litros/segundo. Los surcos tienen 180 metros de longitud y están separados entre sí 0.96 metros. La infiltración básica del suelo se calcula:

$$\begin{aligned} \text{Infiltración básica (mm/hora)} &= \\ &= \frac{\text{caudal aplicado (litros/segundo)} - \text{caudal de escorrentía (litros/segundo)}}{\text{longitud (metros)} \times \text{espaciamiento (metros)}} \times 3600 = \\ &= \frac{1 - 0.22}{180 \times 0.96} \times 3600 = \frac{0.78}{172.8} \times 3600 = 16.2 \text{ mm/hora} \end{aligned}$$

ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Para estimar finalmente la eficiencia de aplicación, se utilizan las dos relaciones calculadas previamente: la relación de escorrentía y la relación de filtración, utilizando una expresión muy sencilla:

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

En riegos con escurrimiento, normalmente surcos en pendiente y fajas, podrá existir tanto escorrentía como filtración profunda. En riego por tablares o surcos a nivel no habrá escorrentía pero puede generarse filtración profunda. Estas pérdidas serán las que afecten a la eficiencia de aplicación de un riego, de forma que **cuanto mayores sean las pérdidas menor será la eficiencia y peor habrá sido el aprovechamiento del agua de riego.**

EJEMPLO

Tras realizar un riego por surcos, un agricultor ha calculado una relación de escorrentía del 17.9 % y ha estimado una relación de filtración del 18.4 %. De esta forma, la eficiencia de aplicación de ese riego habrá sido:

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia de aplicación (\%)} &= 100 - \text{relación de escorrentía (\%)} - \\ &\quad - \text{relación de filtración (\%)} = 100 - 17.9 - 18.4 = 63.7\% \end{aligned}$$



Resumen

La evaluación es una operación que debe realizarse en todo sistema de riego con objeto de conocer el resultado o calidad de los riegos, determinar el uso real que se está haciendo del agua y estudiar las distintas propuestas de mejora del sistema. El cociente de déficit, la eficiencia de aplicación del agua y la uniformidad en la distribución del agua infiltrada, son índices con los que se evalúa un riego y deben ser determinados, en caso de ser posible, por personal cualificado. En cualquier caso, existe un procedimiento muy práctico y simple que puede ser realizado por el propio agricultor.

En riego por superficie la uniformidad suele ser estimada en función de otros factores como el tipo de suelo, sistema de riego, calidad de la explanación o relación de avance. En general, una mayor relación de avance supondrá mejorar la uniformidad.

La eficiencia de aplicación del agua podrá ser estimada conociendo la relación de escorrentía y la relación de filtración, las cuales darán una idea de las pérdidas de agua originadas en el riego. La infiltración básica del suelo puede calcularse a partir de datos medidos durante la evaluación y es un dato importante a conocer por el agricultor y cualquier técnico que vaya a realizar algún tipo de actuación en el sistema de riego.



Autoevaluación

1. En un riego por superficie, cuanto más agua se aplique pero menos quede en la zona de actividad de las raíces del cultivo:
 - a) El coeficiente de uniformidad será mayor
 - b) La eficiencia de aplicación será menor
 - c) La eficiencia de aplicación será mayor
 - d) La relación de avance disminuirá

2. Indicar cuál de los siguientes no es un índice con el que se puede valorar el resultado de un riego:
 - a) Cociente de déficit
 - b) Eficiencia de aplicación
 - c) Coeficiente de uniformidad
 - d) Volumen de agua aplicado

3. Los elementos característicos de un riego con los que se calcula la relación de avance son:
 - a) El tiempo de avance y la relación de escorrentía
 - b) La relación de escorrentía y la relación de filtración
 - c) El tiempo de riego y el tiempo de avance
 - d) El tiempo de riego y la relación de filtración

4. Se puede admitir que en un riego por superficie, lo más normal es obtener una mayor uniformidad en la distribución del agua infiltrada cuando la relación de avance sea mínima.
Verdadero / Falso

5. Un agricultor obtiene una relación de avance en su riego por surcos de 6. En otro riego en la misma parcela, decide aplicar un caudal bastante mayor con lo que obtiene una relación de avance de 3. ¿En cuál de los dos riegos presumiblemente habrá conseguido una mayor uniformidad?
 - a) La uniformidad no depende en absoluto de esta relación
 - b) En el segundo
 - c) En el primero
 - d) En ambos igual

6. La estimación de la eficiencia de aplicación de forma simple se puede realizar con la expresión:
 - a) $E_a = 100 - \text{Coeficiente de uniformidad}$
 - b) $E_a = 100 - \text{Cociente de déficit} - \text{Relación de escorrentía}$
 - c) $E_a = 100 + \text{Coeficiente de Uniformidad}$
 - d) $E_a = 100 - \text{Relación de escorrentía} - \text{Relación de filtración}$

7. La relación de escorrentía es el cociente entre el volumen de escorrentía y el volumen total aplicado.
Verdadero / Falso

8. Para calcular la relación de escorrentía es preciso conocer el volumen de escorrentía. En riego por surcos, ¿cómo se puede determinar esta última cantidad?
 - a) Midiendo el caudal en cabecera con un aforador
 - b) No es posible calcularla, sino que deberá ser estimada
 - c) Midiendo el caudal en cola de los surcos con un aforador
 - d) Midiendo el caudal en cola de los surcos con un aforador y el tiempo que el agua escurre.



6.1 Introducción

La mayor parte del agua consumida tanto en Andalucía como en el resto de España se utiliza en la agricultura de regadío. De los tres métodos de riego, superficie, aspersión y localizado, el primero de ellos es el más difundido, pero en general consume más cantidad de agua y origina mayores pérdidas, aunque si el diseño y manejo son adecuados puede competir con el riego por aspersión y localizado. En muchos de los campos regados por superficie no se realiza un manejo adecuado, lo que supone que no se alcance el objetivo principal del riego, aplicar el agua que necesita el cultivo para obtener una producción máxima. Además, en esos casos el uso del agua no será eficiente, a lo que se añade regar con baja uniformidad.

El mal uso del agua puede deberse a diferentes causas: pérdidas en la misma red de distribución, mala preparación y explanación del terreno, inadecuado diseño de las *unidades de riego* o del manejo propiamente dicho del riego. El agricultor suele tener muy pocas posibilidades de mejorar algunos de los aspectos mencionados, como por ejemplo el relacionado con el estado de la red de distribución, pero sí **tiene la posibilidad de realizar mejoras** en aquellos aspectos relacionados principalmente con sus parcelas y el desarrollo de sus riegos. Todo ello supondrá un ahorro considerable del agua de riego, conservar la calidad del agua y el suelo y finalmente conseguir con los riegos una buena uniformidad del agua infiltrada, lo que repercute incrementando el rendimiento de sus cultivos.

Es necesario conocer y estudiar las posibles mejoras que se puedan llevar a cabo para conseguir aplicar el agua necesaria para el cultivo con uniformidades y eficiencias razonables, así como ahorrar agua y permitir la conservación medioambiental evitando la contaminación. Además, ha de tenerse en cuenta que un diseño inadecuado de las parcelas y un manejo incorrecto del riego puede suponer el aumento de la mano de obra, un mayor coste del riego consecuencia de mayores cantidades de agua aplicada y una disminución de la producción de los cultivos, entre otros efectos.



6.2 Mejora de las unidades de riego

En riego por superficie, la parcela debe estar en unas óptimas condiciones de explanación para conseguir un movimiento del agua lo más uniforme posible y que la cantidad de agua infiltrada sea parecida en todos los puntos. Además de la explanación adecuada, es posible adoptar una serie de medidas sencillas en el diseño de las parcelas para mejorar la uniformidad del riego cuando el suelo es muy heterogéneo, y evitar su deterioro con simples estructuras de control de la erosión.

Sin embargo, antes de aplicar cualquiera de las técnicas de mejora sería preciso realizar una evaluación del riego, conocer el estado actual del sistema y valorar la mejora que podría producirse con dichas técnicas. En muchos casos, **las mejoras no requerirán grandes inversiones económicas** y su efecto justificará la inversión realizada. No obstante, es frecuente encontrar situaciones en que las inversiones necesarias podrían ser elevadas debido a importantes fallos en el diseño del sistema; en estos casos, las posibles mejoras consistirían en actuaciones de gran envergadura y cuantía económica.

LA EXPLANACIÓN DEL CAMPO

Es preciso destacar **la gran importancia que tiene una buena explanación del campo en un sistema de riego por superficie**, ya que el estado del terreno influye mucho en el movimiento correcto del agua sobre el suelo. Si la parcela de riego presenta desniveles u ondulaciones en superficie, el funcionamiento del riego se verá alterado haciendo que la cantidad de agua infiltrada en la parcela sea muy desigual. Aunque la explanación absoluta del suelo es imposible de conseguir, siempre es recomendable **explanar cada cierto tiempo para mantener una pendiente uniforme**. En el caso de riego por tablares, que se realizan con el suelo a nivel (sin pendiente), se habla de **nivelación** del campo.



Figura 1. La correcta explanación en las fajas de riego permite una buena distribución del agua sobre la superficie del suelo.



Figura 2. El avance irregular, como consecuencia de una explanación defectuosa, influye reduciendo la uniformidad de la lámina de agua infiltrada.

En aquellas parcelas de riego por superficie cuya pendiente es constante y uniforme, el uso del agua de riego es más eficiente ya que se reduce la cantidad de agua necesaria, la mano de obra y, en general, se consume menos energía. Es una práctica más que recomendable, imprescindible.

Sin embargo, en terrenos muy accidentados u ondulados que necesiten un cambio importante de la topografía, **la explanación produce a veces alteraciones de la capa superior del suelo**, la más fértil y rica en nutrientes, que será eliminada cuando haya que eliminar suelo (desmontar) para depositarlo en zonas de vaguada o depresión del terreno (terraplenar). Este problema será mayor cuanto menos profundo sea el suelo.

Normalmente ha de moverse un mayor volumen de suelo cuando se trata de preparar las parcelas para riego por tablares, ya que el terreno debe de quedar con pendiente completamente nula. Cuanto más pequeños sean los tablares, menos movimiento de tierras será necesario realizar, pero hay que tener en cuenta que tablares de pequeñas dimensiones complican otras tareas como laboreo, cosecha o aplicación de abonos o fitosanitarios.

Existen dos formas de realizar la explanación del terreno: la denominada **explanación tradicional**, o las más modernas **guiadas por láser**:

- a) La **explanación tradicional** se realiza con maquinaria convencional, normalmente tractor con trailla, con la que se elimina el suelo sobrante en zonas elevadas y se aporta en las partes que requieren relleno.

Se pueden **plantear** dos alternativas: primera, explanar con una alta precisión para conseguir una uniformidad y eficiencia muy elevadas; y segunda, más utilizada, **explanar el campo con el mínimo movimiento de tierras** que suponga regar con uniformidad y eficiencia aceptables. Se suele escoger esta última ya que supone un menor coste, y además se aprovecha toda la tierra eliminada en el desmonte para rellenar.

Antes de comenzar la explanación, es necesario que personal técnico cualificado realice los cálculos que permitan conocer la altura del suelo a rebajar o rellenar en cada uno de los puntos del campo.



b) La **explanación guiada por láser**, desarrollada en los años setenta, utiliza niveladoras tiradas normalmente por tractores, pero en ellas **la altura de trabajo está controlada por láser**. Los elementos de que consta un sistema de nivelación por láser son básicamente:

- ◆ Emisor
- ◆ Sistema de control
- ◆ Receptor

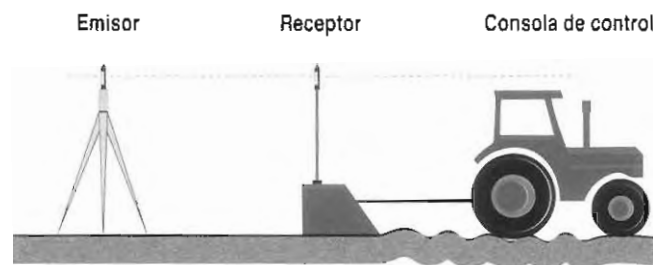


Figura 3. Esquema de funcionamiento de la técnica de nivelación guiada por láser.



Figura 4. Emisor de láser colocado sobre su trípode, listo para comenzar el trabajo de explanación del campo.



Figura 5. Conjunto formado por niveladora y sistema receptor de láser, tirado del tractor.

El **emisor genera un rayo láser** sobre la zona que se va a nivelar. La altura de tierra a quitar o añadir en cada punto de la parcela estará determinada por la diferencia entre el rayo láser emitido y la superficie del suelo. El **receptor indica cuál debe ser la posición de la cuchilla** de la niveladora, mientras que el **sistema de control organiza el funcionamiento** del sistema transmitiendo las correcciones que deberá de hacer la cuchilla.

Este tipo de nivelación presenta la ventaja de no requerir un trabajo de campo previo, ni hacer cálculos como en la tradicional. A su vez, está muy recomendada como mejora del riego por superficie, especialmente en tablares, ya que permite alcanzar una **mayor precisión** debido a su **mayor sensibilidad**.

TERRENOS CON DIFERENTES SUELOS

El **tipo de suelo**, y particularmente las **características que determinan su capacidad de infiltración**, son un factor clave en la cantidad de agua que se infiltra con un riego. Cuando la parcela tiene más de un tipo de suelo, el desarrollo normal del riego puede verse alterado y el cultivo puede no desarrollarse adecuadamente.

El efecto más importante es la **diferente cantidad de agua infiltrada en cada uno de los suelos existentes**. En aquellas zonas donde el suelo sea más arenoso o ligero, la velocidad de infiltración será relativamente elevada y la *lámina de agua infiltrada* mayor que en zonas donde el suelo sea más arcilloso o pesado. En este último caso, si la velocidad de infiltración es muy pequeña puede ocurrir incluso que no se lleguen a suplir las necesidades de agua del cultivo y la producción disminuya.

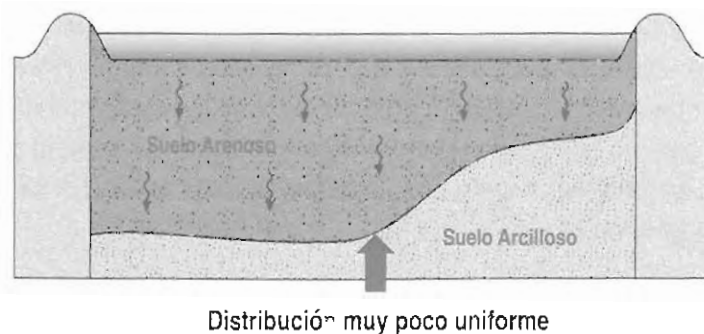


Figura 6. Efecto de la diferente cantidad de agua infiltrada como consecuencia de distintos tipos de suelo en una misma parcela.

El hecho de que se infiltre diferente cantidad de agua en toda la parcela, como consecuencia de contar con tipos de suelo diferentes, hace disminuir la uniformidad del riego. Modificar la capacidad o velocidad de infiltración de un suelo no es fácil ni fiable, por lo que una práctica de diseño muy recomendada es **dividir la superficie a regar en unidades de riego** cuya forma coincida aproximadamente con la que adopta la zona de cada tipo de suelo. Así, en cada una de las subdivisiones que se establezcan, se podrá regar de acuerdo a las necesidades del cultivo.

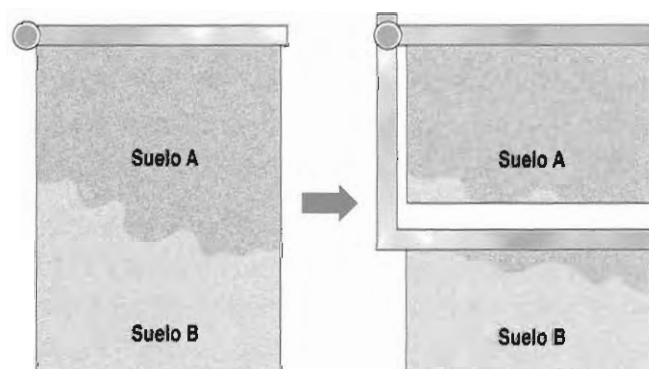


Figura 7. División de la parcela en unidades de riego diferentes para cada tipo de suelo.



Esta práctica de mejora de las unidades de riego puede suponer una mayor complejidad en la organización y distribución de las unidades a regar, así como en red de distribución del agua y en la *red de desagüe* si existe. Además, se requerirá una mayor mano de obra para regar toda la parcela, pero todo ello se justifica con la mejora en la productividad del cultivo.

DIMENSIONES DE LAS UNIDADES DE RIEGO

Cuando la geometría del campo no condiciona la forma de las unidades de riego, las dimensiones que tengan éstas (longitud en caso de surcos o fajas y la longitud y anchura en tablares) **dependen del tipo de suelo**.

En una parcela de riego por surcos o fajas de mucha longitud, si el suelo es ligero con alta velocidad de infiltración, el *tiempo de avance* será alto. Lo normal será originar *filtración profunda* principalmente en cabecera de la parcela, que hará que la eficiencia del uso del agua disminuya aunque se haya suministrado al cultivo el agua que necesita. Una práctica de mejora muy recomendada en estos casos consiste simplemente en **acortar los surcos o fajas** en la medida de lo posible, siempre y cuando el propio manejo de las labores de la finca lo permita. De esta forma, la parcela se dividirá en dos o más parcelas o bloques que se regarán simultáneamente o de forma consecutiva. Esta mejora también es aplicable en el caso de tablares de gran longitud.



Figura 8. Efectos de la reducción de la longitud de las unidades de riego en suelos ligeros con alta capacidad de infiltración de agua.

En los **riegos por escurrimiento**, como surcos en pendiente, es preciso tener mucha **precaución al acortar la longitud de la parcela**, ya que se pueden **originar enormes cantidades de agua de escorrentía**. Por ello es necesario ajustar bien el caudal y el tiempo de riego.

Al acortar los surcos o las fajas, se pueden regar las parcelas o bloques a la vez o consecutivamente, para lo cual deberá instalarse un sistema de distribución del agua hasta la cabecera del bloque o parcela situada en la zona inferior. En estos casos es imprescindible colocar una *escorredera* al final de los surcos del bloque superior para recoger y canalizar el agua de escorrentía que se unirá a la escorredera del bloque inferior. Las limitaciones que pueden existir en esta práctica de mejora dependerán de la forma de la propia finca o por el trazado de la red de distribución o de desagüe.

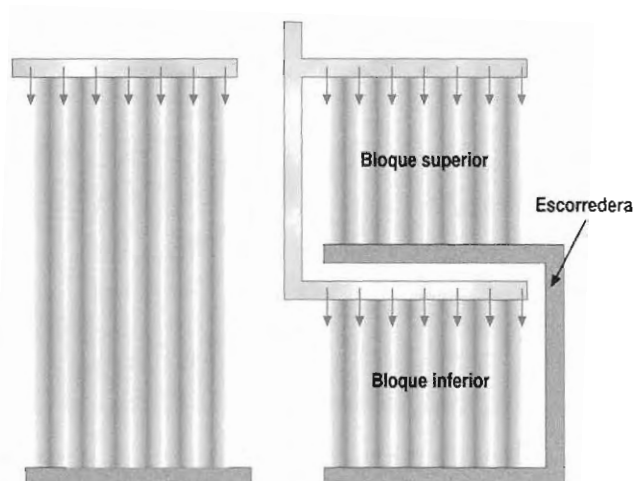


Figura 9. Diseño de la parcela de riego en bloques independientes cuando se decide acortar la longitud de los surcos o las fajas.

PROTECCIÓN DEL SUELO CONTRA LA EROSIÓN

En riego por superficie, el agua aplicada a la parcela en forma de chorros o avenidas puede provocar **erosión del suelo en los lugares donde se aplica**, al producirse el impacto del agua, turbulencias y rozamiento con el suelo. De no tomar ninguna medida preventiva, las zonas de cabecera donde se aplique el agua pueden sufrir un importante deterioro, que **reduce la capacidad productiva del suelo y ocasiona problemas de manejo en riegos posteriores** como la aparición de piedras, necesidad de rellenar con tierra las cárcavas o canales erosionados por el agua, dificultades en paso de maquinaria, etc.

Pero estos efectos pueden ser reducidos considerablemente **colocando unos simples plásticos o bien láminas de caucho**, que serán los que sufrirán el impacto del chorro y las turbulencias del agua a la entrada a la parcela.



Figura 10. El suelo queda protegido del impacto de los chorros colocando unos simples plásticos.





Figura 11. En fajas, las protecciones deberán ser de dimensiones tales que permitan la entrada suave del agua a la unidad de riego.

En riego **por surcos o fajas** en que el agua se aplica en forma de chorro, es preciso **colocar protecciones en los lugares de impacto**. En éstos, en los que el agua se distribuye mediante una acequia, las protecciones deberán tener una longitud determinada para que el agua entre en la parcela de forma suave. **En tablares** que requieren un caudal muy elevado, es muy usual disponer estructuras formadas por **dados de hormigón o simplemente piedras** colocadas en forma de abanico, para que el agua entre en todas las direcciones suavemente y se remanse antes entrar en contacto con el suelo de la parcela.

6.3 Manejo de tiempos y caudales

TIEMPOS DE RIEGO

El *tiempo de riego* es un factor clave para el desarrollo correcto de los riegos, ya que de él dependerá el tiempo en que el agua cubre el suelo y se infiltra, estando a disposición del cultivo. Definir el tiempo de riego adecuado no es fácil y en muchas ocasiones la mejor práctica es la propia experiencia del agricultor. En cualquier caso, existen una serie de recomendaciones o propuestas de mejora del manejo del tiempo de riego que es conveniente señalar.

En **riegos por escurrimiento**, surcos en pendiente y fajas, es recomendable **cortar el suministro de agua cuando se completa el avance**. De esta manera, se igualan el tiempo de riego y el tiempo de avance, con lo que se evita generar demasiada escorrentía.

Pero **si el caudal aplicado es pequeño o el suelo tiene alta capacidad de infiltración**, el avance del agua sobre el suelo puede ser muy lento. En caso de no poder aplicar un caudal mayor, si se prolonga el tiempo de riego hasta que se complete el avance, puede que en cabecera se infiltre gran cantidad de agua y se genere demasiada filtración profunda. Una práctica consiste en **cortar el suministro de agua algo antes de que se haya completado el avance**, permitiendo entonces que el agua avance hasta cola por el efecto de la pendiente de la parcela. Es una técnica que requiere bastante práctica por parte del regante, quién deberá determinar el momento de cortar el suministro basándose en su propia experiencia.

RIEGO POR PULSACIONES

Una de las características de los riegos por superficie es que el tiempo que el agua está sobre el suelo en cada punto a lo largo de la parcela es distinto, por lo que la *lámina infiltrada* no es uniforme. El riego por pulsaciones es una práctica de manejo que consiste en la **aplicación intermitente de agua** a los surcos, fajas o tablares. La secuencia del desarrollo de un riego de este tipo puede resumirse como sigue:

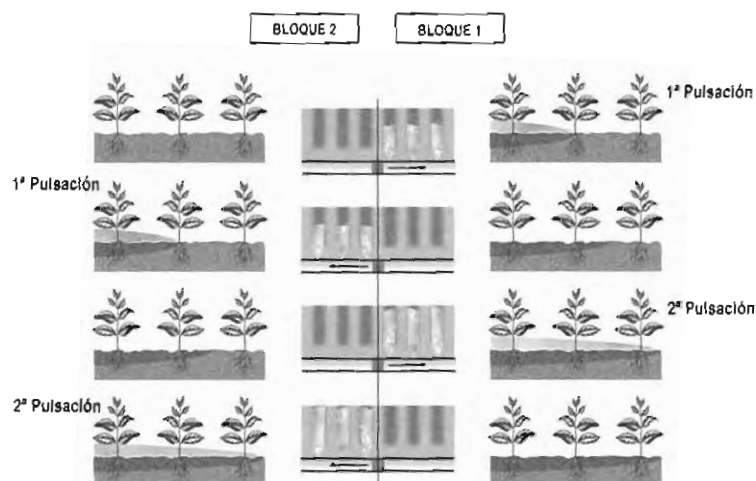


Figura 12. Representación esquemática de la secuencia de un riego por pulsaciones.

- Se realiza la primera pulsación, es decir se aplica agua por primera vez durante un tiempo determinado.
- Se suspende la aplicación y se espera hasta que todo el agua haya desaparecido de la superficie.
- Comienza una nueva aplicación de agua, es decir, una nueva pulsación. El agua avanza en principio sobre el suelo mojado, continúa avanzando sobre el suelo seco y cierto tiempo después se vuelve a cortar el suministro.
- Se repiten las pulsaciones hasta que se completa el avance hasta cola de parcela, pudiendo continuar o no la aplicación de agua según el criterio del agricultor.

En la **primera aplicación o pulsación** el agua avanza de la misma forma que en un **riego convencional**, mientras que en las **pulsaciones siguientes el agua se infiltrará más lentamente sobre el suelo previamente humedecido** por la pulsación anterior, y avanzará más rápidamente. Por esto, los **tiempos de infiltración en los puntos de la parcela pueden ser más parecidos**, y en consecuencia se puede lograr un desarrollo del cultivo más homogéneo y una mejora en la uniformidad de la lámina de agua infiltrada.

El riego por pulsaciones puede ser aplicado a cualquier tipo de sistema de riego, surcos, fajas o tablares. En surcos y fajas, lo habitual es utilizar tuberías, preferentemente rígidas, acopladas a una **válvula de mariposa** que cuenta con un dispositivo electrónico (programador) que **abre o cierra el paso de agua a la tubería** a unos tiempos determinados. En tablares lo más normal es realizar la aplicación y corte del agua mediante la **apertura o cierre manual de las llaves o compuertas**.

Existen dos alternativas para establecer la secuencia de las pulsaciones. Una, **por tiempos fijos** que determinan la apertura o cierre del paso de agua a la unidad de riego. Otra, **por distancias fijas**, es decir, según distancias de avance del agua con cada pulsación, determinadas antes de realizar el riego como por ejemplo a la cuarta parte, la mitad, tres cuartas partes y toda la longitud de la parcela. Sin embargo, en la práctica suelen programarse las pulsaciones con tiempos fijos usando el programador de la válvula, con lo que la operación de apertura y cierre de aquella es completamente automática.

RECORTE DE CAUDAL

En riego por surcos con escurrimiento, una causa importante de la disminución de la eficiencia es el agua de escorrentía originada. Para **evitar en cierta medida un volumen de escorrentía excesivo**, es muy conveniente poner en práctica la técnica del recorte del caudal, que consiste en **reducir el caudal aplicado a cada surco** una vez que se completa la fase de avance y en consecuencia evitar grandes pérdidas por escorrentía.

En este tipo de riegos, se recomienda aplicar caudales suficientemente elevados (pero no erosivos) para conseguir un avance rápido del agua hasta el final del surco, momento en el cual se reduce el caudal aplicado en los surcos. Para llevar a cabo el recorte es importante tener en cuenta la experiencia del agricultor, de forma que se garantice que, tras éste, el agua siga llegando a cola, continúe cubriendo todo el surco y se produzca una infiltración adecuada.

Existen varias formas de reducir el caudal según el método de aplicación de agua. Por ejemplo, cuando se utilicen **tuberías rígidas o de polietileno con compuertillas regulables**, se reducirá el caudal cerrando convenientemente las compuertillas. Si el agua se aplica al surco mediante *sifones*, es muy común usar **dos sifones durante el avance y retirar uno de ellos** una vez completada esta etapa del riego. Cuando se emplee una **tubería de polietileno perforada**, **se cerrará uno o varios de los orificios** realizados para aplicar agua durante el avance, para lo cual se pueden utilizar tapones de corcho, espuma o cualquier otro material disponible.



Figura 13. Recorte de caudal en surcos, taponando una de las dos salidas de agua practicadas en la tubería de polietileno.

RECUPERACIÓN DEL AGUA DE ESCORRENTÍA

En un gran porcentaje de sistemas de riego por superficie, particularmente los regados por surcos en pendiente, la **cantidad de agua que se pierde por escorrentía** es muy elevada. En la mayoría de los casos, ese agua acaba vertiéndose a cauces naturales, lo que supone tanto un **despilfarro** como un **riesgo de contaminación** por sedimentos y compuestos químicos arrastrados por el agua. A esto se une que en determinados sistemas de riego es imposible reconducir el agua de escorrentía para verterla a cauces naturales, bien por su localización o simplemente porque no existen en las proximidades.

Por todo ello, cada día se impone más **la recuperación del agua de escorrentía para ser posteriormente reutilizada**, consiguiendo con ello un ahorro de agua, mejorando la eficiencia a escala de parcela, comunidad de regantes e incluso zona regable. Asimismo, constituye una práctica muy recomendable para minimizar el impacto ambiental ocasionado en las aguas superficiales.



Figura 14. El agua de escorrentía debe ser adecuadamente recuperada, evitando su vertido incontrolado y la posibilidad de contaminación ambiental.

Para poder llevar a cabo la recuperación del agua de escorrentía en cada finca, es preciso **disponer de una red de desagüe** adecuada y dependiendo de cada caso, también un **sistema de bombeo** para transportar el agua hasta el lugar de almacenamiento de donde será utilizada de nuevo. Para evitar atascos o deterioros en las bombas, es frecuente recogerla en pequeños embalses o depósitos donde los elementos en suspensión podrán sedimentarse antes de bombear el agua.

Si se trata de **recuperar y reutilizar el agua de escorrentía en la propia finca**, regando diferentes unidades de riego con el agua sobrante de otros riegos, debe tenerse en cuenta que tanto el diseño de las unidades de riego como el manejo de los riegos puede complicarse, por lo que ha de evaluarse económicamente la recuperación. En cualquier caso, **siempre es deseable y aconsejable la reutilización del agua de escorrentía a escala de zona regable**, que deberá contar con una adecuada red de desagüe, sistemas de bombeo, balsas de regulación para controlar los caudales de escorrentía que proporciona cada finca, depósitos de almacenamiento, etc.

TABLARES CON DESAGÜE

En los **sistemas de riego por tablares**, es muy normal regar con caudales elevados para alcanzar un avance rápido y tratar de conseguir una aceptable uniformidad en la distribución del agua. Pero con suelos arcillosos o pesados con capacidad de infiltración relativamente baja, existe la posibilidad de que **se almacene una cantidad de agua que tras infiltrarse será mayor que la necesaria en la zona de las raíces**. Esto provocaría una *excesiva filtración profunda* que repercutiría reduciendo la eficiencia de aplicación.

Ese problema puede evitarse reduciendo el tiempo de riego, sin permitir que se almacene más agua de la necesaria para el cultivo. Sin embargo, se puede mantener un tiempo de riego elevado y almacenar agua en exceso cuando se utiliza la técnica de tablares con desagüe, ya que en ellos el agua sobrante del primero pasa al segundo y así consecutivamente. Además se facilita el riego de los tablares, que puede realizarse de una sola vez y utilizando una sola toma.

Esta práctica consiste por tanto en **abrir un punto de desagüe en la zona de cola del caballón que separa dos tablares contiguos**, una vez que se ha completado la fase o etapa de avance en el primer tablar. Así, parte del agua almacenada en el primer tablar entrará al segundo por su zona de cola, consiguiendo reducir el tiempo necesario para cubrir totalmente este tablar, con lo que se podrá conseguir buena uniformidad y eficiencia de aplicación del agua.

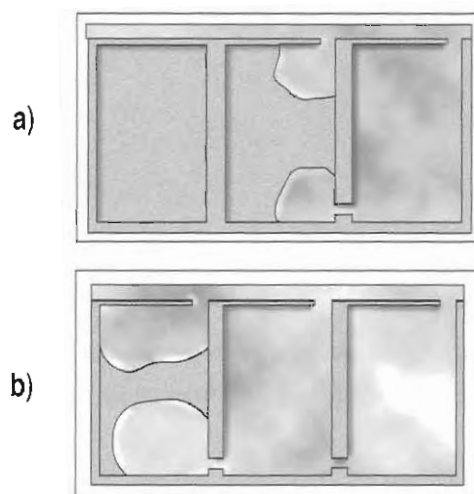


Figura 15. Representación esquemática del desarrollo del riego de tablares con desagüe en cola: a) riego del segundo tablar con agua sobrante del primero; b) riego del tercer tablar con sobrante del segundo.

Para poder aplicar esta práctica es imprescindible **que los tablares contiguos tengan diferente cota**, es decir tengan de mayor a menor altura de forma consecutiva para que el agua pase de unos a otros por gravedad.

Resumen

El riego por superficie es el método que normalmente consume más cantidad de agua y donde mayores pérdidas se originan. Por lo tanto, es necesario conocer y estudiar las posibles prácticas de mejora que pueden ser llevadas a cabo en estos sistemas para conseguir los objetivos del riego, aportar al cultivo el agua que necesita aprovechando el agua al máximo.

Existen posibles mejoras que inciden en las características de las unidades de riego como la explanación del suelo, imprescindible para riegos de calidad; configuración o disposición de las unidades cuando existe más de un tipo de suelo en la parcela; modificar la longitud de surcos y fajas o dimensiones de los tablares dependiendo de las características de infiltración del suelo; y recomendaciones relativas a la protección del suelo frente a la erosión.

Otra serie de medidas de mejora se refieren al manejo de los caudales y al tiempo de riego, como factores importantes del desarrollo correcto de los riegos. Son destacables el manejo del tiempo de riego según el tipo de sistema; el riego por pulsaciones para mejorar la uniformidad de la distribución de agua infiltrada; la técnica de recorte de caudal para evitar grandes caudales de escorrentía; la recuperación del agua de escorrentía y finalmente la técnica de tablares con desagüe.





UNIDAD DIDÁCTICA 1

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

UNIDAD DIDÁCTICA 2

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

UNIDAD DIDÁCTICA 3

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

UNIDAD DIDÁCTICA 4

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

UNIDAD DIDÁCTICA 5

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

UNIDAD DIDÁCTICA 6

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



Acequia: Canal de transporte y/o distribución del agua de riego, construido en obra de fábrica o de tierra.

Aforador: Dispositivo para la medida del caudal.

Aforo: Cálculo o medida del caudal.

Aliviadero: Estructura de protección que suele construirse paralelamente a una acequia o canal para que el caudal sobrante desagüe cuando exista riesgo de que el agua pueda desbordarlo.

Arquetas de distribución: Elementos de distribución que tienen como función repartir el agua desde un canal o acequia a otras acequias o directamente a parcela. Tendrán tantas salidas como parcelas, unidades de riego o sectores se quieran regar.

Asurcado: Operación con la cual se realizan los surcos de riego.

Barrera: Elemento de control usada en riego por superficie cuya función es mantener una determinada altura de agua en una acequia o canal.

Cabecera: Zona de la parcela donde se aplica el agua de riego.

Canal de desagüe: Canal destinado a recoger el agua de escorrentía y conducirla adecuadamente a cauces naturales, balsas de almacenamiento y sedimentación o bien permitir su reutilización.

Capacidad de almacenamiento: Es la cantidad de agua que es capaz de retener un suelo sin que se produzcan pérdidas por percolación.

Caudal máximo no erosivo: Caudal máximo a aplicar en un riego por superficie sin que exista riesgo de erosión.

Cociente de déficit: Es la relación entre el agua que ha faltado para llenar totalmente la zona donde se encuentran las raíces del cultivo y el agua que realmente hubiera sido necesaria para llenar toda esa zona. Indica qué tanto por ciento del volumen de suelo que debería haber recibido agua no la ha recibido.

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

Coefficiente de uniformidad: Índice que permite estimar la forma en que el agua se infiltra en el suelo. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que se ha infiltrado en todos los puntos de la parcela, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada.

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

Compuerta: Elemento de control en la distribución del agua de riego que permite derivar el agua de un canal o acequia.

Curva de descarga: Relación entre la altura de agua y el caudal que pasa por un aforador o vertedero. Permite determinar el caudal que circula en función de la altura de agua medida.

Dosis de riego: Cantidad de agua a aplicar con el riego de forma que se satisfagan las necesidades brutas.

Eficiencia de aplicación del riego: 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.

Erosión: Arranque, transporte y depósito de partículas del suelo, provocada por factores externos como el agua y el viento.

Escorredera: Canal cuya función es conducir el agua de escorrentía a la red de desagüe.

Escorrentía: Agua aplicada con el riego que no se infiltra en el suelo, escurriendo sobre su superficie y por lo tanto perdiéndose.

Evapotranspiración de diseño: Evapotranspiración usada a la hora de diseñar el sistema de riego. Es la máxima evapotranspiración calculada para la campaña de riegos multiplicada por 1.1.



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.

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.

Explicación: Operación con la cual se consigue que el suelo quede con una pendiente uniforme en toda su superficie o bien perfectamente horizontal, con fines de riego.

Fase de almacenamiento: Etapa de un riego por superficie que comienza cuando se completa el avance del agua hasta cola y continúa hasta que se corta el suministro de agua.

Fase de avance: Etapa que comienza a partir del momento en que se aplica el agua de riego hasta que ésta alcance el punto más lejano, considerando que ha finalizado el avance cuando todos los lugares a los que debe llegar el agua se han mojado.

Filtración profunda: Cantidad de agua 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 tanto, agua perdida.

Frente de humedecimiento: En un hipotético corte a una parcela de riego por superficie, es el límite entre el suelo seco y el suelo que se está humedeciendo.

Infiltración: Proceso por el cual el agua aplicada sobre la superficie del suelo penetra en él pasando de unos poros a otros en muchas direcciones.

Infiltración básica: Es la velocidad de infiltración de un suelo cuando ha pasado un tiempo prolongado.

Lámina de agua aplicada: 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 infiltrada: Una vez concluido el riego, es la altura de agua que ha infiltrado a lo largo de la parcela si se observara un perfil del suelo.

Lavado de sales: Operación con la cual se aporta con el riego una cantidad de agua extra para disolver las sales en exceso. Se genera con ello filtración profunda que permite que las sales pasen a capas más profundas del suelo, evitando que afecten negativamente al cultivo.

Limo: Partícula mineral del suelo con un tamaño intermedio entre la arena y la arcilla.

Partidor: Elemento de distribución del agua de riego que permite dividir el caudal de una acequia o canal en un número de partes iguales o diferentes con el fin de tener un mayor control del agua.

Pendiente: Desnivel de una parcela.

Poros: Espacio que forma el medio poroso del suelo (junto con la partículas sólidas) y que pueden contener agua, aire o ambos a la vez.

Rápidos y saltos: Estructuras de protección construidas en la red de riego con el fin de disipar la energía del agua cuando existen pendientes acusadas o desniveles abruptos, evitando así dañar la red.

Red de desagüe: Red de canales y acequias a la que se vierte el agua de escorrentía para conducirla a cauces naturales.

Relación de avance: Índice que indica cuántas veces mayor ha sido el tiempo de riego con respecto al tiempo de avance.

Relación de escorrentía: Es la relación entre el volumen de escorrentía y el volumen aplicado al riego.

Relación de filtración: Determina las pérdidas por filtración profunda o percolación con respecto a la cantidad de agua aplicada.

Riego a la demanda: Método de organización del control del agua de riego muy flexible, en el que el agricultor no tiene que esperar turno para regar sino que tienen libertad para adoptar un programa de riegos.

Riego por turnos: Método de organización del control del agua de riego en el que se establecen turnos según orden de acceso de las acequias dentro de una comunidad o turnos entre comunidades de regantes.

Sifón: Tubo rígido o flexible fabricado en materiales diversos con los que el agua de riego se trasvasa desde la acequia a cada surco.

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 avance: Es el tiempo, medido desde que comienza el riego, que el agua tarda en llegar a todos y cada uno de los puntos de la parcela.



Tiempo de infiltración: Es el tiempo que el agua está en contacto con el suelo durante el riego y por lo tanto se estará infiltrando en él. Para cada punto, es la diferencia entre el tiempo en que se haya producido el receso y en el que haya llegado el agua a ese lugar.

Tiempo de receso: Medido desde el inicio del riego, es el tiempo en que todo el agua desaparece de la superficie del suelo.

Tiempo de riego: Es el tiempo que dura la aplicación de agua a la parcela de riego.

Tomas: Elementos de distribución del agua de riego a través de los cuales se podrá abrir o cortar el paso del agua, permitiendo así el control y reparto de agua.

Topografía: Relieve del terreno.

Torna: Estructura de control mediante la cual el agua pasa de unas acequias a otras, o directamente a parcela cuando se trata de acequias de tierra.

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

Uniformidad: Índice que permite estimar la forma en que el agua se infiltra en el suelo. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que se ha infiltrado en todos los puntos de la parcela, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada.

Velocidad de infiltración: Mayor o menor rapidez del agua en infiltrarse en el suelo.

Vertedero: Estructura que se instala de forma permanente o provisional para medir el caudal de agua que pasa por un determinado punto de la red de riego.





Bibliografía

- Ávila, R.; Cabello, A.; Ortíz, F.; Lirola, J.; Martín, A. (1996). **Agua, Riego y Fertirrigación**. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Booher, L.J. (1974). **El Riego Superficial**. FAO nº 95. Roma.
- 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.
- GarridoValero, M.S. (1996). **Prácticas agrarias compatibles con el medio natural: el agua**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- 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.



AGRICULTURA

GANADERÍA

PESCA Y ACUICULTURA

POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA

FORMACIÓN AGRARIA

CONGRESOS Y JORNADAS

R.A.E.A.

ISBN 84-8474-025-0



P.V.P. 1.150 PTAS
6,91 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca