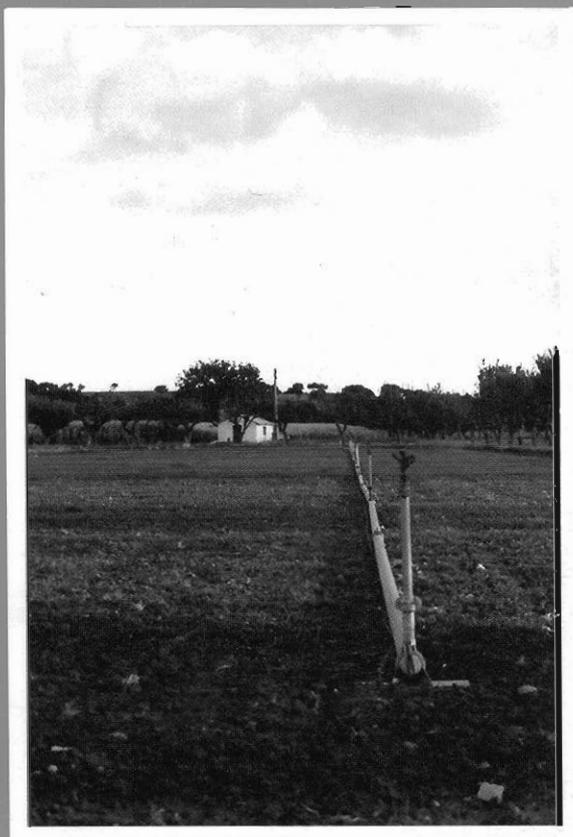


Florencio Ingelmo Sánchez



**ASPECTOS  
FUNDAMENTALES  
DEL REGADIO**

FLORENCIO INGELMO SANCHEZ



# ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL REGADIO

TEMAS MONOGRAFICOS

IRNA/CSIC

Ediciones de la Diputación de Salamanca

1989

IRNA/CSIC  
EDICIONES DE LA DIPUTACIÓN DE SALAMANCA  
TEMAS MONOGRÁFICOS, 18



© IRNA/CSIC  
© Ediciones de la Diputación de Salamanca  
© Florencio Ingelmo Sánchez  
I S B N 84 - 77 - 7797 - 018 - 1  
Depósito legal: S. 22 - 1989  
Printed in Spain. Impreso en España  
EUROPA ARTES GRÁFICAS, S. A.  
Sánchez Llevot, 1. Teléfono (923) \*22 22 50  
37005 Salamanca

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, total o parcialmente, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea mecánico, eléctrico, químico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del editor.



El aporte de agua complementario al de las lluvias (para intensificar y estabilizar la producción en unos casos, y para introducir nuevos cultivos) tiene una serie de aspectos, siendo los más importantes, a nuestro juicio, los que vamos a considerar en esta introducción.

1. Se sabe que aproximadamente la mitad de la población mundial vive en zonas de clima árido o semiárido, en las que la cantidad de agua de lluvia total anual es inferior a la que, según ese clima, podría ser evapotranspirada (evaporada directamente desde el suelo, y transpirada por las plantas). A esta deficiencia hídrica climática hay que añadir la distribución imprevista e irregular de las precipitaciones. Por distribución imprevista queremos significar que no siempre las lluvias se producen con cantidad o en las fechas esperadas. Distribución irregular, por otra parte, es el hecho de que las lluvias no coinciden con los momentos de necesidad hídrica de los cultivos, sino que hay meses con elevadas precipitaciones y otros en las que son pequeñas o nulas. En nuestra zona este último caso se da en épocas en que las necesidades de las plantas son mayores. No hay pues «concordancia» entre el ciclo hidrológico y el vegetativo. Por último, es obvio que precipitaciones intensas y en momentos «inoportunos» traen como consecuencia un «despilfarro» de agua, ya que buena parte de ella se pierde por escorrentía superficial o profunda; en este último caso una vez que ha penetrado hasta capas inferiores del suelo.

La variabilidad de las precipitaciones se observa a nivel mundial, y dentro de cada país. Así se sabe que en desiertos de Africa la lluvia anual es hasta de menos de 50 litros por metro cuadrado y que en algún lugar de las islas Hawai alcanza los 17.000 l/m<sup>2</sup>. En España tenemos desde los escasos 100 litros/m<sup>2</sup> en el sureste hasta los 1.500 ó 2.000 en el Norte y, por último, en Castilla-León desde menos de 400 en Tierra de Pinares (Arévalo) hasta los 1.100 ó 1.500 en zonas de montaña.

2. Está admitido universalmente que la falta de agua es un *factor limitante de la producción vegetal*, ya que, como es bien sabido, la planta necesita agua no sólo para su formación y desarrollo, sino también para ser transpirada a través de ella hacia la atmósfera, como proceso fisiológico propio de su metabolismo. De hecho el consumo total de agua de una cosecha oscila, según el cultivo, entre cien y mil veces más de la estrictamente necesaria para lograr la síntesis vegetal.

3. La importancia que ha llegado a tener el regadío es considerable. Por ejemplo, se riegan hoy en el mundo unos 400 millones de hectáreas, con la expectativa de llegar el año dos mil a unos 700 millones de hectáreas, con un consumo de agua de 5.000 km<sup>3</sup>. En España se riega cerca del 14 % de la superficie agraria total útil, y su producción representa el 50 % de la total.

4. Como quiera que el agua es un recurso natural con una disponibilidad limitada, de ahí que en todo el mundo se sienta la necesidad de una economía en su utilización, y de un control riguroso de las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas. Y ello tanto en los países con balance hídrico tradicionalmente deficitario como en los provistos de mejores condiciones, pero que encuentran hoy problemas para satisfacer las necesidades de agua: urbanas, industriales y agrícolas.

5. Por último, diseñar un plan de regadío es una tarea ardua, por su gran complejidad; son muchos los factores a tener en cuenta (además de los estrictamente técnicos y económicos relacionados con la «traída» del agua), así como laboriosa la tarea de conocer la magnitud de los parámetros implicados y su incidencia en el resultado final. Un proyecto de regadío deficientemente diseñado puede ocasionar un fracaso, y hay ejemplos al respecto, como la degradación de la estructura del suelo (pérdida de porosidad y de permeabilidad). Por falta de avenamiento, la acumulación de humedad produce solubilización de sales, que en fase líquida ascienden a la superficie del suelo, dando lugar a su salinización al evaporarse el agua. Sin olvidar el agotamiento o la contaminación de aguas subterráneas, hasta lugares alejados de la zona de riego, etc.

Por todo ello, el estudio del regadío debe comprender la consideración de los cuatro componentes principales de la producción vegetal: SUELO, AGUA, PLANTA y CLIMA, sus características y modalidades locales.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

El suelo por su carácter de medio poroso es como un depósito de agua. Está abierto por la parte de arriba, donde tienen lugar las ganancias (lluvias) y las pérdidas (evapotranspiración). Está abierto también por abajo, por donde pierde agua (escorrentía profunda) y por donde puede recibir agua, por ascensión capilar, desde capas freáticas; tiene pues la categoría de regulador o puente en ese «gana-pierde» que supone el ciclo del agua en la naturaleza.

Resulta ya clásico que, para realizar la evaluación de un suelo dado, se determinen características tales como:

- profundidad hasta el estrato duro, o roca;
- permeabilidad hidráulica;
- textura;
- condiciones de avenamiento;
- condiciones de erosión;
- salinidad, alcalinidad y otras condiciones de toxicidad;
- acidez
- nivel de fertilidad química.

Todas ellas por lo que se refiere a la totalidad del perfil del suelo. Y además la topografía, pendiente y microrrelieve del terreno.

Antes de otra cosa, hay que decir que conviene conocer la *heterogeneidad* del suelo, en superficie y en profundidad, por lo que el valor de la evaluación del suelo depende más bien del número de muestras estudiadas (para conocer la variación espacial) que dé la precisión del estudio de cada una de ellas.

También hay que destacar que las limitaciones que se derivan de la forma del terreno y de las características físicas del suelo son más difíciles y costosas de corregir, que las de índole químico, por ejemplo. Vamos a con-

siderar seguidamente las características topográficas del terreno y a continuación las características físicas del perfil del suelo.

## CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

Las características del terreno condicionan el transporte del agua hasta el lugar del riego así como su circulación por la zona regada. Además pueden provocar escorrentía superficial del agua y la consiguiente erosión del suelo.

Son características topográficas del terreno, fundamentalmente, la *pendiente* (diferencia de altura entre dos puntos separados a una determinada distancia), la *forma del terreno* (plano, ondulado y existencia de zonas cóncavas o convexas) y las *formas del microrrelieve* (según que el terreno a regar esté en llano, en surcos, en tablas).

Sobre la pendiente del terreno hay que decir que incide de manera decisiva en la elección del sistema de riego. Si bien es aconsejable eliminar los cambios de sentido de la pendiente (ya que afectan directamente a la circulación del agua), pero es necesario tener en cuenta que los movimientos de tierra que ello supone lo hacen a veces prohibitivo, por consideraciones económicas.

Independientemente del sistema de riego, suelo considerarse valor óptimo de la pendiente el comprendido entre el 2 y el 6 %.

Con un valor inferior a 0,8 % resulta difícil llevar el agua a grandes superficies. Por el contrario, si la pendiente es superior al 10 % los riesgos de pérdidas de agua por escorrentía y de erosión se disparan.

Está claro, finalmente, que un aumento del valor de la pendiente requiere una mayor permeabilidad hidráulica en el perfil del suelo (para dar tiempo a la infiltración del agua), al mismo tiempo que una mejor estabilidad de la estructura del suelo, para resistir mejor la erosión.

## PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Se entiende por propiedades físicas del suelo el conjunto de características que le hacen apto para la producción vegetal por dotarle de una buena capacidad para retener el agua, y de una buena disposición para el movimiento e intercambio del agua y del aire. Estas características dependen de la naturaleza de los constituyentes del suelo, de cómo se han ido formando a lo largo de su historia así como del manejo y utilización que ha teni-

do el suelo. Unas están relacionadas con el tamaño de sus agregados o la forma y orientación de los mismos, otras con las características de su espacio poroso y con la continuidad o discontinuidad de los diferentes horizontes del suelo.

Por su repercusión de cara al regadío destacamos:

- la permeabilidad hidráulica saturada;
- la conductividad hidráulica en medio insaturado;
- la capacidad de retención del agua;
- la estabilidad estructural.



### *Permeabilidad hidráulica*

Permeabilidad hidráulica es la cualidad del suelo, como CUERPO POROSO, de dejarse atravesar por el agua cuando todos sus poros están llenos de agua. Representa por tanto la velocidad de penetración del agua hacia capas profundas.

Los factores que gobiernan la entrada de agua en el sentido vertical son de dos categorías: condiciones topográficas y condiciones internas.

En cuanto a las *condiciones topográficas* y microtopográficas, las más importantes en relación con la penetración del agua en contacto con el suelo, son:

- la pendiente general del terreno;
- su variación espacial;
- la forma del relieve y microrrelieve;
- la existencia de encostramientos, de rocas y piedras.

Las *condiciones internas* del suelo que afectan a la permeabilidad son:

- la distribución del espacio poroso;
- la compactación del suelo;
- el espesor de la capa permeable;
- la presencia de materia orgánica;
- la presencia de arcilla (su naturaleza y grado de expansión);
- la estabilidad de los agregados;
- el contenido inicial de agua en el suelo;
- el valor del contenido de agua del suelo saturado;
- la presencia de encostramientos profundos;

Si el agua es suministrada por lluvia natural o artificial (riego por aspersión) su velocidad de infiltración también depende:

- la energía cinética del agua;
- la intensidad (cantidad por unidad de tiempo);
- la duración del suministro del agua.

Resulta práctico reflexionar acerca de la *dinámica de penetración del agua en el suelo*, y acerca de la respuesta o reacción del suelo. Pueden distinguirse las fases:

- *Al comenzar el riego* el agua penetra rápidamente por la acción de la gravedad por un lado, y por la fuerza de succión del suelo seco.
- *Cuando el suelo se satura se anulan* las fuerzas de succión, queda como único motor del movimiento la componente gravitacional.
- *Paralelamente*, a medida que el agua penetra en el suelo, los agregados se hinchan y se dispersa el material coloidal (arcilla y humus). Con ello decrece la velocidad de paso que llega a tener un valor constante, la permeabilidad hidráulica se estabiliza. El suelo se comporta como un sistema filtrante: **la permeabilidad estabilizada** depende de las características propias del filtro.

En cuanto a la *medida de la permeabilidad*, existen métodos que operan sobre muestras de suelo, y otros sobre el suelo «in situ», unos y otros con diferente grado de precisión. Por ser una característica extremadamente variable a nivel espacial, lo que interesa, para planes de riego, es su grado de magnitud.

Suele distinguirse, por un lado la *permeabilidad de riego* (no estabilizada y dependiente de la duración del riego) y la *permeabilidad estabilizada*, útil para la evaluación de un terreno, en cuanto a sus características de avenamiento. Para la planificación de riegos de superficie interesa conocer la *permeabilidad estabilizada* tanto en su *límite superior* como *inferior*. Ya que si en el riego se sobrepasa el límite superior se originan pérdidas cuantiosas de agua hacia capas profundas. Por otra parte si se riega franqueándose el límite inferior de permeabilidad estacionada puede producirse la asfixia radicular, debido a la falta de oxígeno por la presencia permanente de agua.

Los valores de permeabilidad estacionada y sus límites aconsejables para el riego varía de unos países a otros, y también dentro del mismo país y según el tipo de cultivo. Los valores aceptables, en promedio, se sitúan entre los 30 y los 100 mm/hr.

#### *Conductividad hidráulica en medio insaturado*

Es la velocidad con la que fluye el agua desde un punto a otro del suelo, tanto en sentido vertical como horizontal, cuando la porosidad del suelo no se encuentra saturada de agua. En estas condiciones, la conductivi-

dad está relacionada con las características del sistema de poros (que sean de diámetro grande o pequeño y de cómo estén interconectados entre sí), siendo los motores del movimiento la diferencia de energía de retención del agua entre dos puntos del suelo (el agua se moverá desde donde está menos fuertemente retenida hacia donde lo está más), además de la cantidad de agua presente. En resumen, la conductividad hidráulica varía de unos suelos a otros, y para un mismo suelo con el contenido de humedad.

Para contenidos de humedad elevados, en un suelo ARENOSO, por el predominio de la macroporosidad, el agua se mueve más deprisa (que en un suelo ARCILLOSO), y cuando el suelo se seca la conductividad decrece rápidamente. Por el contrario, en un suelo ARCILLOSO, su escasa macroporosidad, unido al hecho de la hinchazón coloidal, hace que el agua se mueva más lentamente que en el suelo ARENOSO, pero la conductividad decrece más lentamente al irse desecando el suelo.

Esta idea comparativa puede verse en el cuadro siguiente, donde representamos algunos valores de conductividad hidráulica para las dos clases de suelos.

Situación de humedad del suelo	Energía de retención del agua	Conductividad Hidráulica (mm/hr)	
		Suelo arenoso	Suelo arcilloso
Saturado	pequeña	200	1,0
Medianamente saturado	mediana	0,001	0,08
Poca agua (en el punto de marchitamiento)	elevada	0,0004	0,04

Lógicamente, la conductividad hidráulica se ve afectada en uno u otro sentido por la presencia de discontinuidades en el interior del suelo, tales como encostramientos, piedras, zonas compactadas, fisuras y grietas.

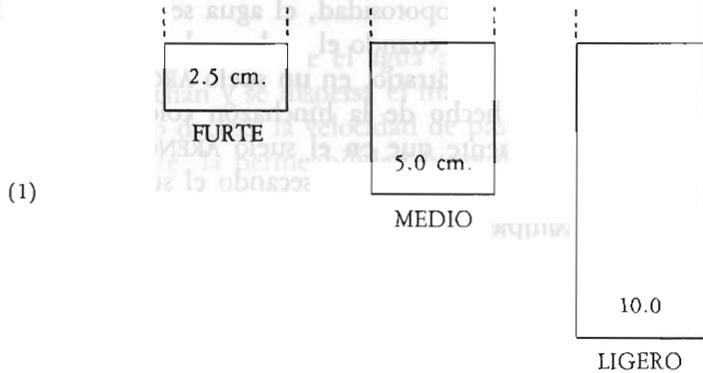
Finalmente, la conductividad hidráulica tiene una gran importancia, toda vez que es una situación más bien normal, *la de suelo no saturado*, y en tal situación, esta velocidad del agua gobierna el suministro de agua hacia los dos sistemas que la reclaman: de un lado la zona radicular, y de otro la superficie de evaporación del suelo.

### *Capacidad de retención de agua*

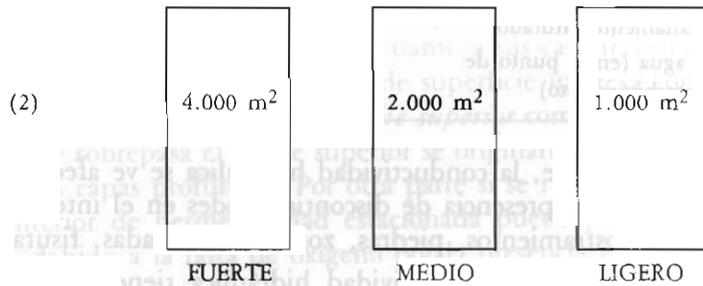
Con esta expresión se quiere indicar la cantidad de agua que es capaz de almacenar un suelo en su sistema de poros. Esta cantidad está en relación estrecha con el tamaño de los agregados del suelo, o más bien con su

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (1); VOLUMEN NECESARIO PARA REGAR HASTA LA CAPACIDAD DE RETENCION (2); Y TIEMPO NECESARIO PARA LA INFILTRACION (3), SEGUN LA NATURALEZA DE LOS SUELOS: FUERTE (arcilloso), MEDIO (equilibrado) y LIGERO (arenoso)

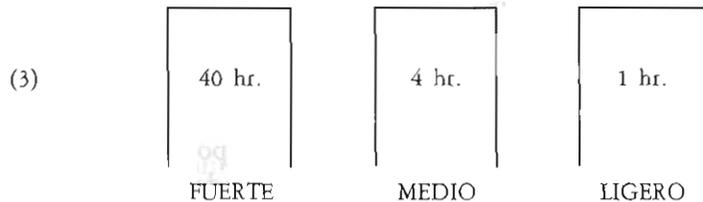
*Capacidad de retención:* Arcilloso (40 % en volumen); Equilibrado (20 % en volumen) y Arenoso (10 % en volumen). Esto significa que un riego o lluvia de 10 mm. da agua ( $10 \text{ l/m}^2$  o  $100 \text{ m}^2(\text{Ha.})$ ) llevan hasta la capacidad de campo, las siguientes profundidades:



Lo que quiere decir que para regar hasta la capacidad de retención 1 Ha. de terreno, hasta 100 cm. de profundidad, se necesita añadir los siguientes volúmenes:



Teniendo en cuenta que la velocidad de infiltración es: Arcilloso (10 mm(hr.)); Equilibrado (50 mm(hr.)) y Arenoso (100 mm(hr.)), el tiempo necesario para la infiltración de esos volúmenes de agua es:



*superficie específica* (superficie por unidad de peso o de volumen de suelo). Cuanto más pequeño es el tamaño de los agregados, mayor es la superficie específica y más **intensas las llamadas FUERZAS DE ABSORCIÓN** del agua por el suelo. Por otra parte, las FUERZAS CAPILARES que actúan también reteniendo agua, dependen de cómo sea la porosidad del suelo: a poros de menor diámetro corresponden fuerzas de retención de agua mayores. Por tanto según sea la magnitud de las fuerzas de absorción y de las fuerzas capilares serán la capacidad de retención de agua en el suelo.

En general, suelos de textura gruesa (arenosos) por tener pequeña superficie específica (fuerzas de absorción pequeñas) y predominio de poros de diámetro grande (fuerzas capilares pequeñas) tienen valores de retención de agua pequeños.

Por el contrario, suelos de textura fina (arcillosos o limosos) o bien orgánicos, por tener superficie específica elevada (fuerzas de absorción grandes) y predominio de microporos (fuerzas capilares elevadas) tienen valores de retención grandes.

También es interesante conocer la dinámica de la infiltración de agua en el suelo, *desde el punto de vista energético*. El agua que recibe el suelo está dotada de una energía gravitatoria, además de una energía cinética en el riego por aspersión. La energía cinética se absorbe sobre la superficie y la estructura del suelo resulta afectada por el impacto. La energía gravitatoria se absorbe en el interior del suelo como consecuencia de las fuerzas que se le oponen (energía de retención: fuerzas de absorción y fuerzas capilares). Se pueden distinguir dos casos: cuando la energía gravitatoria es superior a la de retención, el agua penetra (cae) por el interior del suelo (agua gravitacional). Cuando la energía de retención es igual o superior a la gravitacional se va llenando de agua la porosidad del suelo.

Lo que pretende el regadío es suministrar agua al suelo para que éste se humecte sin llegar a saturación total, y volver a suministrar de nuevo agua antes de que el suelo se deseque tanto que las plantas puedan llegar a marchitarse.

Se entiende que las dosis y frecuencias de riego deben ser bien diferentes para mantener la humedad del suelo entre estos dos límites (suelo a capacidad de campo y suelo **con una humedad** que no descienda peligrosamente hasta el punto de marchitamiento) según sea la naturaleza textural del suelo. Es claro que suelos ARENOSOS deben recibir dosis pequeñas y frecuentes, mientras que suelos de textura fina admiten dosis mayores, y más distanciadas.

Deben ser tenidas en cuenta no sólo las características físicas de suelo (permeabilidad y capacidad de retención) sino además, lógicamente, la

naturaleza de la planta (sus necesidades consuntivas de agua) y el volumen del suelo explorado por el sistema radicular, que depende no sólo del estado físico del suelo (compactación) sino también de la edad de la planta, o del estadio en que se encuentre dentro de su ciclo vegetativo.

### *Estabilidad estructural*

Es la resistencia de la estructura del suelo y de sus agregados a la acción destructora del agua, que la ejerce mediante una acción doble. Por una parte el agua comprime el aire del interior de los poros, con lo que el agregado estalla o se deshace. También la dispersión del material coloidal del suelo contribuye al desmoronamiento de las unidades estructurales, al mismo tiempo que el material dispersado va ocluyendo la porosidad del suelo.

La estabilidad estructural depende de dos características intrínsecas del suelo: la COHESIÓN y la MOJABILIDAD. COHESIÓN es la fuerza que mantiene unidas a las partículas del suelo entre sí formando los agregados, se debe a la acción cementante de los coloides del suelo: arcilla, carbonato cálcico y materia orgánica, y disminuye por la salinidad y alcalinidad debido a la acción dispersante de los cationes alcalinos (fundamentalmente del sodio).

MOJABILIDAD es la facilidad con que el sistema de poros deja de introducirse el agua de forma suave o lenta, de manera que el aire sea expulsado también con suavidad.

Por tanto suelos de buena estabilidad estructural son, en general, los arcillosos dotados de poros pequeños, en los que la mojabilidad es menor, y la expulsión del aire más lenta. También son estables los suelos con materia orgánica, que es fundamentalmente hidrófoba, con lo que el aire del interior de los poros es expulsado de forma lenta.

Cuando la estabilidad estructural del suelo es inferior a la fuerza destructora de agua, la estructura se desmorona, el material agregado se dispersa y es atrastrado como sedimento, con mayor o menor velocidad (dependiendo de la pendiente y de la velocidad de circulación del agua) depositándose en concavidades. Esta erosión hídrica ocasiona cuantiosas pérdidas de suelo, por una parte, además de la pérdida de agua por escorrentía, ya que el depósito de los sedimentos produce encostramientos en la superficie del suelo, por lo que la permeabilidad hidráulica disminuye.

La estabilidad estructural del suelo sometido a regadío es un factor que generalmente no se tiene en cuenta en la elaboración del plan. Sin embargo debe ocupar un lugar de primer orden en la toma previa de decisiones,

ya que su conocimiento permite (en mayor medida en los riegos de superficie que en los de aspersión) trabajar con los adecuados caudales y presiones de llegada del agua al suelo, para que al menos a medio plazo el plan inicial siga teniendo validez, evitándose pérdidas económicas al agricultor y pérdidas de suelo y de agua.

En resumen, debe tenerse en cuenta todo el conjunto de propiedades del suelo (especialmente en órdenes de magnitud), ya que todas ellas están relacionadas entre sí, y el no considerar alguna afecta negativamente al resto, y puede hacer que el plan de riego fracase. En Laboratorios de Física del Suelo existe personal especializado para determinaciones de campo y de laboratorio acerca de las características del suelo que hemos venido considerando. Para un mejor conocimiento de las mismas puede consultarse el trabajo «El Agua y el Medio Físico del Suelo», n.º 18 de la Serie TEMAS MONOGRÁFICOS.

## CARACTERISTICAS DEL AGUA DE RIEGO

En cuanto al agua, el plan de riego debe considerar los siguientes puntos:

- Origen (captabilidad, reservas actuales, transporte...).
- Calidad.
- Caudal necesario.
- Labores posibles para la eliminación de los excedentes, por avenamiento.

## ORIGEN DEL AGUA DE RIEGO

Las aguas de riego pueden ser *superficiales* (es decir, de escorrentía, residuales de otros usos, de cursos de agua no regulados o regulados en embalses) o *subterráneas* (fuentes naturales, pozos ordinarios o artesianos, aguas de capas profundas...).

En ambos casos un plan de regadío debe contemplar las condiciones económicas de su captabilidad (necesidades de filtración, o de depuración, canales, bombeo), así como las pérdidas en el transporte por fugas y por evaporación, y también estimar las reservas de agua actuales y las previstas a largo plazo, y las inversiones necesarias para su control.

En cuanto al empleo del agua, sabido es que puede ser individual o colectivo (agrupaciones de regantes). En los dos casos existen servidumbres: no se puede disponer del agua cuando se quiere, sino que hay que respetar los turnos de riego, según los módulos o volúmenes contratados.

Las formas de explotación del agua son:

*Distribución continua*, cada usuario recibe de forma constante, durante todo el período de riegos, el caudal contratado.

*Distribución por rotación*, se distribuye el agua en cada propiedad durante determinados intervalos de tiempo.

*Distribución a la demanda*, la red de riego establecida suministra en cada momento el caudal requerido por los regantes.

Este último modo de explotación es el que más se utiliza en las redes importantes de riego por aspersión.

Por lo que respecta a la Cuenca del Duero, la previsión futura es:

Origen del agua	Regadíos estatales (Has.)	Regadíos particulares (Has.)	Totales (Has.)
Aguas superficiales	710.410	97.660	808.070
Aguas subterráneas	—	79.150	79.150

En la actualidad, se riegan en la Cuenca, con recursos de superficie, 338.598 Has., de las cuales 256.129 son regadas por 1.253 comunidades de regantes.

Los recursos superficiales regulados ascienden a . . . . .	7.908 Hm <sup>3</sup>
Los subterráneos . . . . .	446 »
Los de escorrentía . . . . .	756 »

## CALIDAD DEL AGUA

La calidad el agua está en función de dos condiciones fundamentalmente: la temperatura (condicionante físico), y la salinidad (condicionante químico).

En cuanto a la temperatura, para la mayoría de las plantas en vegetación activa el valor óptimo es de 25 °C. Por otra parte sabido es que no se debe regar «a pleno calor», ya que por una parte se pierde agua innecesariamente por evaporación directa, y por otra pueden darse en el suelo fenómenos de hidratación de arcillas y coloides que elevan peligrosamente la temperatura. Además, si el agua está fría (aguas subterráneas profundas) su contacto con las hojas recalentadas puede dañar a las plantas (por ejemplo, las cucurbitáceas [tipo pepinillo, calabacín, melón...] muy sensibles a los cambios términos bruscos).

Respecto a la salinidad, algunas sales disueltas en el agua pueden ser útiles para las plantas, dependiendo de la concentración. El cloruro sódico

es nocivo a diferentes concentraciones, según el tipo de planta. Veamos algunos ejemplos.

*Tolerancia a la salinidad (cloruro sódico), en gramos/litro*

- Hasta 5: espárrago, remolacha, algodón, palmera datilera, alfalfa, arroz y sorgo.
- Hasta 4: Albaricoquero, almendro, alcachofa, zanahoria, col, maíz, cebolla, cebada, pimienta, patata, tomate y olivo.
- Hasta 2: Limonero, mandarino, naranjo, ciruelo y manzano.
- Menos de 1: Níspero del Japón, fresa, judía y nogal.

Además, otras sustancias que lleve sueltas el agua pueden ser nocivas para las plantas, incluso a concentraciones muy bajas. Por ello una forma de evaluar la calidad química del agua es medir su conductividad eléctrica, como reflejo de la concentración total de sales. A mayor conductividad eléctrica la calidad del agua es menor. A continuación damos una tabla de valores orientativa.

*Conductividad eléctrica (en micromhos/cm.) y calidad del agua*

Menor que 250 . . . . .	excelente.
250-750 . . . . .	para plantas medianamente tolerantes (conviene realizar algún lavado del suelo).
750-2.250 . . . . .	sólo en suelos bien avenados y con cultivos tolerantes (se debe realizar lavado del perfil del suelo y aumentar la frecuencia de riegos).
Superior a 2.250 . . . . .	difícilmente utilizable.

Si el riego se va a realizar por aspersión, hay que ser aún más riguroso, ya que las hojas de algunas plantas son muy sensibles a la salinidad localizada.

## CAUDAL

Se denomina también *dotación*, y es la cantidad de agua de que se dispone en un tiempo dado para el riego de una propiedad (caudal general), o para un grupo de elementos (caudal divisionario), o de un solo elemento (caudal de cabecera).

Se denomina *módulo* al caudal que un hombre puede manejar.

La dotación total para la explotación se calcula en función de las necesidades punta de los cultivos durante el curso del año. En la tabla se indican algunos ejemplos de *necesidades consuntivas máximas* para diferentes cultivos, en clima mediterráneo seco (precipitación anual entre 400 y 500 mm.), expresadas en m<sup>3</sup>/Ha., y por cada día de riego; el total tiene en cuenta el número de riegos.

*Necesidades consuntivas por días de riego y totales (m<sup>3</sup>/Ha.)*

Especies	E	F	M	A	My	J	Jl	A	S	O	N	D	TOTAL
Agríos		10	10	10	20	35	40	40	35	20	10	10	6.000
Alivo						10	15	15	15	10			2.000
Peral						15	25	25	20	15			3.000
Coliflor							100	100	80	60			8.000
Melón				40	50	60	60						6.300
Patata tempr.			15	40	40	40							3.700
Tomate Primav.		20	30	35	50	60							6.000
Tomate Verano				30	40	60	60	60					7.500
Remolacha			50	50	60	60	60						7.500
Cereales	20		20	20									2.000
Alfalfa			40	40	50	50	60	60	40	40			11.000
Maíz (grano)				40	50	80	80						7.000

Conviene calcular el caudal general necesario con cierto rigor, para así proyectar la instalación elevadora y determinar las cuotas a pagar por los regantes. El volumen total a suministrar se calcula teniendo en cuenta los módulos o dotaciones contratadas y la duración de los riegos; Volumen = Dotación × Duración.

#### ELIMINACIÓN DE EXCEDENTES

A medida que el suelo saturado va vaciando de agua sus poros (comenzando por los de mayor diámetro) va entrando en ellos el aire. De manera que en un suelo en buenas condiciones el agua y el aire están en cantidades complementarias. *Se pueden tener cultivos sin suelo, pero no sin agua o sin aire.* Es necesario, por tanto, conocer las características de porosidad del suelo, y las condiciones de avenamiento natural. En caso de deficiencia (presencia de capa impermeable, por ejemplo) se deben hacer labores de modificación, tales como desviación de los excedentes superficiales, o de avenamiento interno (zanjas o tuberías).

## CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS

De las plantas conviene conocer sus necesidades consuntivas y «ritmos» durante su ciclo vegetativo, que son lógicamente características específicas de cada planta, dependientes de las peculiaridades del *sistema foliar* y del *sistema de raíces*. Así, las necesidades consuntivas del trigo serán diferentes a las de la alfalfa o la remolacha, por poner algunos ejemplos, en las mismas condiciones de suelo y clima. Además, estas necesidades varían durante el ciclo vegetativo, según el estadio de desarrollo y los procesos fisiológicos que tienen lugar en la planta. De ahí que a su conocimiento sólo pueda llegarse de forma experimental. Además debe tenerse información de la capacidad natural de cada planta de explorar el suelo con sus raíces, y de si existen variedades genéticas mejor adaptadas a determinadas condiciones el suelo y del clima, y siempre debe considerarse que las plantas, por el mero hecho de crecer en el suelo, modifican su estado físico, a veces mejorándolo (aumentando su permeabilidad y su estabilidad estructural) y otras no.

En relación con el aporte hídrico climático a las plantas, hay un aspecto de gran interés actual, dada la necesidad de economizar agua sin mermar la producción. Se trata de la *adaptación natural o artificial de las plantas para desarrollar su ciclo vital en condiciones de déficit hídrico*.

Se conocen dos mecanismos de adaptación: 1) *Escape de la sequía* y 2) *Tolerancia de la sequía* o retraso de la deshidratación. Ambos son facultativos de algunas plantas, pero pueden ser también adquiridos o inducidos mediante tecnología genética.

El *escape de la sequía* consiste en la habilidad mostrada por algunas plantas para desarrollarse y completar **su ciclo** vital con anterioridad a la ocurrencia de la sequía. Este mecanismo puede ser aplicado, mediante manipulación genética, a plantas que no lo poseen de manera natural. Se conocen dos formas: a) obteniendo cultivares precoces, capaces de desarro-

llarse durante el período lluvioso y completar su ciclo vital antes de que la humedad del suelo sea limitante. b) Induciendo, también mediante tecnología genética, el desarrollo de plasticidad durante la ocurrencia imprevista del período de sequía climática o de humedad limitante del suelo. La primera manera ha dado resultados positivos en gran variedad de cultivos (trigo, cebada, girasol...) pero sólo en aquellos casos en que la ocurrencia de la sequía o el período lluvioso podía predecirse. En el resto, los mejores resultados se han alcanzado por la segunda vía, que no es esclava de la predicción meteorológica ni de la del estado de humedad del suelo.

*La tolerancia a la sequía* se da de manera natural en algunas plantas, que de esta forma son capaces de tolerar el período seco, bien a base de mantener una *baja velocidad de transpiración* (con muy pequeña cantidad de agua en los tallos) o, al contrario, *acumulándola en los tallos*, como reserva utilizable durante el período de sequía (caso conocido de los cactus).

Este mecanismo puede adaptarse a otras muchas especies de plantas mediante mejora genética, consistente fundamentalmente en: a) *incrementar la capacidad de la planta para captar agua* del suelo (aumentando su poder de exploración del suelo con las raíces); b) *reducir la pérdida de agua por transpiración* a base de:

- reducir el área de las hojas,
- reducir la radiación absorbida o,
- aumentar la resistencia de los estomas y cutículas (lugares por los que se produce la transpiración en hojas y tallos).

y c) mediante el *ajuste osmótico*, que consiste en la acumulación de sales disueltas en las células vegetales, lo que incrementa considerablemente el poder de captación de agua del suelo, aun en condiciones en que, por su escasez está fuertemente retenida.

De estas tres posibilidades del segundo mecanismo, sólo la primera y la tercera no ocasionan merma en la productividad del cultivo y, fundamentalmente la tercera está dando muy buenos resultados en un amplio rango de cultivos (trigo, algodón, mijo, sorgo...) ya que tiene influencia directa sobre un gran número de procesos fisiológicos de las plantas: mantenimiento de la apertura de los estomas y de la tasa de fotosíntesis; retraso del proceso de arrollamiento de las hojas y de su muerte; y mantenimiento de la velocidad de crecimiento normal de las raíces, aun en suelos muy secos y por tanto difíciles para ser penetrados por aquéllas. Además, ejerce una influencia indirecta sobre la germinación de las semillas en condiciones limitantes del agua del suelo.

Por último, un aspecto a tener en cuenta, en relación con las plantas y el regadío, es el de la *rotación de cultivos*, puesto que cada cultivo necesita

un sistema de riego, dependiendo de sus propias características, de las del suelo, de las del agua y de las del clima, debe preverse en la planificación del regadío pues la rotación puede comportar modificaciones en el método de riego, en la dotación necesaria de agua o en la duración de la aplicación.

El mejor sistema de riego será el que con la menor inversión económica satisfaga con eficiencia las necesidades hídricas de una amplia gama de cultivos, en diferentes condiciones del terreno y del clima.

## CARACTERISTICAS DEL CLIMA

Por lo que respecta al clima de la zona de regadío, es preciso conocer el valor de la *demanda climática de transpiración*, es decir, la cantidad de agua que, en un período de tiempo determinado, podría ser evapotranspirada, por efecto de tal clima, de no existir limitaciones ni por parte del suelo, ni por parte de la planta. Por parte del suelo, que no haya limitación de humedad, es decir, que está cercano al valor de capacidad de campo. Por parte de la planta, que esté sana, en crecimiento activo y bien desarrollada.

Además, hay que conocer la cantidad de lluvia prevista para el período de que se trata. De esta forma la diferencia entre la demanda climática (también llamada *evapotranspiración potencial*, ETP) y la precipitación (P) indica el déficit hídrico climático en la zona:  $ETP - P$ . Esta cantidad es orientadora de la que el riego debe aportar durante el período de tiempo considerado.

Se puede llegar al conocimiento del valor de ETP fundamentalmente por dos caminos: o bien determinándola con auxilio de evapotranspirómetros, o **lisímetros**, o bien calculándola por medio de **fórmulas**.

Los evapotranspirómetros son **volúmenes de suelo** acotados, salvo en superficie (por ejemplo, un cilindro con suelo sembrado y a ras del terreno sembrado), en el que pueden determinarse **entre dos** fechas (por ejemplo durante una semana) lo siguiente: lo que varía la humedad del suelo, la cantidad de agua que recibe el suelo, por lluvia y por riego, y la cantidad de agua que percola o drena a través del suelo. Si el suelo, en cuanto a humedad, y la planta, en cuanto a su estado, cumplen las condiciones requeridas, el valor de la evapotranspiración potencial es igual al agua recibida menos las pérdidas.

Las fórmulas empíricas para el cálculo del agua evapotranspirada tienen en cuenta distintos valores de los parámetros climáticos, tales como tempe-

ratura, humedad relativa del aire, velocidad del viento, índice de iluminación y horas de sol diarias.

También se puede determinar, como poder evaporante del clima, la cantidad de agua evaporada (por día) desde un tanque normalizado con agua o desde otro tipo de evaporímetro. Este valor de *Evaporación Potencial* puede servir como punto de referencia, cara a las necesidades de agua en la zona donde ha sido determinada.

Lo importante es conocer las relaciones que existen entre la ETP (condiciones óptimas de humedad del suelo y de estado y desarrollo de las plantas) y la evapotranspiración real (ETR), es decir, en las condiciones reales (aquí y ahora) del cultivo y de la humedad del suelo.

Ciertamente, cuanto más seca es la zona en la que se va a implantar el regadío más altos son los valores de ETP y más bajos los de ETR. La mayor producción vegetal, con intervención de riego, se logra haciendo disminuir la ETP y aumentando la ETR.

La disminución de la ETP se logra:

- mediante cortavientos naturales o artificiales, con lo que se «frena» el poder evaporante del aire,
- aumentando la humedad relativa del aire de las capas inferiores de la atmósfera, mediante la puesta en regadío de extensas zonas,
- mediante la creación de microclimas en condiciones controladas (invernaderos).

Para aumentar la ETR es necesario que el suelo disponga de agua (que se aplica con riego), y que la retenga y ceda bien a las plantas. Por tanto, para la corrección de este parámetro debe entrar en juego el suelo, de forma que aumente su capacidad de reserva de agua, disminuyan las pérdidas por escorrentía y avenamiento, y aumente también la exploración del suelo por las raíces de las plantas. Estas a su vez deben estar seleccionadas genéticamente, en orden a una mayor eficacia en el uso del agua.

Volviendo a la precipitación, es preciso conocer además de su distribución espacial y temporal y su cuantía, su intensidad (mm/h), y la cantidad que se infiltra a través del suelo (Infiltración = precipitación — escorrentía) y queda en el suelo como lo que podemos llamar «lluvia efectiva» o reserva (reserva = infiltración — avenamiento).

Por último, la previsión del clima de la zona de riego (valores de lluvia, temperatura y ETP o E) se obtienen de los valores medios correspondientes a años precedentes.

Para tener una idea de nuestro *clima provincial* hemos elaborado la tabla siguiente. En ella figuran datos de lluvia mensual total, temperatura

media mensual, así como los correspondientes valores trimestrales y anuales. La idea del *déficit hídrico* queda reflejada por cuanto el trimestre julio, agosto y septiembre con temperatura media más elevada, es el de menor cantidad de lluvia.

*Datos climáticos (zona Central)*

	Lluvia (mm.)	Temperatura (°C)
Enero	71,5	4,5
Febrero	73,5	6,0
Marzo	54,3	8,7
Total trimestre	199,3	media trimestral 6,4
Abril	42,2	11,4
Mayo	53,3	14,4
Junio	34,1	18,8
Total trimestre	129,6	media trimestral 14,9
Julio	16,5	22,1
Agosto	10,3	21,3
Septiembre	36,0	18,3
Total trimestre	62,8	media trimestral 20,6
Octubre	53,2	13,6
Noviembre	68,1	8,6
Diciembre	46,4	5,1
Total trimestre	167,7	media trimestral 9,1
Total anual	559,4	Media anual 12,8

Por otra parte, en la tabla siguiente se exponen los datos de lluvia total anual y temperatura media anual de otras zonas provinciales, junto con los correspondientes a la zona Central que pueden considerarse medios (como se ve) entre los extremos.

	Lluvia total	Temperatura media (°C)
Sureste	608,0	10,7
Noroeste	417,2	11,9
Centro	559,4	12,8
Suroeste	692,9	13,1
Noroeste	747,6	14,5

Los datos de las tablas corresponden a valores medios de veinte años, de veinticinco observatorios de la red provincial.

## SISTEMAS DE RIEGO

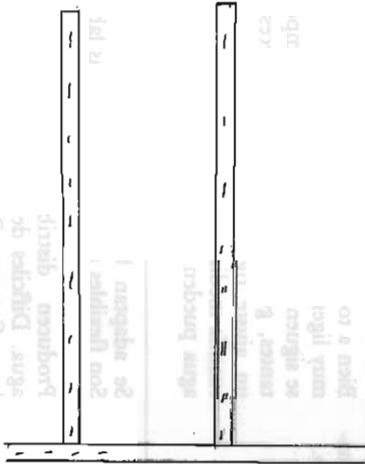
Teniendo siempre en cuenta las consideraciones precedentes acerca del sistema SUELO — AGUA — PLANTA — CLIMA, damos a continuación una breve información sobre los diferentes SISTEMAS DE RIEGO, que, sin reparar en detalles técnicos, pueden agruparse de la siguiente forma:

1. *Riego a pie*, que incluye los  
riegos por escorrentía o *desbordamiento*  
riegos por infiltración del agua desde los *surcos* por los que  
circula y  
riegos por inundación, *en fajas* o *a manta*.
2. *Riegos por aspersión*, en los que el suelo se humecta mediante  
*lluvia simulada*.
3. *Riegos localizados*, que incluye el  
riego *subterráneo*, mediante tubos porosos enterrados,  
riego por *goteo*, mediante la instalación de goteros superficia-  
les, y  
riego por *microaspersores* superficiales.

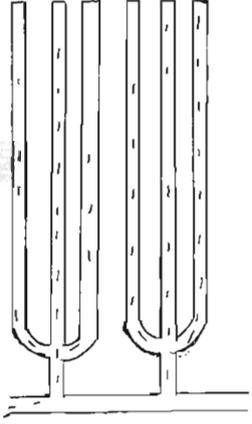
En el cuadro siguiente se exponen las ventajas y desventajas de cada sistema de riego.

MODALIDADES DE LOS RIEGOS A PIE (REBOUR Y DELOYE, 1971)

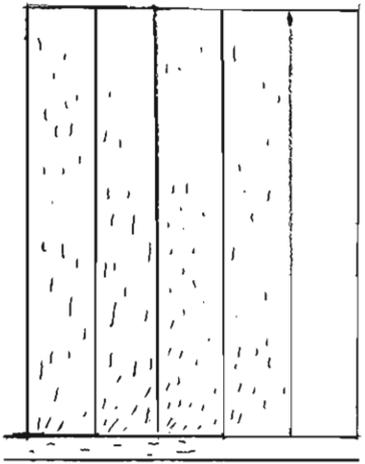
Riego por desbordamiento



Riego por surcos



Riego por inundación



## COMPARACION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE RIEGO (MODIFICADO DEL DE REBOUR Y DELOYE, 1971)

CARACTERES COMPARATIVOS	RIEGOS DE PIE	RIEGO DE ASPERSION	RIEGO LOCALIZADO
Fundamento	El suelo se humedece mediante una capa de agua de diferente grosor, que cubre parcial o completamente la superficie.	Humedecimiento del suelo mediante lluvia simulada.	El suelo se humedece por capilaridad mediante tubos porosos enterrados o goteros superficiales, o con microaspersores.
Adaptación a la topografía del terreno:	Depende del método, pero en general es difícil o muy caro, por la necesidad de mano de obra y movimiento de tierras.	Se adapta bien. No necesita explanaciones.	Se adapta bien a los cambios de relieve y de pendiente.
Pendiente fuerte	Sólo es posible en el método de desbordamiento y en el de surcos.	Muy fácil.	Fácil.
Pendiente ligera	Posible en el riego a manía (con limitaciones). Imposible en el resto.	Muy fácil.	Muy fácil.
Adaptación a la naturaleza del suelo.	Bien a toda clase de suelos, excepto a los muy ligeros. Los riesgos de erosión, si no se siguen los cánones, pueden ser importantes, generales o localizados. Necesita un ajuste riguroso de los caudales, de cuantía media a grande. Las pérdidas de agua pueden ser importantes.	Adaptado a cualquier suelo (pero requiere experiencia en el manejo). Especialmente adaptado a los muy permeables. Los riesgos de erosión son débiles y localizados. Requiere ajuste de caudales, según los suelos. Las pérdidas de agua son reducidas.	En cualquier tipo de suelo requiere experiencia para instalación y elección del método). Los riesgos de erosión son muy débiles o nulos. Requiere ajuste riguroso de caudales. Las pérdidas de agua son muy reducidas.
Ventajas e inconvenientes	Se adaptan bien a diferentes cultivos. Son flexibles a adaptaciones y a las labores mecanizadas. Producen distribución irregular del agua. Difíciles de emplear en las siembras. Costosos. Pueden producir salinización en riego con aguas salobres y, a excepción del método de surcos, apelmazan el suelo. Producen encostramientos localizados.	Se adapta bien a diferentes cultivos y es flexible a modificaciones. No requiere nivelación. Su instalación es costosa. Puede producir degradación por impacto.	Bien adaptado a diferentes cultivos. Flexible a modificaciones y a automatismos. Economía de agua. No requiere nivelaciones. Instalación inicial costosa. No permite la utilización de aguas salobres o con lodos, salvo con sistema de filtración, en el método de microaspersión.