

Manual de Riego para Agricultores

Módulo 1

Fundamentos del Riego



Consejería de Agricultura y Pesca



MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES

MÓDULO 1. FUNDAMENTOS DEL RIEGO

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca

Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Autores: Rafael Fernández Gómez, Ricardo Ávila Alabarces, Manuel López Rodríguez,

Pedro Gavilán Zafra, Nicolás A. Oyonarte Gutiérrez.

Depósito Legal: CO-1249-99

I.S.B.N: 84-8474-024-2

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 del 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 (módulo 4). 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 Giménez, 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.

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

AQUASYSTEM, S.A.

P.I. El Oliveral, Fase IV, P-5
46190 RIBARROJA DEL TURIA (VALENCIA)

IRRIMÓN-MONDRAGÓN, S.A.

P.I. Mediterráneo. C/ Fila, P-8
46550 ALBUIXECH (VALENCIA)

PLASTIMER, S.A.

P.I. La Redonda. Calle 13, local 59, bajo.
Santa María del Águila
04710 EL EIIDO (ALMERÍA)

VALMONT, S.A.

Ctra. Mejorada del Campo a Velilla de S. Antonio, Km. 0.64
28840 MEJORADA DEL CAMPO (MADRID)

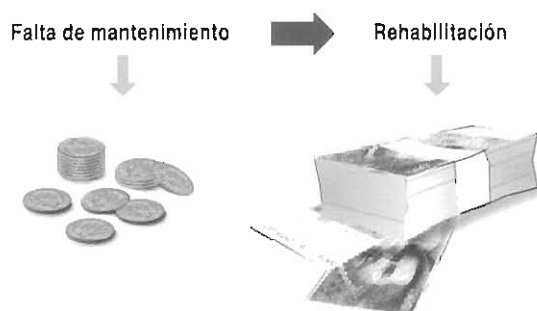
Unidad Didáctica 1. EL AGUA Y EL RIEGO	11
1.1 Introducción.	11
1.2 Ciclos y usos del agua.	13
1.3 El agua como recurso limitado.	15
1.4 Aspectos sociales, económicos y medioambientales del riego.	18
Resumen.	21
Autoevaluación.	22
Unidad Didáctica 2. MÉTODOS DE RIEGO	23
2.1 Introducción.	23
2.2 Riego por superficie.	25
2.3 Riego por aspersión.	28
2.4 Riego localizado.	30
Resumen.	33
Autoevaluación.	34
Unidad Didáctica 3. IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LOS REGADÍOS	35
3.1 Introducción.	35
3.2 Efectos ambientales positivos relacionados con los regadíos.	36
3.3 Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos.	37
Resumen.	45
Autoevaluación.	46
Unidad Didáctica 4. EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA. PÉRDIDAS DE AGUA.	47
4.1 Introducción.	47
4.2 Características físicas del suelo.	48
4.3 El agua en el suelo.	50
4.4 El agua en la planta. Uso del agua por la planta.	54



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

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

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



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

1.2 Ciclos y usos del agua

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

El agua del planeta está en continuo movimiento pudiéndose encontrar en tres estados o fases: líquida, sólida y en forma de vapor. Se almacena temporalmente en los océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, etc. formando parte de las aguas superficiales, desde las cuales se **evapora** (pasa de forma líquida a vapor) por la acción del calor del sol, pasando a la atmósfera y formando ocasionalmente las nubes. El enfriamiento del vapor genera la **precipitación** (lluvia, nieve o granizo) que devuelve el agua a los mares, océanos, etc. donde de nuevo se evapora o discurre por las corrientes de agua superficiales, bien cae al suelo y se **infiltra** hacia capas más profundas del subsuelo formando las bolsas de agua subterráneas denominadas **acuíferos**, o se devuelve a la atmósfera en forma de vapor por el efecto del calor del sol o la respiración de las plantas. Este continuo movimiento del agua es lo que se denomina **ciclo hidrológico**.

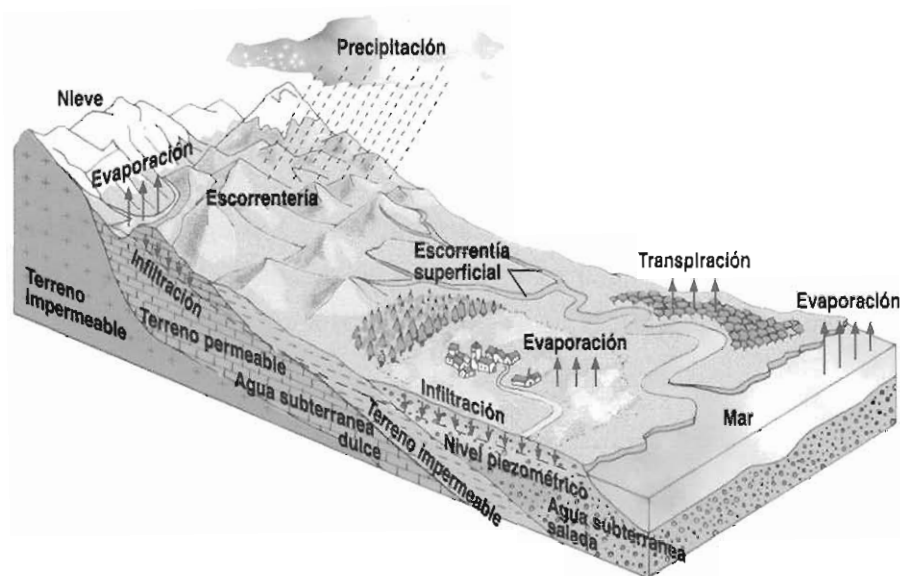


Figura 1. Ciclo hidrológico.

Aún cuando la cantidad de agua existente es enorme, la que realmente se puede considerar **útil para las actividades realizadas por el hombre**, el **agua dulce líquida**, es muy pequeña. Se estima que del total de agua en la Tierra, el 96% es agua salada, en torno al 3% es agua en forma sólida (constituyendo los hielos polares y otras zonas de hielos permanentes) y solo un 1% es agua dulce líquida que se encuentra en lagos, cursos de agua (ríos, arroyos, etc.) y en los acuíferos.



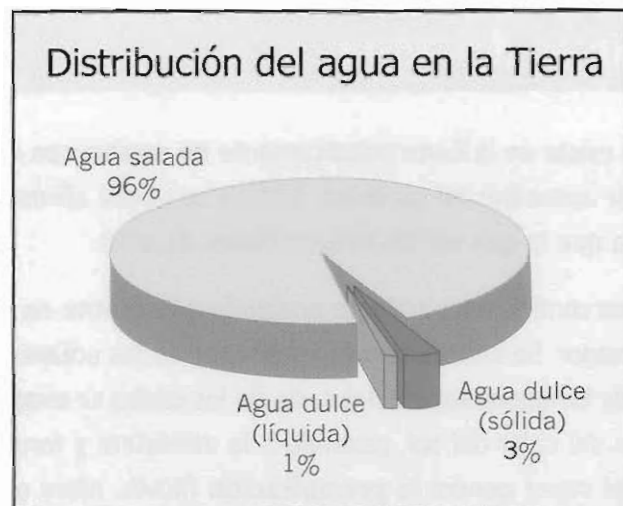


Figura 2. Distribución del agua en la Tierra.

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

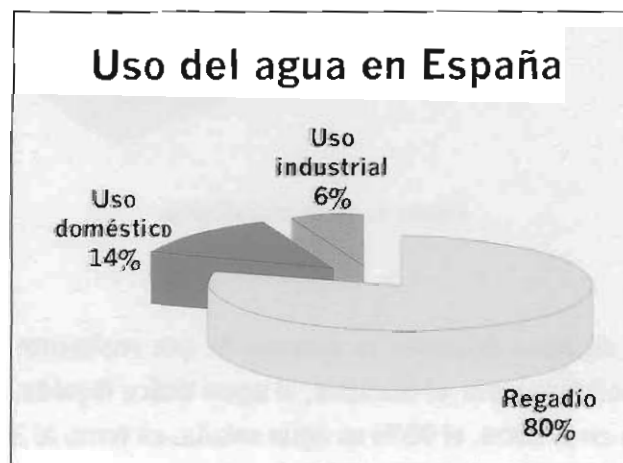


Figura 3. Uso del agua en España.



1.3 El agua como recurso limitado

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

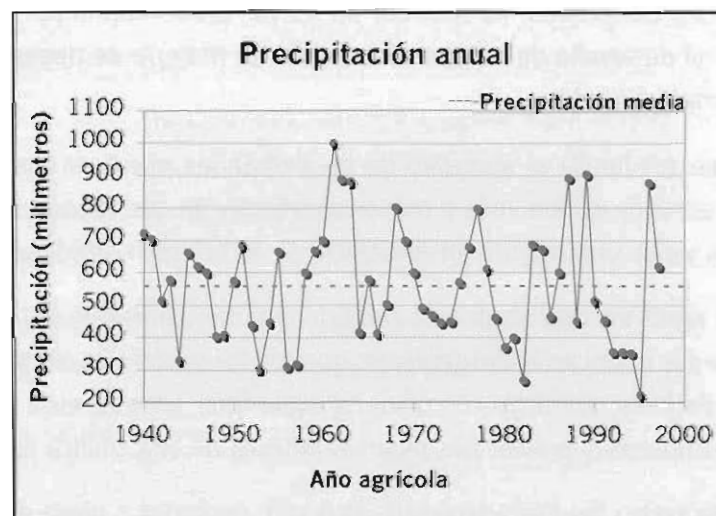


Figura 4. Precipitación anual en Sevilla desde el año 1940 hasta la actualidad.

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





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

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

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

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

- **AGUAS SUPERFICIALES:** las procedentes de la lluvia, deshielos o nieve que discurren por la superficie.
- **AGUAS SUBTERRÁNEAS:** las que después de infiltrarse en el suelo corren o están almacenadas en el subsuelo.
- **AGUAS DE TRASVASE:** las que proceden de otras cuencas hidrográficas.
- **AGUAS DE RETORNO:** provienen de agua sobrante en otro lugar dentro de la cuenca.
- **AGUAS DEPURADAS:** de la depuración de aguas de uso doméstico o industrial.

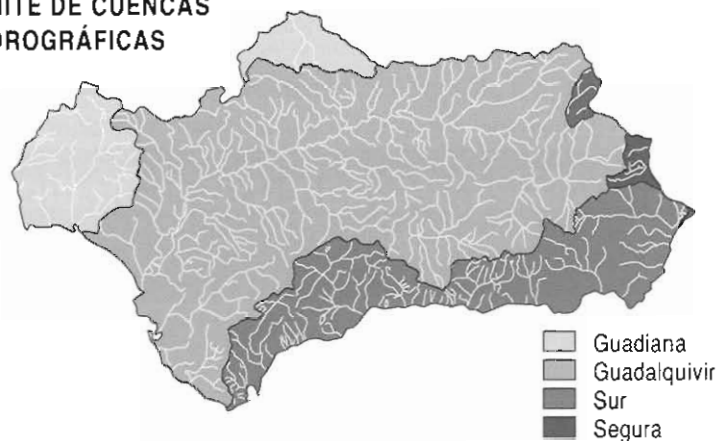
Considerando todas las cuencas hidrográficas, la superficie de cultivo regada en Andalucía con agua de diferentes orígenes se especifica en la tabla adjunta:



Origen del agua	has. de riego	%
Superficial	547.000	70.1
Subterráneo	225.000	28.8
Trasvase	2.800	0.4
Retorno	85	0.01
Depurada	5.650	0.7

La superficie de Andalucía está dividida en varias cuencas, la del **Guadalquivir**, que ocupa la mayor superficie (59%), seguida de la cuenca **Sur** (36%), la del **Guadiana** (4%) y del **Segura** (1%). Si exceptuamos la cuenca del Segura, por su escasa superficie respecto a las demás, existen notables diferencias entre la cuenca del Guadalquivir y las cuencas Sur y Guadiana basadas en el tipo de cultivos, sistemas de riego y origen de las agua de riego, ya que en la primera de ellas predomina el **origen superficial** mientras que en las otras dos el **empleo del agua subterránea** es más preponderante. Esto ha provocado una explotación excesiva de los acuíferos, lo que es especialmente grave en zonas costeras donde se ubican estas cuencas, lo que por otro lado ha permitido paliar el efecto de las sequías prolongadas sufridas en la cuenca del Guadalquivir.

LÍMITE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS



Distribución de la superficie de Andalucía por cuencas hidrográficas

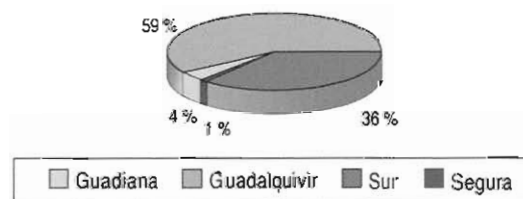


Figura 6. Distribución de la superficie de Andalucía por cuencas hidrográficas.

En cualquier caso, la situación de los recursos hídricos en Andalucía es **deficitaria**, es decir, hay menos agua que la que se demanda. Puede observarse como la cuenca del Guadalquivir, que usa mayor proporción de agua superficial presenta mayor déficit de agua, mientras que el resto de las cuencas, entre las que se encuentran las cuencas costeras Sur y Guadiana tienen menor déficit debido al uso de agua subterránea a costa de sobreexplotar, en muchos casos, los acuíferos. **La situa-**

tros de material de riegos, fertilizantes, fitosanitarios, transformación y comercialización de productos o asesoramiento agronómico e hidráulico. Pero tampoco se debe olvidar el aspecto social, la generación de empleo, la redistribución de la población en torno a zonas de regadío, etc. Datos referidos a 1993 indicaban que la productividad media del regadío en España era más de 7 veces mayor que la del secano (en Andalucía en torno a 6 veces mayor), y en 1994 el 60% de la producción final agrícola, cerca de dos billones de pesetas, se originó sólo en el 15% de la superficie total de cultivo que es representada por el regadío. Tampoco debe olvidarse la dependencia de numerosas empresas de muy diversa índole y actividad a la producción agrícola de regadío, como por ejemplo las de transformación o agroalimentarias, sin cuyos productos su suministro se vería mermado o bien tendrían que soportar gastos de importación elevados.

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



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

Resumen

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

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

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



Autoevaluación

1. Aunque en el conjunto de Andalucía la mayor parte del agua destinada al riego es de origen superficial, en las cuencas costeras o litorales (Sur y Guadiana) predomina el uso de agua
 - a) Depurada
 - b) De retorno
 - c) De trasvase
 - d) Subterránea
2. La superficie de regadío en Andalucía ha sufrido un importante incremento en los últimos años, situándose en la actualidad en torno a
 - a) 200.000 has.
 - b) 600.000 has.
 - c) 800.000 has.
 - d) 1.000.000 has.
3. En la agricultura española, ¿cuál de los siguientes cultivos se produce en su mayoría en regadío?
 - a) Olivar
 - b) Cereales
 - c) Hortalizas
 - d) Viñedo
4. Durante el movimiento del agua dentro del ciclo hidrológico, parte del agua se encuentra en el subsuelo almacenada o discurriendo por unas capas de suelo denominadas
 - a) embalses
 - b) acuíferos
 - c) afluentes
 - d) bolsas de agua
5. En España, más de las tres cuartas partes del consumo de agua está destinada a
 - a) uso urbano
 - b) uso para regadío
 - c) uso industrial
 - d) uso doméstico
6. Las superficies del terreno en las que se recoge el agua de lluvia o deshielo para formar parte de los cursos de agua superficial o subterráneos se denominan cuencas hidrográficas.
Verdadero / Falso
7. La cuenca hidrográfica que ocupa la mayor parte de la superficie andaluza es la del
 - a) Sur
 - b) Guadiana
 - c) Segura
 - d) Guadalquivir
8. La superficie de cultivo de regadío en Andalucía es superior a la de secano, lo que hace que más de la mitad de la producción final agrícola corresponda al regadío.
Verdadero / Falso
9. Implantar cualquier sistema de regadío implica generar en el medio ambiente que lo rodea sólo impactos o efectos ambientales negativos.
Verdadero / Falso



2.1 Introducción

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

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

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

- La **topografía** del terreno y la **forma** de la parcela, es decir la pendiente, longitud y anchura, si existen caminos, acequias u otro tipo de elemento que pueda interferir en el riego y la posibilidad de que el agua pueda ser llevada hasta la parcela sin un coste excesivo.
- Las **características físicas del suelo**, en particular las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego que debe ser puesta a disposición de las raíces de las plantas.
- **Tipo de cultivo**, del que es especialmente necesario conocer sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua.



- **La disponibilidad de agua**, aspecto muy relevante en cuanto puede ser necesario programar los riegos no en función de las necesidades de agua del cultivo sino de la posibilidad de que exista agua suficiente para regar y el **precio** de la misma.
- **La calidad del agua de riego**, lo que puede ser determinante en la elección tanto del método de riego como de ciertos componentes de la instalación.
- **La disponibilidad de mano de obra**, con la que se garantice la ejecución de todas las labores precisas durante el desarrollo del cultivo, en particular las referidas al riego.
- El **coste de la instalación** de cada sistema de riego en particular, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la ejecución de los riegos y mantenimiento del sistema.
- El **efecto en el medio ambiente**, especialmente en el uso eficiente del agua, la calidad de las aguas de escorrentía y la erosión del suelo.

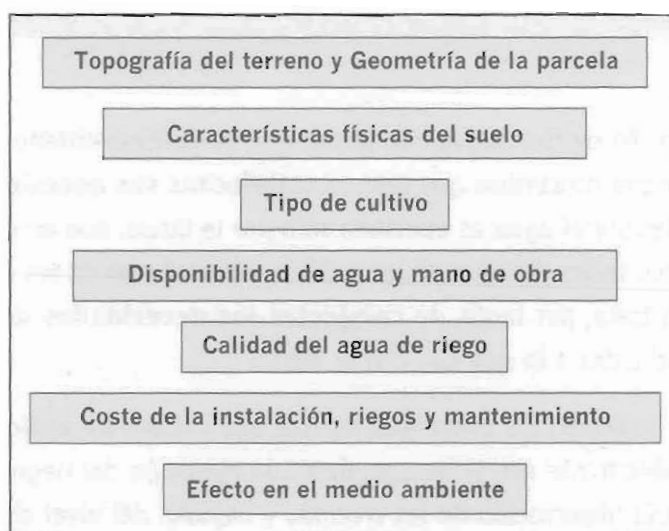


Figura 1. Factores a considerar en la elección del método de riego.

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

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

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



Figura 2. Reparto de la superficie de regadío en España.

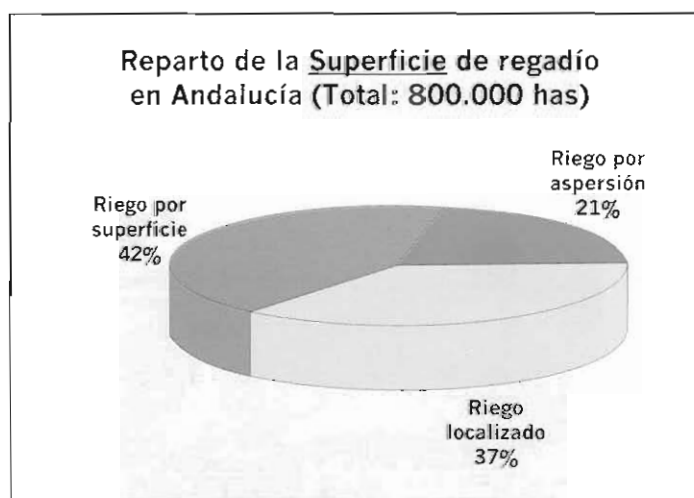


Figura 3. Reparto de la superficie de regadío en Andalucía.

2.2 Riego por superficie

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





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

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



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

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



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

El riego por superficie es un método particularmente recomendable en **terrenos llanos o con pendientes muy suaves** en los que no sea preciso realizar una *explanación* del suelo, lo que es costoso y puede afectar negativamente al suelo. Es el método de riego **menos costoso en instalación y mantenimiento**, además de que una vez que el agua llega a la parcela no existe coste en la aplicación del agua. Sin embargo es el que de hecho **utiliza el agua de forma menos eficiente**, aún cuando con un adecuado diseño y manejo de los riegos pueden competir en eficiencia con otros métodos de riego como aspersión o localizado.

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





Figura 7. Riego por superficie en olivar.

2.3 Riego por aspersión



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

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



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

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

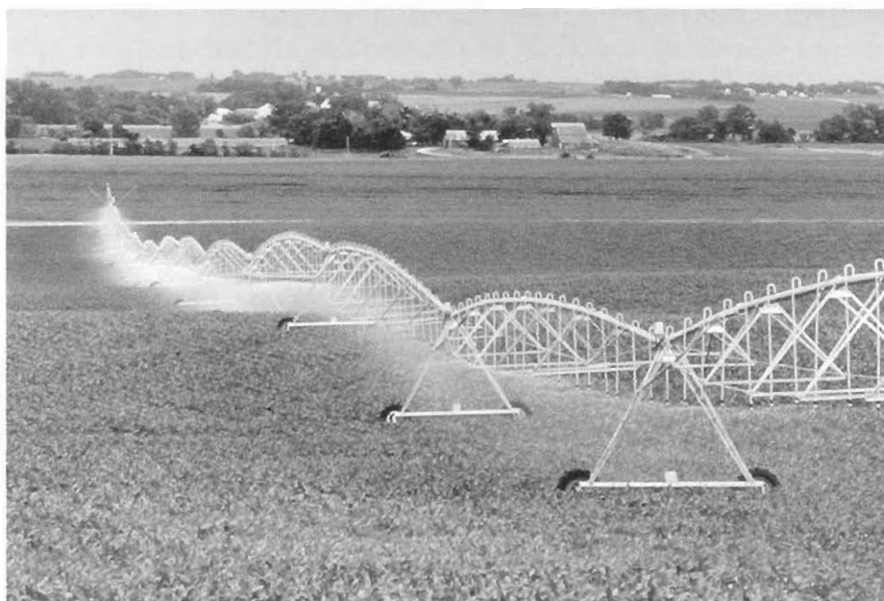


Figura 10. Máquina de riego.



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

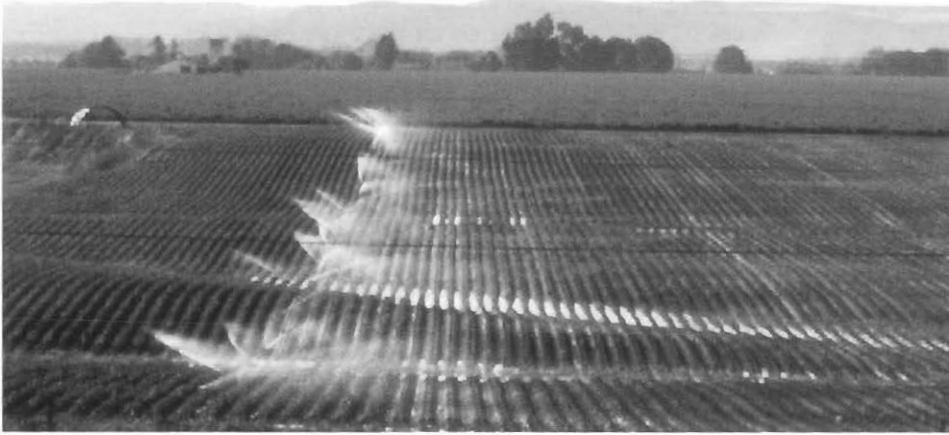


Figura 11. En riego por aspersión la aplicación del agua se ve afectada por las condiciones climáticas.

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

2.4 Riego localizado

El método de riego localizado supone **aplicar el agua sólo a una zona determinada del suelo**, no a su totalidad, lo que constituye la principal diferencia con respecto a los sistemas anteriores. Al igual que el riego por aspersión, el agua **circula a presión por un sistema de tuberías** (princi-

pales, secundarias, terciarias y ramales) desplegado sobre la superficie del suelo o enterrado en éste, y finalmente **sale por los emisores de riego localizado** con poca o nula presión a través de unos orificios, generalmente de muy pequeño tamaño.



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

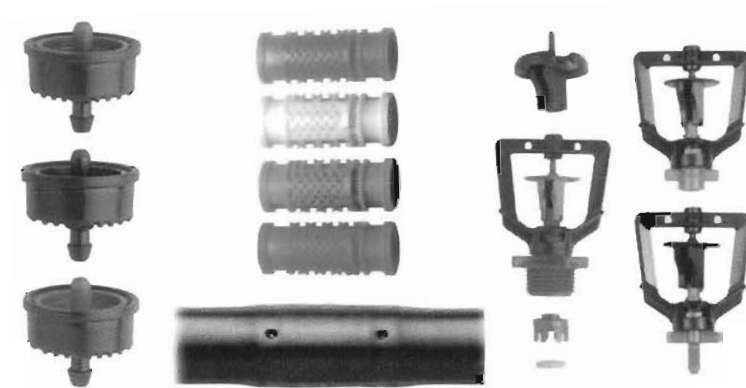


Figura 13. Emisores de riego localizado.

En estos sistemas es necesario contar con un **sistema de bombeo** que dote de presión al agua, así como determinados elementos de **filtrado y tratamiento** del agua antes de que circule por la red de tuberías. Con ellos se pretende evitar la obturación de los emisores, uno de los principales problemas que suelen ocurrir. Estos elementos se instalan a la salida del grupo de bombeo en lo que se denomina **cabezal de riego localizado**.



Figura 14. Cabezal de riego localizado.

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



Figura 15. Aparato de fertirriego para riego localizado.

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



Resumen

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

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

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

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



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

3.2 Efectos ambientales positivos relacionados con los regadíos

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

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



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

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

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

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

3.3 Efectos ambientales negativos relacionados con los regadíos

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



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

Es conocido que la agricultura de regadío es la actividad que más cantidad de agua consume, cifrándose en torno al 80% del total. Unido esto a la escasez de agua que existe en nuestra región, es fácil percatarse del serio problema que ocasiona un mal uso del agua en la agricultura. En realidad, el



derroche de agua es en sí un problema medioambiental que desgraciadamente ocurre con demasiada frecuencia en un gran número de sistemas de riego. El agua no se utiliza correctamente en dichos sistemas bien por su antigüedad y mal estado de conservación general de las redes de distribución de agua o de los componentes de las instalaciones, o bien por el diseño y manejo de los riegos en la propia finca, decisivos en el uso eficiente del agua.



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

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

La **filtración profunda** origina el movimiento de las sales del suelo hasta capas donde no son útiles a las raíces, **pasando tanto a las aguas subterráneas como a las aguas de retorno que se vierten a cauces naturales**. Este agua también pueden contener otros productos fitosanitarios como herbicidas, plaguicidas, o abonos, lo que contribuye aún más a la contaminación del agua de retorno. El **agua de escorrentía** puede erosionar el suelo y producir la **contaminación del agua con sedimentos y otros elementos asociados**, y si se vierte a cauces naturales ocasiona serios perjuicios a la fauna y reduce la vida útil de algunas estructuras como presas, puentes, etc.

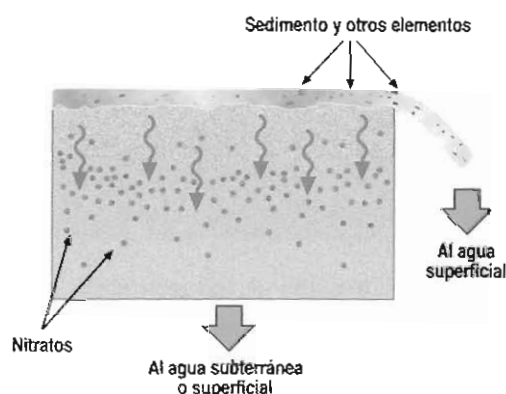


Figura 4. Contaminación de las aguas subterráneas y superficiales como consecuencia de la *filtración profunda* y la *escorrentía*, ocasionadas en determinados riegos.

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

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

LA EROSIÓN DEL SUELO

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

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



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

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

CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

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

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

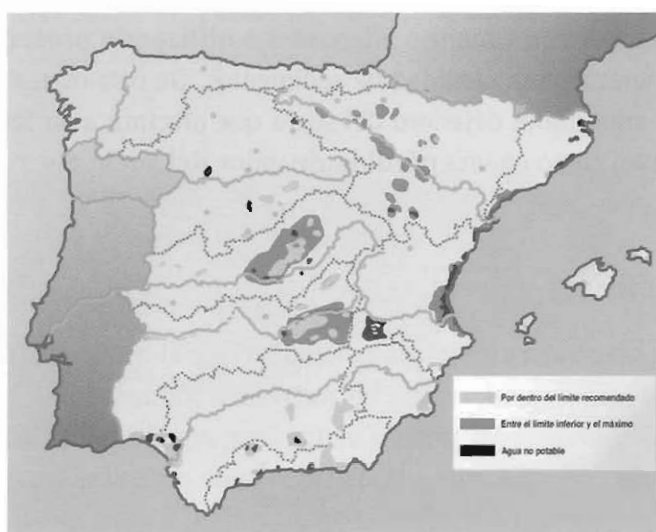


Figura 8. Concentración de nitrato en las aguas subterráneas de España.

CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

EJEMPLO

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

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

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

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

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

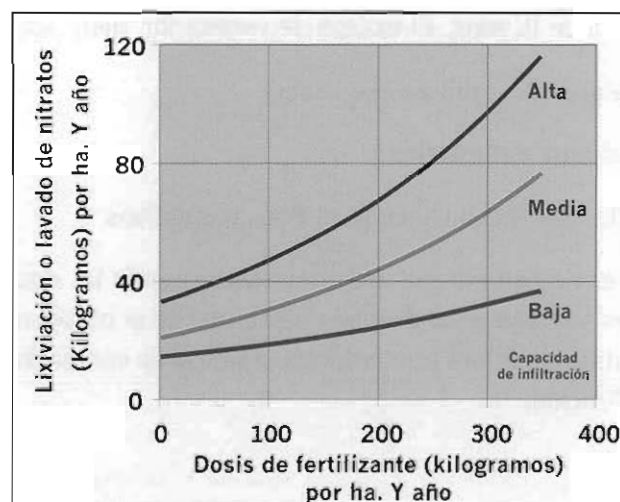


Figura 9. Relación entre el lavado de nitratos y la dosis aplicada así como la capacidad de infiltración del suelo.



CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

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



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

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

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

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

Resumen

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

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

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

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



Autoevaluación

1. La agricultura de regadío genera impactos tanto positivos como negativos en el medio ambiente circundante. El grado en que dicho medio se ve afectado es independiente del tamaño del sistema de regadío y siempre será igual, se trate de zonas muy extensas o simples parcelas de riego.

Verdadero / Falso

2. ¿Qué proceso o procesos pueden provocar un serio deterioro tanto de la calidad de las aguas como del suelo?

- a) Evaporación del agua desde el suelo
- b) Evapotranspiración
- c) Filtración profunda y escurrentía
- d) Transpiración

3. La salinización del suelo es un efecto perjudicial que puede producirse en un suelo si se riega repetidamente con agua salina. ¿Qué es preciso conocer antes de proyectar el sistema de riego para evitar este impacto ambiental negativo?

- a) La cantidad de agua disponible para los riegos
- b) La calidad del agua de riego
- c) La temperatura media del agua de riego
- d) La capacidad de retención de agua del suelo

4. La erosión del suelo es un serio problema en la agricultura actual que, entre otros efectos, produce la eliminación de las capas más superficiales en zonas donde predomina el arranque de partículas. Pero, ¿qué relación tiene ese efecto con la productividad del suelo?

- a) En realidad ninguna
- b) Las capas más superficiales son las más fértiles
- c) Con el suelo se puede arrastrar la semilla del cultivo
- d) El cultivo no puede absorber el agua

5. Por lo general el riesgo de erosión del suelo es mucho mayor en sistemas de riego

- a) Localizado
- b) Por aspersión
- c) Por superficie
- d) No se puede distinguir claramente entre ninguno de ellos

6. ¿Cómo se conoce el proceso por el cual el nitrato del suelo, el aportado con el agua de riego o ambos se filtra por debajo de la zona ocupada por las raíces del cultivo pudiendo llegar a contaminar las aguas subterráneas?

- a) Nitrificación del agua subterránea
- b) Mineralización del nitrato
- c) Eutrofización
- d) Lixiviación o lavado de nitratos

7. Para garantizar la potabilidad del agua para el consumo humano, la Organización Mundial de la Salud a establecido un límite recomendado y otro máximo de contenido de nitratos. ¿Cuál es el límite recomendado?

- a) 10 miligramos por litro
- b) 25 miligramos por litro
- c) 50 miligramos por litro
- d) 100 miligramos por litro

8. La eutrofización es un proceso por el cual la vegetación crece en exceso debido a altas cantidades principalmente de nitrógeno y fósforo en el agua.

Verdadero / Falso

9. ¿Cuál de los siguientes puede considerarse como un efecto positivo originado en los regadíos?

- a) Sobreexplotación de acuíferos
- b) Alteración del régimen de los cursos de agua
- c) Generación de filtración profunda y escurrentía
- d) Aumento del valor paisajístico del entorno



4.1 Introducción

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

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

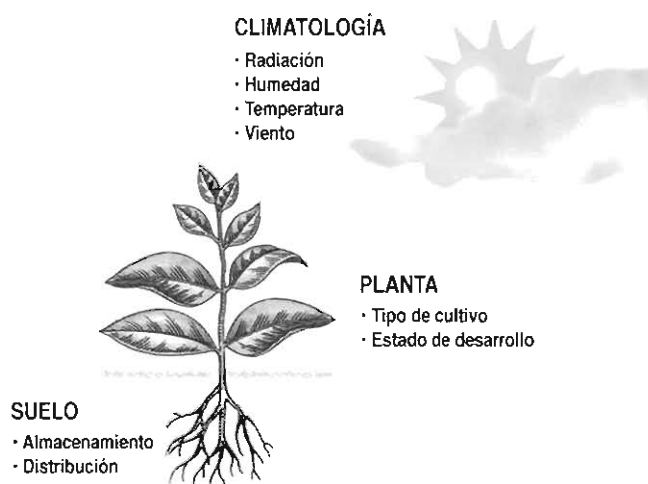


Figura 1. Principales factores de los que depende el consumo de agua por la planta.

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

4.2 Características físicas del suelo

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

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

ocupando ambas parte o la totalidad de los poros.

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

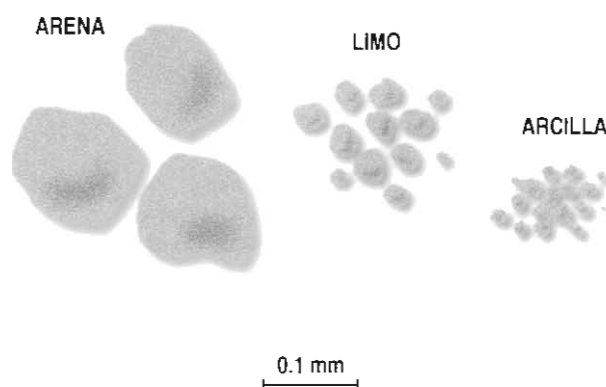


Figura 2. Partículas minerales del suelo.

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

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

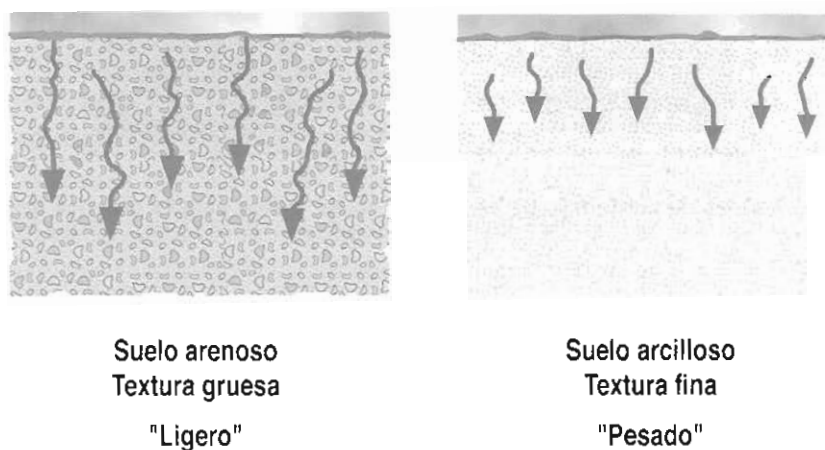


Figura 3. Infiltración del agua en suelos arenosos o "ligeros" y arcillosos o "pesados".

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

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

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

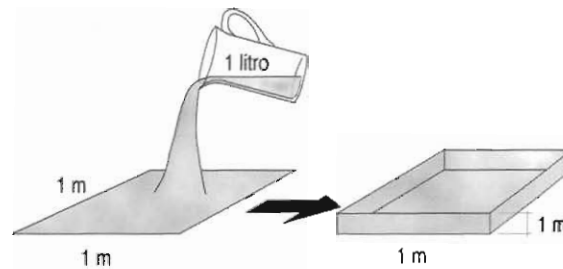
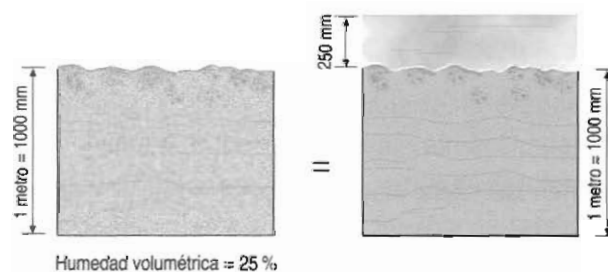


Figura 6. Relación entre litros por metro cuadrado y milímetros de altura de agua.

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



MEDIDAS INDIRECTAS DEL CONTENIDO DE AGUA EN UN SUELO

Tensiómetros:

Son aparatos que **miden la succión** o fuerza que ejerce el suelo sobre el agua. A medida que el

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

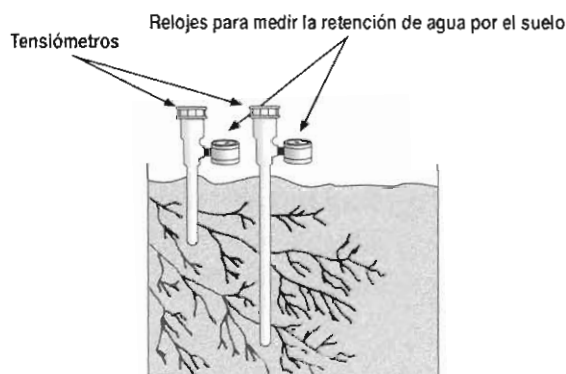


Figura 7. Tensiómetros colocados a dos profundidades distintas.

Sonda de neutrones:

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

TDR:

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

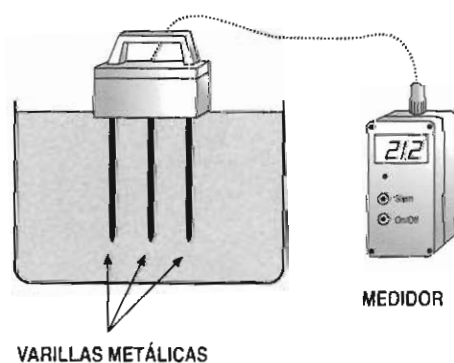


Figura 8. Esquema de un TDR.



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

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

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

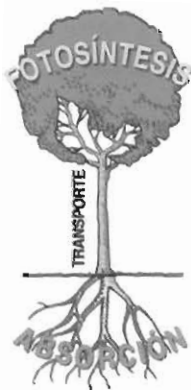


Figura 9

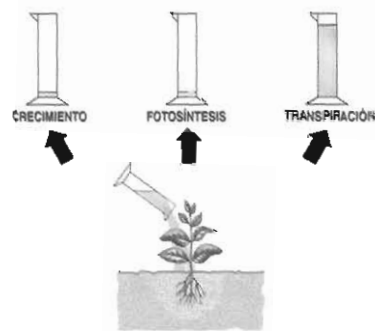


Figura 10

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

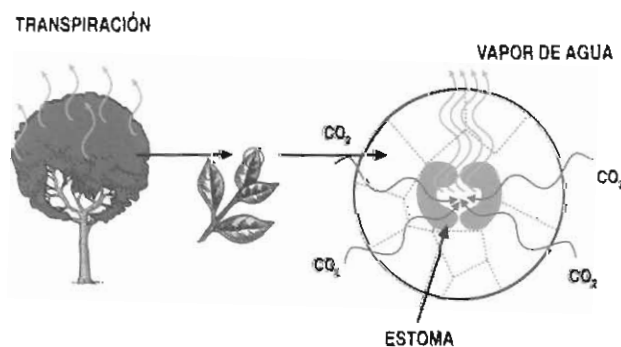


Figura 11. Proceso de transpiración en la superficie de las hojas.

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

- ◆ TIPO DE CULTIVO
- ◆ CANTIDAD DE AGUA CONTENIDA EN LA PLANTA
- ◆ RADIACIÓN SOLAR, TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL AIRE Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO (ambientes cálidos, secos o con vientos fuertes implican mayor transpiración)

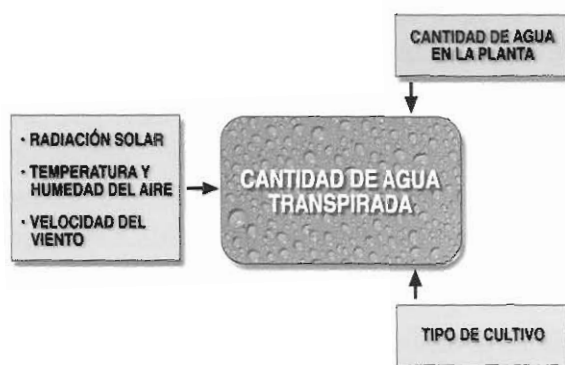


Figura 12. Factores que influyen en la cantidad de agua transpirada.

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

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

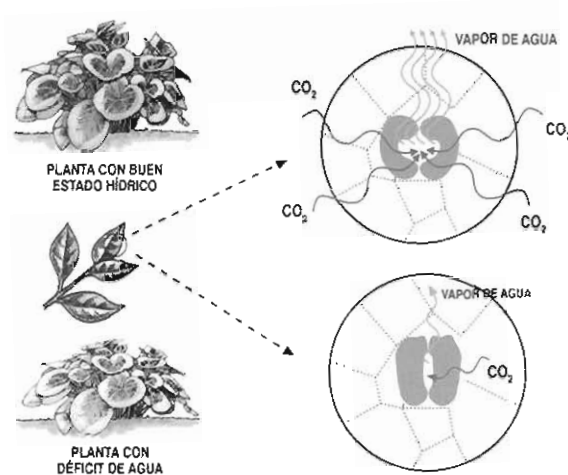


Figura 13. Regulación de la cantidad de agua transpirada por la apertura o cierre de los estomas.

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

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

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

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

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

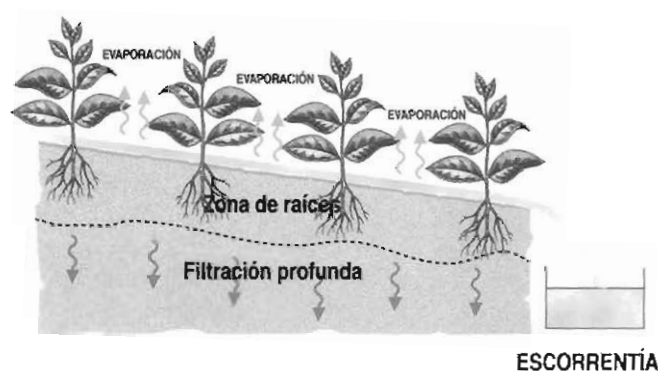


Figura 14. Procesos de evaporación, filtración profunda y escorrentía.

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

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

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

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

4.6 Calidad del riego: Eficiencia, uniformidad y déficit

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

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

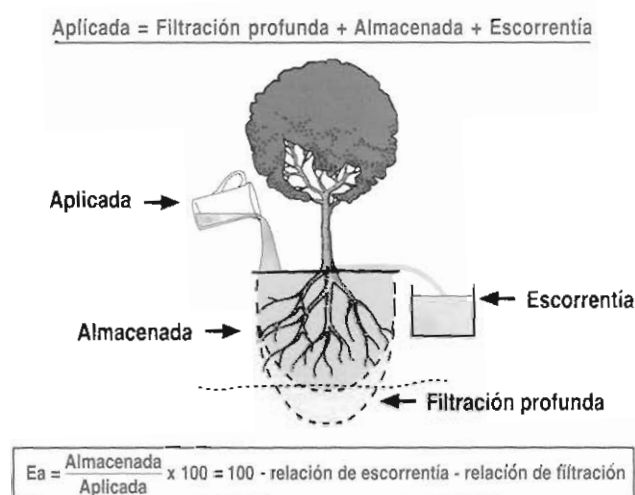


Figura 15. Eficiencia de aplicación.

EJEMPLO

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

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

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

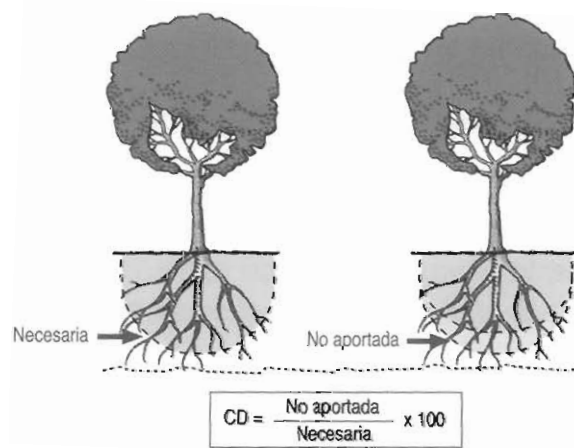


Figura 16. Cociente de déficit.

EJEMPLO

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

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

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

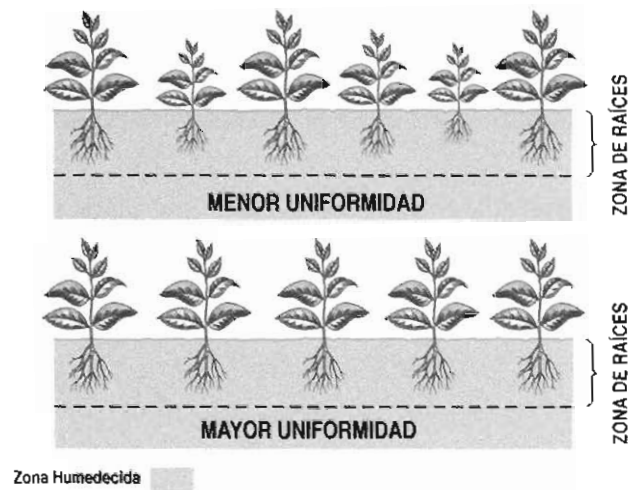


Figura 17. Coeficiente de uniformidad.

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



Resumen

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

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

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



Autoevaluación

- Indicar cuál de las siguientes es una característica destacada de los suelos arcillosos o pesados:
 - El tamaño de los poros es relativamente grande
 - Infiltran el agua hacia zonas profundas con cierta facilidad
 - Permite que las plantas extraigan el agua sin realizar demasiado esfuerzo incluso cerca del límite inferior de humedad
 - Suelen provocar problemas de encharcamiento
- ¿Cómo se denomina a la diferencia de humedad del suelo entre el límite superior y el límite inferior?
 - Diferencia de agua disponible
 - Cantidad de agua extraíble
 - Intervalo de humedad disponible
 - Nivel de agua en saturación
- El gasto de agua más importante que realiza la planta se invierte en la fotosíntesis y procesos de crecimiento, mientras que sólo una pequeña parte se usa en la transpiración.
Verdadero / Falso
- Los estomas son las células de las hojas en las que
 - entra el vapor de agua de la atmósfera
 - sale el anhídrido carbónico del aire y el vapor de agua
 - sale el vapor de agua y entra el anhídrido carbónico del aire
 - entra la radiación solar para realizar la fotosíntesis
- Los estomas son células de las hojas que pueden regular el contenido de agua en la planta. Normalmente tienden a cerrarse
 - sólo durante la noche
 - inmediatamente después de un riego
 - para evitar que se realice la fotosíntesis
 - cuando la planta sufre escasez de agua
- El proceso por el cual parte del agua de riego se infiltra hacia abajo hasta zonas en las que las raíces no pueden extraerla se denomina
 - Filtración profunda o percolación
 - Escorrentía
 - Transpiración
 - Evaporación
- El índice que mide la cantidad de agua que en realidad van a aprovechar las raíces respecto al total de agua aplicada se denomina
 - Eficiencia de uniformidad
 - Eficiencia de aplicación
 - Cociente de déficit
 - Uniformidad de aplicación
- De un riego se conoce que la relación de escorrentía es del 32% y la relación de filtración profunda del 3%. ¿Cuál será, por tanto, la eficiencia de aplicación del agua?
 - 65%
 - 29%
 - 32%
 - 35%



5.1 Introducción

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

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

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

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



5.2 El agua de riego y las sales

ANÁLISIS DEL AGUA DE RIEGO

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



Figura 1

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

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

	Valores normales		Valores normales
pH	6–8.5	Potasio	0–2 mg/L
Conductividad eléctrica	0–3 dS/m	Sodio	0–920 mg/L
Carbonatos	0–3 mg/L	Boro	0–2 mg/L
Bicarbonatos	0–600 mg/L	Hierro	0–0.5 mg/L
Cloruros	0–1100 mg/L	RAS ⁽¹⁾	0–15
Sulfatos	0–960 mg/L	Dureza	0–40 °F ⁽²⁾
Calcio	0–400 mg/L	Sólidos en suspensión	0–100 mg/L
Magnesio	0–60 mg/L	Bacterias	0–25.000 por cm ³

⁽¹⁾ RAS: relación de adsorción de sodio

⁽²⁾ Grados franceses

SALINIDAD DEL AGUA

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



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

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

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

Medida del contenido de sales

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

Medida de la conductividad eléctrica

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

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



Contenido Total de Sales = 0.64 x Conductividad eléctrica

EJEMPLO

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

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



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

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

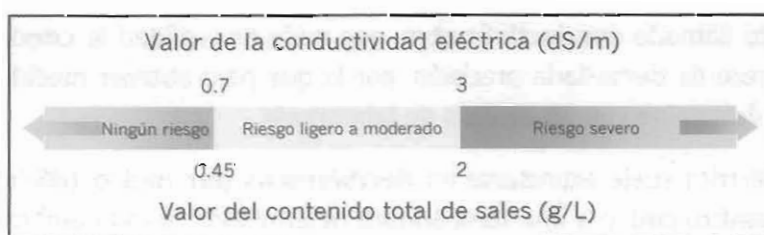


Figura 4. Riesgo de salinización del suelo según la conductividad eléctrica o el contenido total de sales del agua de riego.

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

TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD

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

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

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

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

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



5.3 Toxicidad

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

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

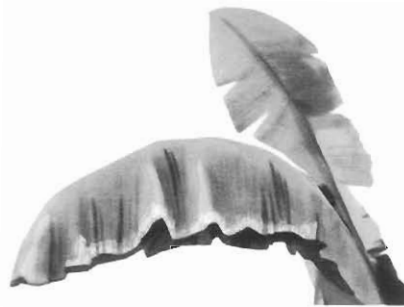


Figura 5. Síntomas de exceso de sodio en una hoja de platanera.

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



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

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

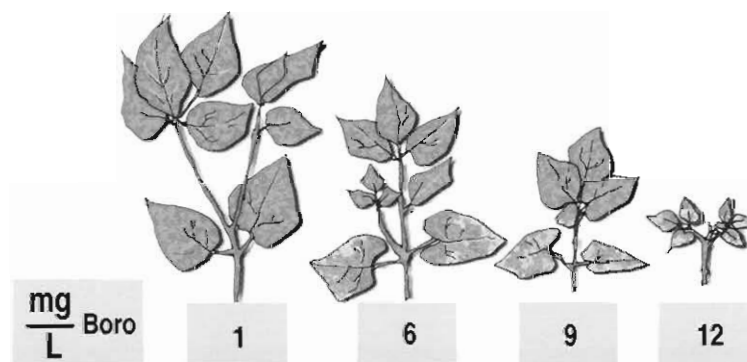


Figura 7. Efecto de distintas concentraciones de boro en el suelo en hojas de judía.

5.4 Problemas de infiltración

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

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

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



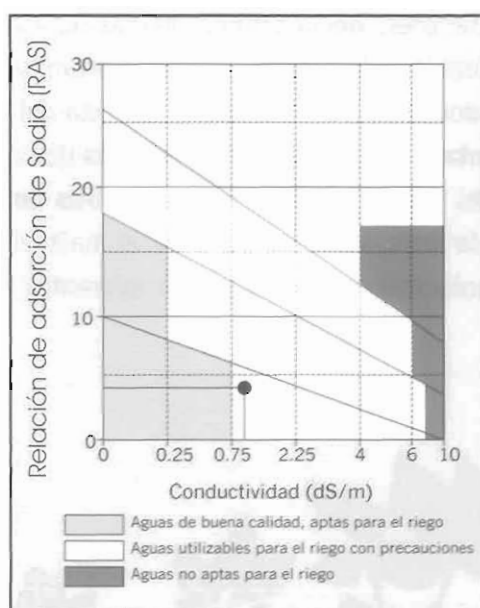


Figura 8. Calidad del agua de riego en función del contenido de sales y la relación de adsorción de sodio.

5.5 Otros criterios de calidad

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

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

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

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

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

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

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

5.6 Lavado de sales

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



Figura 9



Las **necesidades de lavado** constituyen la cantidad de agua de riego que se utiliza para disolver las sales y desplazarlas hasta capas del suelo más profundas. La cantidad de agua necesaria para realizar el lavado depende básicamente del tipo de cultivo (su tolerancia a la salinidad) y de la salinidad del agua del suelo; a mayor salinidad del agua del suelo y menor tolerancia, mayor será la cantidad de agua a aplicar para lavar las sales. Sin embargo, dado que con cada método de riego el agua se aplica de forma distinta y el movimiento del agua en el suelo es diferente, así como la frecuencia con que se aplica el riego, las necesidades de lavado son también distintas. Por ello, será preciso diferenciarlas en el momento en que se trate el manejo de cada uno de los métodos.

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



Resumen

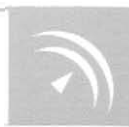
La calidad del agua de riego es un factor muy importante a la hora de tomar decisiones sobre la elección del sistema de riego, determinación de los componentes de la instalación y del propio manejo del riego y del cultivo con objeto de evitar problemas de salinidad, infiltración del agua en el suelo,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

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

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

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

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



Autoevaluación

1. Cuando se pretende tomar una muestra de agua de riego procedente de pozo para su análisis, debe hacerse cuando comienza a bombearse el agua y mezclarla con otra tomada cierto tiempo después.

Verdadero / Falso

2. El valor del contenido total de sales en una muestra de agua de riego se puede determinar fácilmente si se conoce el valor de

- a) El color de la muestra
- b) La concentración de las sales más pesadas
- c) La relación de adsorción de sodio
- d) La conductividad eléctrica y la temperatura

3. La tolerancia de un cultivo a la salinidad viene indicado por el valor de conductividad eléctrica del agua del suelo que puede soportar sin producirse disminuciones en su rendimiento.

Verdadero / Falso

4. Los dS/m (decisiemens por metro) es una unidad que mide

- a) La cantidad de precipitados en una muestra de agua de riego
- b) La conductividad eléctrica
- c) La capacidad de retención del agua en el suelo
- d) Esa unidad no existe

5. Cuando las hojas de un melocotonero presentan quemaduras en la punta y con el tiempo avanzan por ambos bordes, puede suponerse que se está ante una toxicidad por

- a) Exceso de cloruro
- b) Falta de sodio

- c) Exceso de boro
- d) Falta de boro

6. Si la relación entre la concentración de sodio y la de calcio y magnesio en el suelo es muy alta, pueden producirse

- a) Problemas de obturación de emisores
- b) Elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el agua del suelo
- c) Problemas de infiltración
- d) Mejoras apreciables en la estructura del suelo

7. La cantidad de agua de riego que se emplea en disolver las sales del suelo y transportarlas hasta capas más profundas se denomina

- a) Riego de disolución
- b) Necesidades de lavado
- c) Lavado de infiltración
- d) Riego de lavado

8. Los precipitados de hierro y de carbonatos en el agua de riego pueden provocar con frecuencia

- a) Obturaciones en riego por superficie
- b) El sellado de los poros del suelo
- c) Obturaciones en sistemas de riego localizado
- d) Muerte de las plantas por exceso de precipitados en la zona de raíces

9. Cuando por las características del agua de riego se requieran necesidades de agua de lavado elevadas y el suelo infiltre el agua con dificultad, será muy conveniente instalar un sistema de drenaje para evacuar el agua de lavado cargada de sales.

Verdadero / Falso



6.1 Introducción

La **programación de los riegos** implica determinar **cuándo se ha de regar y cuánta agua aplicar**, para lo cual es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Puede ser una herramienta para lograr diversos objetivos, como conseguir la máxima producción, mejorar la calidad de los productos, desarrollar todo el potencial de la instalación del sistema de riego, ahorrar abonos, reducir la contaminación ambiental, etc. Además, en regiones como Andalucía, con recursos hídricos escasos, el **uso eficiente del agua** deberá ser siempre un objetivo a conseguir.

La influencia del **cultivo** es importante puesto que las necesidades de agua serán mayores o menores en función del tipo de planta y de su estado de desarrollo. De la misma forma, las raíces de un cultivo ocupan diferente profundidad del suelo en distintas fases dentro del ciclo por lo que la cantidad de agua disponible en esa zona de suelo varía con el estado del cultivo. La capacidad de cada **suelo** para retener agua también es diferente lo que implica que tanto la cantidad de agua a aplicar con el riego como la que pueden extraer las plantas puede variar mucho. A ello hay que añadir que las necesidades de agua serán también dependientes del **clima**, radiación solar, viento, precipitación, etc., por lo que es preciso conocer las características climáticas de la zona y del cultivo para programar adecuadamente los riegos.

Esto es aplicable a todos los cultivos. Sin embargo algunos de ellos requerirán prácticas de riego especiales o que se tengan en cuenta características un tanto específicas del suelo (presencia de *patógenos*,...), por lo que constituyen aspectos que es necesario considerar en la programación de riegos de cada situación concreta. Por la gran variedad de casos que pueden presentarse, se desarrollará a continuación una programación genérica sin atender a casos particulares. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que la práctica del riego no es algo independiente sino que está íntimamente ligada al resto de las prácticas de cultivo en que éste se desarrolla.



6.2 Necesidades de agua de los cultivos

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

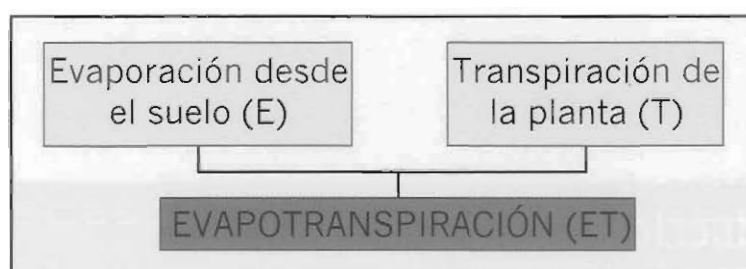


Figura 1. Componentes de la evapotranspiración.

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

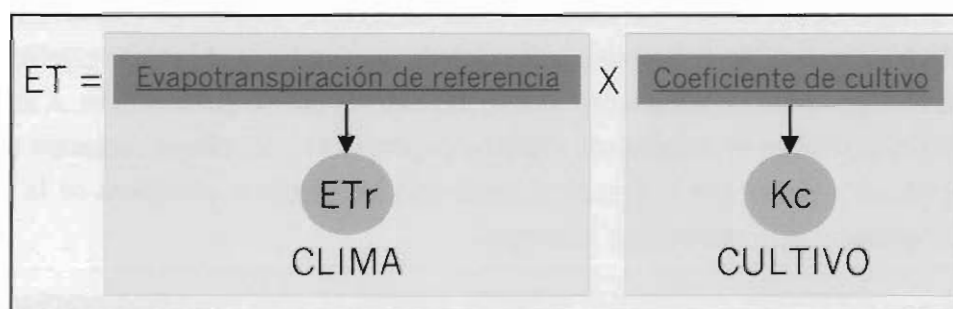


Figura 2. Expresión para el cálculo de la evapotranspiración (ET).

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Para poder calcular la evapotranspiración (ET) se parte de un sistema ideado para este fin, consis-



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

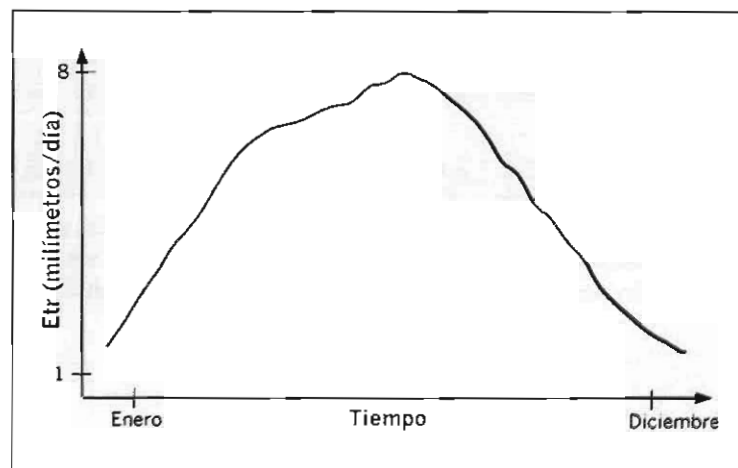


Figura 3. Curva típica de evapotranspiración de referencia (ETr).

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

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

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

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

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

COEFICIENTE DE CULTIVO

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

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

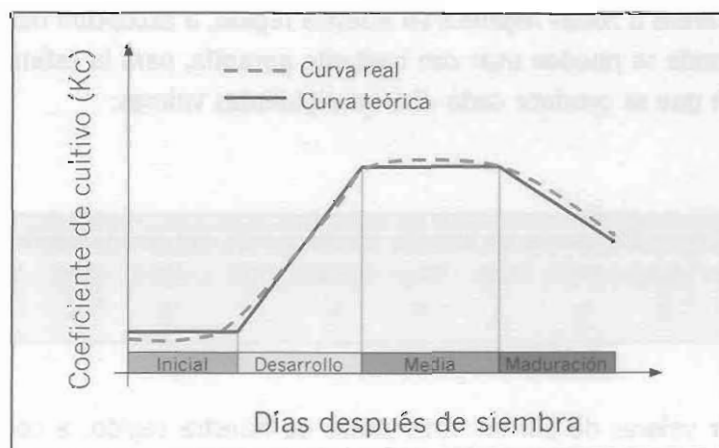


Figura 4. Curvas real y teórica típicas de coeficiente de cultivo para especies anuales, según las diferentes fases de desarrollo.



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

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

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

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



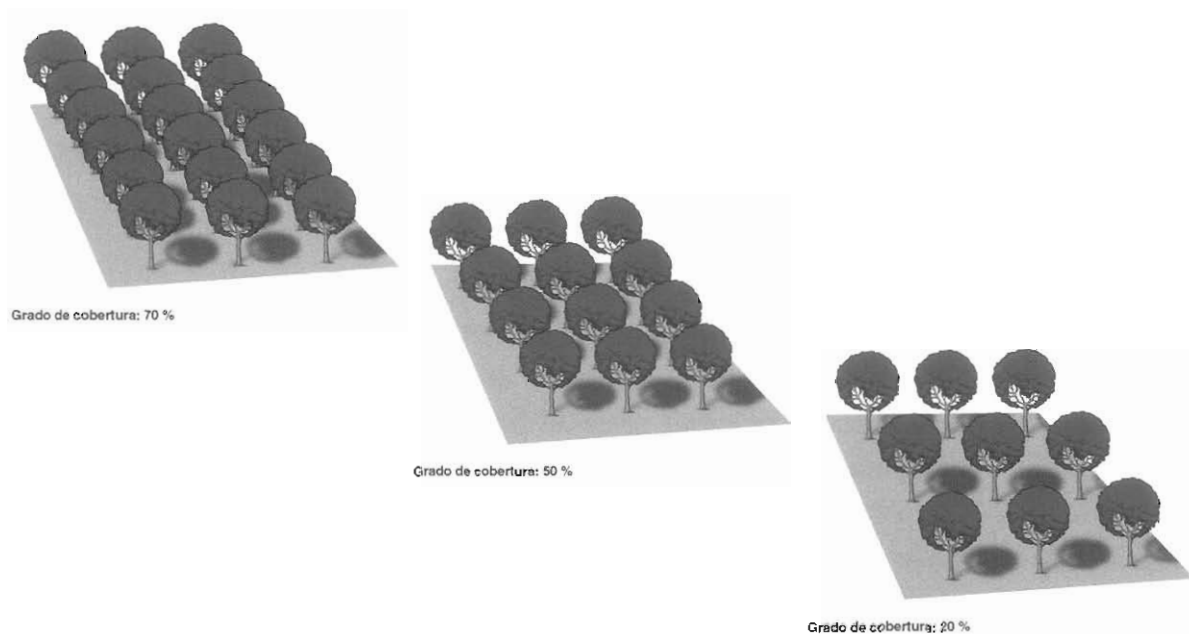


Figura 5. Ejemplo de distintos grados de cobertura del suelo en cultivos leñosos.

Valores de Kc para Cítricos sin cubierta vegetal												
Grado de cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
> 70%	0.5	0.5	0.55	0.55	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.55	0.55
50% aprox.	0.45	0.45	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.5	0.5
< 20%	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.4	0.4

Valores de Kc para Frutales de hoja caduca sin cubierta vegetal													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Manzano, cerezo	–	–	–	0.4	0.6	0.85	1.0	1.0	0.95	0.7	–	–	
Melocotonero, peral, ciruelo y albaricoque	–	–	–	0.4	0.55	0.75	0.9	0.9	0.7	0.65	–	–	

Valores de Kc para otros cultivos leñosos												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Olivar	0.5	0.5	0.65	0.6	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.65	0.5
Vid	–	–	–	0.45	0.60	0.7	0.7	0.7	0.65	0.5	0.3	–

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



EJEMPLO

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

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

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

6.3 El agua del suelo en relación con el riego

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

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

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



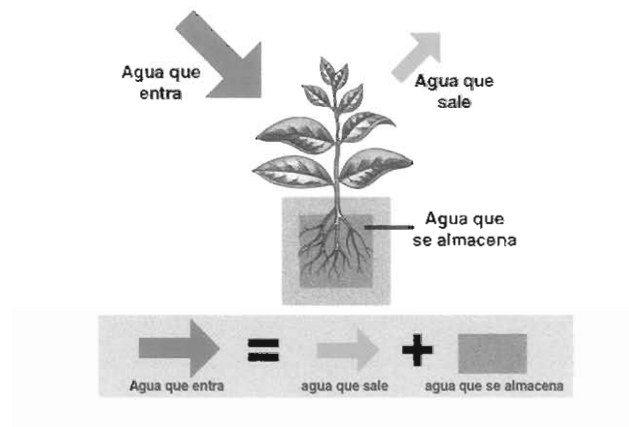


Figura 8. Balance de agua en el sistema suelo-planta.

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

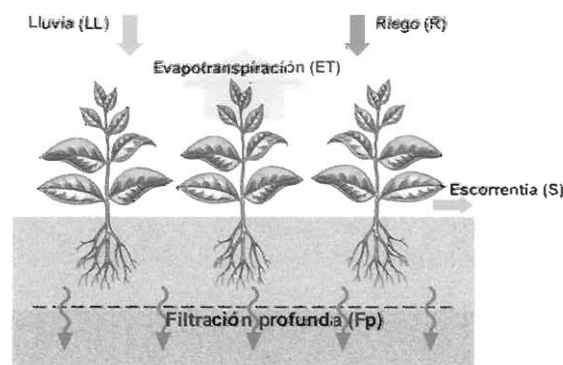


Figura 9. Componentes del balance de agua.

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

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

$$Nn = ET - LL$$

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



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

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

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

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

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

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

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

$$N_b = \frac{N_n}{E_a} \times 100$$

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

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



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

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

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

$$N_b = \frac{N_n}{E_a \times (1 - FL)} \times 100$$

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

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

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

6.5 Estrategias de riego

Las estrategias de riego se pueden entender como criterios para decidir el momento de efectuar un riego y la cantidad de agua a aplicar.

1. Un criterio general es aplicar el riego cuando el **Déficit de Agua en el Suelo (DAS) sea igual al Nivel de Agotamiento Permisible (NAP)**, aplicando las necesidades brutas de riego (N_b). Teniendo en cuenta estrictamente el balance de agua (agua que se aporta al sistema suelo-planta menos agua que se extrae del sistema) es la estrategia más recomendable, ya que permite que no haya problemas de extracción de agua y que la producción final no se vea afectada, aplicando el menor número posible de riegos.

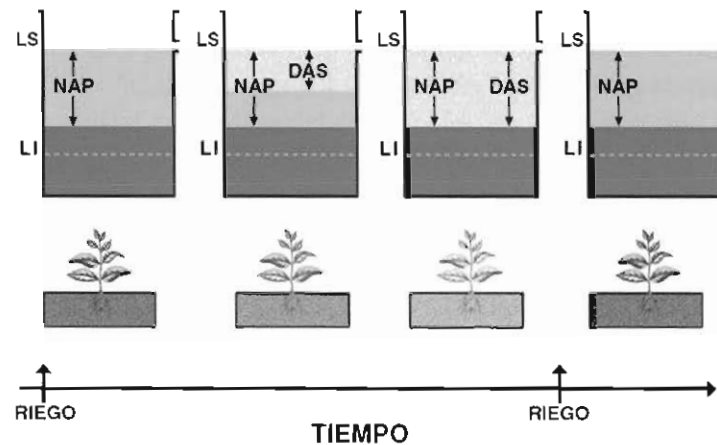


Figura 10. Estrategia de riego basada en aplicar las necesidades brutas cuando el DAS alcance el NAP.

- Si el valor comercial del cultivo es muy alto, es conveniente asegurarse que las raíces de las plantas no tengan problema en extraer el agua en ningún momento, **aplicando las necesidades brutas de riego antes de que el DAS alcance el NAP**. De esta manera se aumenta el número de riegos y, dependiendo del método de riego empleado, su coste.
- En ocasiones es conveniente **aplicar una cantidad de agua fija** con los riegos, de manera que se aproveche al máximo el sistema de riego. Los sistemas automecanizados de riego por aspersión (por ejemplo el pivotante, más conocido por “pívo”) son un claro ejemplo de aplicación de una cantidad fija, que depende de la velocidad a la que se desplace la máquina. En estos casos, el momento de realizar el riego es aquel en que el Déficit de Agua en el Suelo iguale a las necesidades netas, pero teniendo en cuenta que se aplicaran las necesidades brutas.

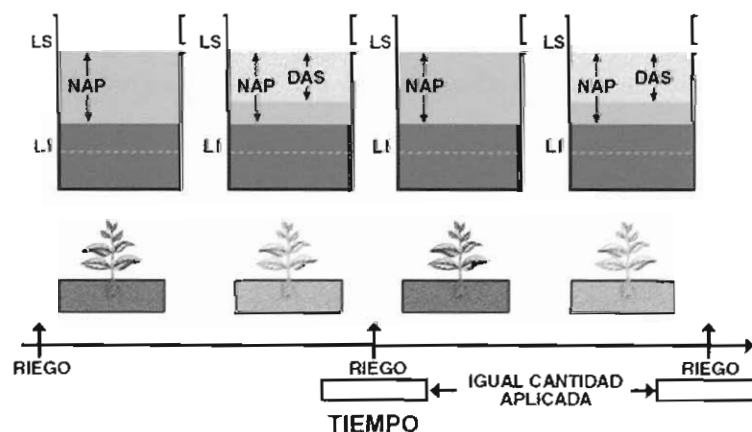


Figura 11. Estrategia de riego con la que se aplica una cantidad de agua fija.

- En numerosos sistemas de riego (principalmente en riego por superficie) existen restricciones para elegir el momento de riego ya están organizados **por turnos** en los que cada agricultor riega cuando le está permitido. En este caso puede ser que el Déficit del Agua en el Suelo supere al



Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5.8	0.4	2.3	2	0.1	10	0
02-may	5.8	0.4	2.3	5	0.1	10	0
03-may	5.8	0.4	2.3	7	0.1	10	0
04-may	5.8	0.4	2.3	9	0.3	29	0
05-may	5.8	0.4	2.3	12	0.3	29	0
06-may	5.8	0.4	2.3	14	0.3	29	0
07-may	5.9	0.4	2.4	16	0.5	49	0
08-may	5.9	0.4	2.4	19	0.5	49	0
09-may	5.9	0.4	2.4	21	0.5	49	0
10-may	5.9	0.4	2.4	23	0.5	49	0
11-may	6	0.8	4.8	28	0.5	49	0
12-may	6	0.8	4.8	33	0.5	49	0
13-may	6	0.8	4.8	38	0.5	49	0
14-may	6	0.8	4.8	43	0.5	49	0
15-may	6	0.8	4.8	47	0.7	68	0
16-may	6	0.8	4.8	52	0.7	68	0
17-may	6.1	0.8	4.9	57	0.7	68	0
18-may	6.1	0.8	4.9	62	0.7	68	0
19-may	6.1	0.8	4.9	67	0.7	68	0
20-may (Riego)	6.1	0.8	4.9	72	0.7	68	91 (Riego)
21-may	6.1	0.8	4.9	5	0.7	68	0
22-may	6.1	0.8	4.9	10	0.7	68	0
23-may	6.1	0.8	4.9	15	0.7	68	0
24-may	6.2	0.8	5.0	20	0.7	68	0
25-may	6.2	0.8	5.0	25	0.7	68	0
26-may	6.2	0.8	5.0	30	1	98	0
27-may	6.2	0.8	5.0	34	1	98	0
28-may	6.2	0.8	5.0	39	1	98	0
29-may	6.2	1.15	7.1	47	1	98	0
30-may	6.2	1.15	7.1	54	1	98	0
31-may	6.3	1.15	7.2	61	1	98	0
01-jun	6.3	1.15	7.2	68	1	98	0
02-jun	6.3	1.15	7.2	75	1	98	0
03-jun	6.4	1.15	7.4	83	1	98	0
04-jun	6.4	1.15	7.4	90	1	98	0
05-jun (Riego)	6.4	1.15	7.4	98	1	98	131 (Riego)
06-jun	6.4	1.15	7.4	7	1	98	0
07-jun	6.4	1.15	7.4	15	1	98	0

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
08-jun	6.5	1.15	7.5	22	1	98	0
09-jun	6.5	1.15	7.5	30	1	98	0
10-jun	6.5	1.15	7.5	37	1	98	0
11-jun	6.5	1.15	7.5	45	1	98	0
12-jun	6.5	1.15	7.5	52	1	98	0
13-jun	6.5	1.15	7.5	60	1	98	0
14-jun	6.5	1.15	7.5	67	1	98	0
15-jun	6.6	1.15	7.6	75	1	98	0
16-jun	6.6	1.15	7.6	82	1	98	0
17-jun	6.6	1.15	7.6	90	1	98	0
18-jun	6.6	1.15	7.6	97	1	98	0
19-jun (Riego)	6.7	1.15	7.7	105	1	98	131 (Riego)
20-jun	6.7	1.15	7.7	8	1	98	0
21-jun	6.7	1.15	7.7	15	1	98	0
22-jun	6.7	1.15	7.7	23	1.2	117	0
23-jun	6.7	1.15	7.7	31	1.2	117	0
24-jun	6.7	1.15	7.7	39	1.2	117	0
25-jun	6.8	1.15	7.8	46	1.2	117	0
26-jun	6.8	1.15	7.8	54	1.2	117	0
27-jun	6.8	1.15	7.8	62	1.2	117	0
28-jun	6.8	1.15	7.8	70	1.2	117	0
29-jun	6.8	1.15	7.8	78	1.2	117	0
30-jun	6.8	1.15	7.8	85	1.2	117	0
01-jul	6.8	1.15	7.8	93	1.2	117	0
02-jul	6.8	1.15	7.8	101	1.2	117	0
03-jul	6.8	1.15	7.8	109	1.2	117	0
04-jul (Riego)	6.7	1.15	7.7	117	1.2	117	156 (Riego)
05-jul	6.7	1.15	7.7	8	1.2	117	0
06-jul	6.7	1.15	7.7	15	1.2	117	0
07-jul	6.7	1.15	7.7	23	1.2	117	0
08-jul	6.6	1.15	7.6	31	1.2	117	0
09-jul	6.6	1.15	7.6	38	1.2	117	0
10-jul	6.6	1.15	7.6	46	1.2	117	0
11-jul	6.6	1.15	7.6	53	1.2	117	0
12-jul	6.6	1.15	7.6	61	1.2	117	0
13-jul	6.6	1.15	7.6	69	1.2	117	0
14-jul	6.5	1.15	7.5	76	1.2	117	0



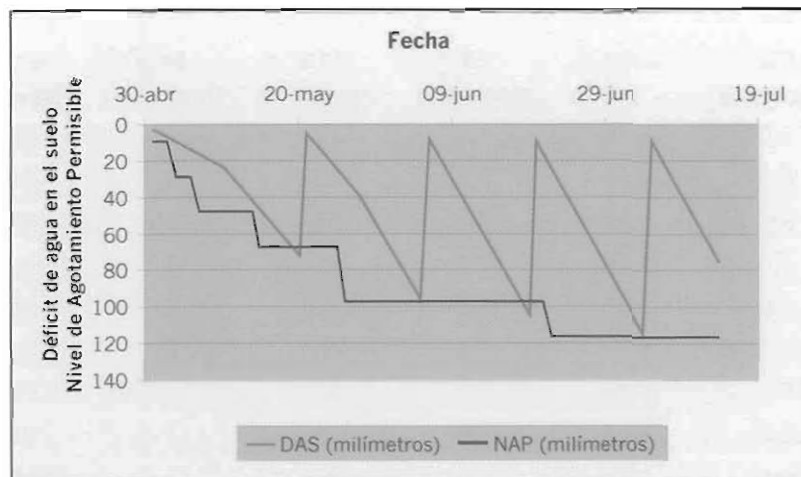


Figura 13. Evolución del DAS y del NAP para el calendario medio del ejemplo.

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

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

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

Fecha	E_{Tr} (mm/día)	K_c	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	84

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



Resumen

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

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

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

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



Autoevaluación

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Límite superior. Es el contenido de humedad del suelo que se consigue dejando drenar libremente un suelo que

se ha saturado, es decir, el máximo contenido de agua que el suelo puede retener. Depende del tipo de suelo y también se conoce como capacidad de campo.

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

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

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

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

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

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

Patógeno. Organismo vivo que es perjudicial para las plantas.

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

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

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

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

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

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

Salinidad. Medida del contenido de sales.

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

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

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

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

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

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

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

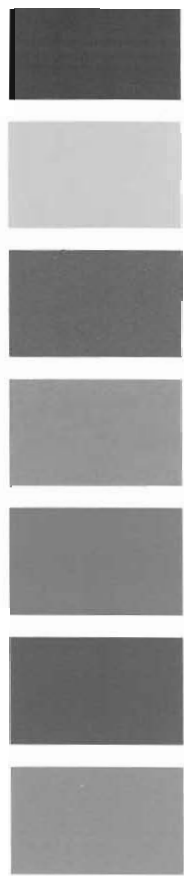
Uniformidad. Un riego es uniforme cuando gran parte de los puntos de la parcela reciben cantidades de riego similares.



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



AGRICULTURA
GANADERÍA
PESCA Y ACUICULTURA
POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA
FORMACIÓN AGRARIA
CONGRESOS Y JORNADAS
R.A.E.A.



ISBN 84-8474-024-2



9 788484 740247

PVP: 1.525 PTAS
9,17 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca