



# El riego de la remolacha azucarera

Rodrigo Morillo-Velarde Pérez-Barquero  
Herminio Velicia Martínez  
Juan Carlos Martínez Díez

INTRODUCCIÓN. ....	97	ET de la remolacha. ....	124
1. INGENIERÍA DEL RIEGO . ....	99	Siembra primaveral. ....	124
1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASPERSORES ESTACIONARIO . ....	99	Siembra otoñal. ....	125
Componentes del riego por aspersión. ....	99	2.2. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO . ....	126
La aplicación del agua. ....	99	La programación del riego. ....	126
Caracterización del funcionamiento. ....	100	El suelo como almacén de agua y sus características. ....	127
Caracterización del reparto de agua. ....	101	Programación de riego por el método de balance hídrico en remolacha. ....	129
Repercusión del volumen de riego y el CU en la producción de los cultivos. ....	102	La programación de riego en el Plan de Asesoramiento de Riego. ....	130
Recomendaciones de diseño y manejo. ....	103	Necesidades de riego de la remolacha. ....	131
1.2. RIEGO CON SISTEMAS AUTOPROPULSADOS POR ASPERSIÓN. ....	105	2.3. RIEGOS DE NASCENCIA. ....	132
El pivot central. ....	105	2.4. MANEJO DEL RIEGO: INICIO Y CORTE DEL RIEGO . ....	132
Pivot multicentro. ....	110	Zona norte. ....	132
El lateral de avance frontal o rampa lateral. ....	110	Inicio del riego. ....	132
Pivot lateral. ....	110	Corte del riego. ....	133
Los cañones de riego. ....	111	Zona sur. ....	134
1.3. RIEGO POR GOTEO. ....	113	Inicio del riego. ....	134
Características del riego por goteo. ....	113	Corte del riego. ....	135
Componentes del riego por goteo. ....	114	2.5. . EVALUACION EN CAMPO DE UN SISTEMA DE RIEGO . ....	136
Ventajas e inconvenientes del sistema. ....	115	2.6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA . ....	146
1.4. COSTES DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO . ....	116	ANEJOS	
1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	116	Propiedades físicas del suelo. ....	148
2. AGRONOMÍA DEL RIEGO. ....	117	Calendarios de riego. ....	149
2.1. NECESIDADES DE AGUA DE LA REMOLACHA . ....	117		
La evapotranspiración. ....	117		
Medidas de la evapotranspiración: lisímetros. ....	118		
Métodos de cálculo y estimación de la evapotranspiración de referencia. ....	119		
a) Evaporímetro de Clase A. ....	119		
b) Método micrometeorológico de Penman- Monteith. ....	121		
c) Método de Hargreaves. ....	122		
d) Método de Blaney-Criddle. ....	123		
e) Método de Radiación. ....	123		
Coefficiente de cultivo, Kc. ....	123		

## Introducción

El cultivo de la remolacha azucarera en nuestro país se distribuye en tres amplias zonas: Norte y Sur. En la zona Norte la siembra del cultivo es en primavera, siendo prácticamente en su totalidad de regadío, mientras que en la zona Sur la siembra del cultivo es en otoño, donde aproximadamente la mitad de la superficie es de secano y la otra mitad de regadío.

Las dos zonas remolacheras se encuentran entre los paralelos 36 y 42 de latitud norte. En esta amplia franja existe un déficit hídrico (diferencia entre consumo de la remolacha y lluvias) que hace necesario el riego para cubrir las necesidades de agua del cultivo. Este déficit oscila en función de la zona de cultivo, y según se trate de años secos o húmedos.

A la hora de aportar mediante riego el agua necesaria que compense el déficit es inevitable que surjan preguntas como:

- ¿Cuándo se debe iniciar el riego?
- ¿Cuánta agua hay que aportar a la remolacha en toda la campaña?
- ¿Cuándo hay que aplicar el riego y qué volumen aplicar?
- ¿Cómo aplicar el agua al suelo?
- ¿Cuándo finalizar la campaña de riego?

A todas estas preguntas se intenta contestar en los distintos apartados de la charla mediante el análisis de los diferentes factores que afectan a cada una de las cuestiones planteadas.

Riego localizado.

Para la aplicación del agua necesaria mediante el riego existen varias posibilidades. Tres son los métodos más utilizados: riego por aspersión, riego por gravedad y riego localizado.

La aplicación del agua mediante **riego por aspersión** es la más utilizada en el cultivo de la remolacha, debido a sus posibilidades en cuanto a manejo del riego, automatización y control del mismo, así como a los buenos resultados obtenidos con este sistema en este cultivo. En gran parte de la publicación se analizarán sus características y las condiciones particulares de manejo.

La aplicación del agua mediante el **riego por gravedad** se realiza principalmente en los regadíos desarrollados por las Administraciones Públicas (nacionales o regionales). En este método se aplica una lámina libre de agua a lo largo de un cauce permeable. Para el riego de la remolacha el más utilizado es el método de riego por surcos. El riego por surcos exige una adecuada explanación para que la pendiente a lo largo del surco sea constante. Por ser un sistema poco eficiente con el agua, difícil de mejorar y aumentar el riesgo



de pudriciones en la raíz consideramos que no es el más adecuado para el riego de la remolacha.

La aplicación del agua mediante **riego localizado** (fundamentalmente goteros y cintas goteadoras), es el de mayor perfección en el sistema de aplicación. Este sistema tiene actualmente un uso muy limitado en el cultivo de la remolacha, teniendo como ventajas el ahorro de agua y la posibilidad de fertirrigación. Existen también dificultades sobre todo en cuanto al manejo, dificultad de tratamientos y al coste de la instalación.

Las necesidades de riego se analizan, en primer lugar de un modo global, mediante datos climatológicos medios de una serie de 30 años, y se describen métodos de programación del riego para aplicar el agua en condiciones particulares y según las necesidades reales de cada parcela.

En el capítulo dedicado a manejo del riego se describe el comportamiento de la remolacha en las diferentes fases del cultivo ante déficit de agua, y la forma más eficiente de ahorrar agua.

En resumen, se analiza el riego de la remolacha en todas sus vertientes con la idea de optimizar el importante factor de producción que es el agua.

Riego por aspersión.

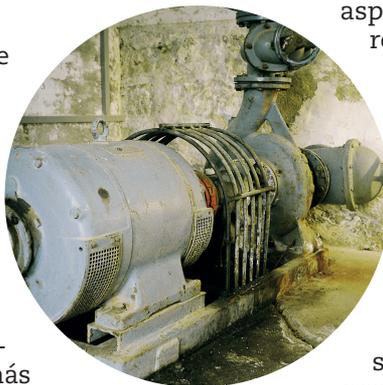


# 1. Ingeniería del riego

## 1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASPERSORES ESTACIONARIO

### Componentes del riego por aspersión

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con los hidrantes, las tuberías portaemisores (ramales o alas de riego) y los propios emisores. Estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores. De todos ellos los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas.



aspersor o bien mediante varios aspersores, de modo que el reparto del agua sea lo más uniforme posible en el área deseada.

En relación con la aplicación del agua al suelo hay que tener en cuenta los siguientes efectos:

- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua aplicada.
- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración del agua en el suelo, produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda.
- El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas, si éstas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, en-

### La aplicación del agua

El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua que sale a gran velocidad por la boquilla del aspersor, debido a la presión, y que se dispersa por efecto del rozamiento del chorro de agua con el aire, generando un conjunto de gotas que se distribuyen sobre la superficie del suelo.

El proceso tiene como finalidad aplicar el agua en el suelo, quedando a disposición del cultivo, bien mediante un único

Arriba: Grupo de bombeo.  
Debajo: Instalación de distribución.



charcamiento, formación de costra, erosión, etc.

La aplicación uniforme del agua depende principalmente del modelo de reparto del aspersor y de la disposición de los aspersores en el campo (marco de riego).

El modelo de reparto de agua del aspersor viene definido por el propio diseño del aspersor, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo. El viento, principal distorsionador de la uniformidad de reparto, juega un papel fundamental en las pérdidas por evaporación y arrastre producidas durante el proceso de aplicación, donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales.

A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la introducción de vaina prolongadora de chorro (VP) en la boquilla, originando un chorro más compacto, o la duración del riego, cuyo incremento favorece la uniformidad de distribución por compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento al variar éste con el tiempo.



### Caracterización del funcionamiento

Los factores prácticos a tener en cuenta en el funcionamiento de los aspersores son:

#### a) Caudal emitido.

Es función del tamaño de sus boquillas y de la presión existente en las mismas. También depende, en menor medida, de la forma del orificio de salida del chorro y de si lleva vaina prolongadora de chorro (VP) o no. Normalmente se expresa en litros por hora (l/h), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h).

#### b) Marco.

El marco determina la interacción o solape entre los círculos mojados por los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua. En general son múltiplos de 3 m para sistemas con tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas. La superficie (S) regada por cada aspersor se calcula multiplicando la distancia entre aspersores por la distancia entre líneas. Según la disposición de los aspersores, los marcos pueden estar en cuadrado/rectángulo o romboidal (tresbolillo).

Arriba: Emisor tipo aspersor.  
Debajo: Aspersores regando.



**c) Pluviometría media del sistema.**

Es la relación que existe entre el caudal descargado por el aspersor (q) y la superficie correspondiente al marco de riego (S):

$$P \text{ (mm/h ó l/m}^2\text{-h)} = q \text{ (l/h)} / S \text{ (m}^2\text{)}$$

Esta pluviometría debe ser siempre inferior a la capacidad de infiltración del suelo mas el almacenaje superficial, ya que en caso contrario se podría producir erosión o encharcamiento; esto último conduciría a su vez a problemas de asfíxia radicular y al desarrollo de enfermedades bacterianas y criptogámicas.

**d) Tamaño de gota**

La distribución de los distintos tamaños de gota producidos por el aspersor afecta directamente al modelo de reparto de agua de los aspersores. Si se producen gotas demasiado pequeñas, la evaporación aumenta y el modelo de reparto de agua resulta más sensible a la distorsión por el viento. Por el contrario, si las gotas son demasiado grandes podrían impactar en el suelo destruyendo la estructura con la consiguiente reducción de la capacidad de infiltración y la formación de costra. En función de la distancia al aspersor, el tamaño medio de las gotas en las proximidades es mucho menor que el producido lejos de él. Los principales factores que afectan a la distribución de los tamaños de gotas son la presión de funcionamiento y el diámetro de la boquilla. Al aumentar la presión, sin variar el tamaño de la boquilla, se incrementa el número de gotas de menor tamaño, mientras que al aumentar el diámetro de la boquilla, a una misma presión, crece la proporción de gotas de tamaño mayor, si bien el efecto del tamaño de la boquilla es mucho menor que el de la presión. Por ello, en los riegos de nascencia, es una buena práctica aumentar la presión para que el impacto de las gotas no destruya la estructura superficial del suelo, evitando así la formación de costra que impida la nascencia de la remolacha.

**e) Uniformidad de riego.**

El diseño del aspersor, la presión, el viento, el marco de riego, etc., condicionan la distribución del agua. Así, si cada punto de la parcela recibe la misma cantidad de agua, diremos que tenemos una uniformidad de aplicación perfecta ( Coeficiente de Uniformidad, CU = 100% ), lo cual no se da en la práctica. Lo normal



Medida de la presión de salida en boquilla.

es que haya puntos que reciban más agua del deseado y otros que reciban menos. Todo esto tiene una repercusión en la producción y en el consumo de agua. Así, cuanto peor sea la uniformidad, necesitaremos más agua para conseguir la producción óptima, y para una misma cantidad de agua, cuanto mejor sea la uniformidad, más producción obtendremos.

**Caracterización del reparto de agua**

Los procedimientos para determinar el reparto de agua de los aspersores pueden agruparse en tres tipos:

- a. Colocar la red de pluviómetros en el campo a una instalación existente ( ver evaluación del sistema).
- b. Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo asper-

Instalación para la evaluación de emisores.





Evaluación de uniformidad en el campo mediante una red de pluviómetros.

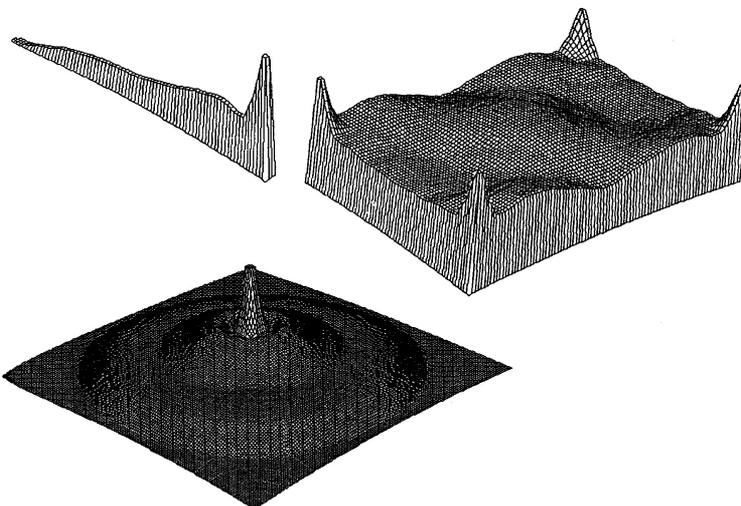
sor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego.

- c. Reducir la red de pluviómetros a una fila según un radio de círculo mojado y determinar un “modelo radial”, en ausencia de viento y con alta humedad relativa. Girando el modelo radial alrededor del aspersor puede deducirse la pluviometría recogida en la red de pluviómetros del caso anterior.

Este último procedimiento tiene la ventaja de poder controlar todos los factores que intervienen en el proceso, siendo muy adecuado para caracterizar el reparto de agua del aspersor y poder establecer comparaciones entre aspersores; es el más utilizado en centros tecnológicos y de investigación.

Modelización del reparto de agua de un aspersor.

Los aspersores existentes en el mercado



se pueden agrupar en tres modelos básicos de reparto:

- **Modelo elíptico o rectangular:** se obtiene normalmente trabajando con una sola boquilla en el aspersor.
- **Modelo tipo “rosquilla”:** deriva generalmente del anterior, al disminuir la presión de trabajo.
- **Modelo triangular:** se obtiene principalmente cuando el aspersor trabaja con dos boquillas.

El mejor modelo es el triangular, ya que consigue mayores CUC para todos los marcos y presiones, y el peor es el tipo “rosquilla”.

### Repercusión del volumen de riego y el CUC en la producción de los cultivos

El conocimiento de la respuesta de los cultivos al régimen de riego es fundamental para la óptima utilización del agua según sus disponibilidades. La función de producción de la remolacha en relación al volumen de agua aplicada mediante riego es distinta según el coeficiente de uniformidad del sistema de riego utilizado.

De los estudios realizados sobre ciertos cultivos se extraen las siguientes conclusiones generales:

- a. Cuanto mayor es el valor del coeficiente de uniformidad, menor es la aportación de agua de riego necesaria para alcanzar una determinada producción. Esto pone claramente de manifiesto que un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.

- b. Cuanto más barata sea el agua el óptimo económico para el agricultor parece obtenerse aumentando la aplicación del agua con el riego para hacer frente a la falta de uniformidad. Esto implica una mayor percolación y lavado de fertilizantes y otros productos, lo que producirá una disminución de la producción del cultivo, además de una contaminación de los acuíferos receptores de esas aguas.

### Recomendaciones de diseño y manejo

Como recomendaciones generales para el diseño y manejo de una instalación de riego con cobertura total de aspersores se pueden dar las siguientes:

1. Como norma general, cuanto menor es el marco de riego mayor es la uniformidad que suele conseguirse, pero esto tiene excepciones porque la forma del marco y el modelo de reparto también influyen. El marco más pequeño que se suele recomendar es el 12x12 y el más grande el 18x18. Para estos marcos la presión media en el ramal portaspersores debe estar entre 3 y 4 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Se consiguen mayores uniformidades con marcos cuadrados (15x15 y 18x18) que con los rectangulares equivalentes (12x18 y 15x21) cuando el aspersor lleva 2 boquillas, cualquiera que sea la velocidad del viento. En aspersores con 1 boquilla sucede prácticamente lo mismo si la boquilla no lleva VP, pero ocurre justo lo contrario cuando a la boquilla se le incorpora la VP (Vaina Prolongadora).
3. Para sistemas de ramales móviles de aluminio se recomienda utilizar marcos de 12x15 ó 12x18 para no tener que mover demasiadas veces los tubos, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, en el marco 12x18 pueden obtenerse también valores altos de uniformidad con una sola boquilla (4,4 mm).
4. Para sistemas fijos en superficie (cobertura aérea) se recomienda utilizar marcos de 12x15 en rectángulo o triángulo y 18x15 en triángulo, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 y 3,5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
5. Utilizar dos boquillas en el aspersor mejor que una, con vaina prolongadora (VP) en la boquilla grande para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s.
6. En marcos rectangulares como el 12x18, si se utilizan aspersores de 1 boquilla, parece más recomendable que el menor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, sin embargo, con aspersores de 2 boquillas, parece mejor que el mayor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, aunque ésta suele tener poca influencia si la boquilla grande lleva VP.
7. La diferencia de presiones entre el primer y último aspersor de un mismo ramal no debe ser mayor que el 20% de la presión nominal (a 1/3 del ramal).
8. Diseñar los sistemas con pluviometrías bajas (5-7 mm/h) para que, además de evitar problemas de encharcamiento y escorrentía, duren más las posturas de riego y se obtenga mejor uniformidad al compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento.
9. Los aspersores sectoriales deben trabajar con una sola boquilla ya que así consiguen un modelo de reparto más triangular, sin excesiva acumulación de agua en las proximidades del aspersor. La distribución de agua que produce el aspersor cuando regresa de forma rápida a su posición inicial, sustituye a la distribución producida por la boquilla pequeña. Colocar dos boquillas en aspersores sectoriales deteriora considerablemente la uniformidad de reparto porque la pluviometría en las proximidades del aspersor es excesiva.
10. Tratar de evitar las presiones superiores a 4 kg./cm<sup>2</sup> ya que, aparte del mayor coste económico, produce mayor proporción de gota pequeña, que es más fácilmente arrastrada por el viento, lo que hace disminuir la uniformidad al aumentar la velocidad del viento.
11. Cuando se cambie algún aspersor hay que poner otro del mismo modelo.
12. Aprovechar al máximo el riego nocturno por los siguientes motivos: tener menores pérdidas por evaporación, coincidir normalmente con menores velocidades de viento y ser más barata la energía eléctrica. Este riego requiere, no obstante, un mínimo de automatización.
13. Por último, habría que destacar



el hecho de que tanto la Administración Pública como los usuarios particulares deberían exigir, antes de la compra del material de riego, la información técnica adecuada así como la correspondiente homologación o certificación del material. De la misma forma debería exigirse una prueba de evaluación a la instalación para tener una idea de la uniformidad de reparto de agua que se consigue. No hay que olvidar que no siempre las instalaciones más baratas ni las más caras son las más convenientes.

---

**Utilizar siempre el mismo número y tamaño de boquillas en toda la instalación**

## 1.2. RIEGO CON SISTEMAS AUTOPROPUSADOS POR ASPERSIÓN

Existen en el mercado numerosos sistemas o máquinas de riego que poseen la característica de ser sistemas de aspersión que se desplazan automática y simultáneamente a la aplicación del riego. Con estos sistemas se consigue una mecanización y automatización del riego.

Existen dos tipos fundamentales de sistemas autopropulsados:

- **Alas de riego autodesplazables:** basadas en un ala con desplazamiento propio por ruedas, con una estructura metálica en la cual se sitúan los emisores que realizan el riego. Su desplazamiento puede ser radial (pivote lateral, central y multicentro) o frontal (lateral de avance frontal y pivote lateral).
- **Cañones de riego o enrolladores:** basados en uno o varios emisores situados en una estructura metálica portante que se desplaza simultáneamente al riego al ser enrollada y recogida la manguera de alimentación en un tambor.

Se describen a continuación los principales sistemas:

Arriba: Cañón de riego, enrollador.  
Debajo: Alas de riego autodesplazables tipo pivote.



### El pivote central

Se trata de una tubería portaemisores suspendida sobre unas torres motrices, alineadas entre sí, que giran sincronizadamente alrededor de un centro pivotante, anclado sobre una plataforma de hormigón, por el cual recibe el agua y la energía eléctrica. En su desplazamiento, el pivote va describiendo un círculo y realizando el riego simultáneamente.

Está formado por los siguientes elementos:

1. **Unidad central:** es una estructura de acero en forma de pirámide, anclada en una base de hormigón, que enlaza la tubería enterrada con la tubería del lateral por medio de un tubo vertical de alimentación que permite el giro del sistema gracias a una junta estanca y mecanizados de giro embutidos. En la unidad central se localiza el armario eléctrico, donde se encuentran todos los elementos de funcionamiento y control de la máquina, así como los automatismos y los diferentes dispositivos de seguridad. La alimentación de corriente eléctrica puede llegar por cables enterrados desde la caseta de bombeo o mediante generador colocado en la misma base de la unidad central.
2. **El lateral de riego:** se trata de una tubería de conducción portaemisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m. La longitud total del ala suele estar entre 100 y 800 m. Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruados con materiales inalterables (aceros de ca-

lidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos varía de unas marcas a otras, pero debe ser fuerte y estanca, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados. Al final del pivote se suele disponer un tramo de tubería en voladizo, de longitud variable (6-30 m) donde se instala el cañón final, en caso de llevarlo. La tubería porta emisores es simultáneamente tubería de conducción de agua y estructura portante del pivote.

**3. Las torres:** son las unidades motrices del pivote. Su estructura triangular sustenta en su vértice superior el tramo de tubería correspondiente y está provista de ruedas motrices en ambos vértices inferiores. Un pequeño motoreductor eléctrico situado en cada torre transmite el giro a las ruedas por medio de transmisiones tipo cardan. Encima de cada torre se encuentra una caja eléctrica donde se localizan los mecanismos de conexión a los circuitos de corriente y de maniobra, así como los mecanismos de alineamiento y seguridad.

**4. Sistema de alineamiento:** el alineamiento se realiza de modo automático mediante un sistema que permite avanzar a cada torre alternativamente cuando entre los dos tramos que convergen en la misma forman un ángulo mayor de 15-20°. El movimiento del pivote comienza por la torre final, produciéndose un avance de las demás torres en cadena, desde el extremo hacia el centro, que conllevan el desplazamiento de todo el ala de riego. En el mercado existen actualmente dos sistemas de alineamiento que son el de biela y el alineamiento por cable.

**5. Sistema de seguridad:** el pivote cuenta con un sistema de seguridad que detiene la máquina siempre que se produce un fallo en el alineamiento por cualquier circunstancia, como puede ser el atasco de una rueda, un obstáculo, etc.

**6. Automatismos:** la instalación de una serie de automatismos en las máquinas de riego tipo pivote permite un importante ahorro



Pivote central: Torre central, conducción portaemisores y sistema de alineamiento por biela.

de mano de obra en las explotaciones. Los automatismos que se instalan con más frecuencia son:

- Arranque del pivote cuando se alcanza una presión determinada a la entrada del pivote.
- Parada del sistema por pérdida de presión.
- Parada del pivote en un lugar prefijado de la parcela.

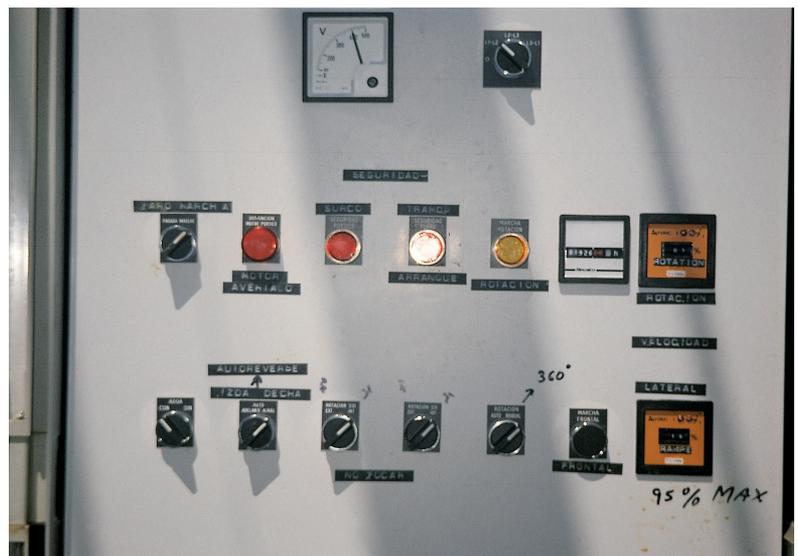
- Apertura y cierre del cañón final cuando el pivot llega a puntos concretos.
- Apertura y cierre de un número determinado de emisores.
- Apertura y cierre de todos los emisores en el momento deseado.
- Inversión del sentido de la marcha con retardo.
- Parada de todo el sistema.
- Parada del bombeo que permite el avance sin regar.
- Riego en sentido contrario.
- Diferentes tipos de programaciones.



Diferentes tipos de emisores.

7. **Emisores:** los diferentes tipos de emisores existentes en el mercado se pueden agrupar en las siguientes cuatro categorías:

- Aspersores de impacto de ángulo bajo.
- Toberas rotativas.
- Toberas pulverizadoras o sprays.
- Cañones o pistolas finales.



Cuadro de control eléctrico de automatismos.

Para alcanzar una buena uniformidad de distribución, se deben tener en cuenta el tipo de emisor, el espaciamiento entre sí a lo largo del lateral, el tamaño de las boquillas y la presión de funcionamiento. En la actualidad se tiende al empleo de emisores de presión media. También es frecuente la utilización de cañas descendentes (drops) que aproximan el emisor al suelo tanto como se quiera.



Torre de un pivote central.

### Características del riego con pivote

El riego con pivot central se caracteriza porque la **pluviometría instantánea** crece desde el centro hasta el extremo ya que cada sector circular cuanto más alejado está del centro, mayor superficie tiene que regar en el mismo tiempo. Asimismo, debido a que la cantidad de agua a aplicar es la misma en todos los puntos, la pluviometría instantánea tiene que crecer, puesto que el tiempo de aplicación es menor a medida que nos alejamos del centro del pivot.

El **caudal** necesario a la entrada del pivote es función de:

- Necesidades de riego punta de la remolacha (**N**, mm/día o l/m<sup>2</sup> y día).
- Área regada por el pivote (**A**, ha).
- Horas del día que funciona el riego (**H**, horas).
- Eficiencia de aplicación del agua (**Ea**, tanto por ciento).

siendo el caudal necesario  $Q_0$  (l/min):

$$Q_0 \text{ (l/min)} = \frac{N \text{ (l/m}^2 \text{ y día)} \times 1000 \text{ (m}^2 \text{/ ha)} \cdot A \text{ (ha)}}{Ea \text{ (\%)} \times H \text{ (H/día)} \times 60 \text{ (min/h)}}$$

**Un ejemplo:** Un pivote de 40 has sembrado de remolacha, se quiere regar en el mes de máximas necesidades, julio, con unas necesidades de 7 mm/día. Supuesta una eficiencia del 85% y un funcionamiento continuo y permanente, el caudal de entrada debe ser:

$$Q_0 = \frac{7 \times 10000 \times 40}{0.85 \times 24 \times 60} = 2.287,6 \text{ l/min} = 38.1 \text{ l/s}$$



Toberas rotativas con montaje tipo Drops, evitan mojar la estructura

La pluviometría en cada sector es constante y depende del diseño, cambiando para cada aplicación en función del tiempo de riego.

Una de las limitaciones del sistema de pivot es la pluviometría instantánea en el extremo del mismo, que debe ser menor que la capacidad de infiltración del suelo para que no se produzcan escorrentías.

La **pluviometría máxima en el extremo** se calcula por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{14.400}{\Pi} \times \frac{Q_0}{R \times r_a}$$

siendo:

$Q_0$  = caudal en el centro del pivot

$R$  = radio del pivot en m.

$r_a$  = radio mojado del emisor en m.

Es necesario comprobar que la **velocidad de infiltración** del suelo, que depende de la textura y de la pendiente del suelo, es mayor que la pluviometría máxima (ver triángulo de texturas con las velocidades de infiltración) y la **capacidad del almacenamiento de agua en al superficie**, que será menor cuanto mayor sea la pendiente del terreno. Algunos valores se indican en la tabla adjunta

Pendiente (%)	Capacida de almacenamiento (mm de lámina de agua)
0 - 1	12.7
1 - 3	7.6
3 - 5	2.5

Las dosis máximas de riego dependen del tipo de suelo y emisor. Valores orientativos de estas dosis máximas se indican en la tabla adjunta.

FAMILIA DE INFILTRACIÓN	TIPO DE SISTEMA	ALMACENAJE SUPERFICIAL (MM)			
		0	2,5	7,6	12,7
0.3 Arcilloso	A	20	30	43	56
	B	13	20	33	
	C	5	13	23	
	D	<3	8	18	
	E	<3	<3	13	
0.5 Franco	A	51	66	84	
	B	25	36	51	
	C	10	18	30	
	D	<3	13	20	
	E	<3	8	18	
1.0 Arenoso	A	SL	SL	SL	
	B	107	122	SL	
	C	36	48	66	
	D	18	28	43	
	E	10	20	36	

A = Sistema de alta presión. Pluviometría máxima de 25 mm/h.

B = Sistema de media presión. Pluviometría máxima de 38 mm/h.

C = Sistema de aspersores de baja presión. Pluviometría máxima de 64 mm/h.

D = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 360° y pluviometría máxima de 89 mm/h.

E = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 180° y pluviometría máxima de 152 mm/h.

S.L = Sin Limitación. La pluviometría no limita la dosis.

Entre las **ventajas** que presenta el sistema de riego por pivot destacan:

- Mejora de la uniformidad de riego, en función del diseño del pivot.
- Ahorro energético en cuanto a necesidades de energía de bombeo, al ser necesaria una menor presión en los emisores que puede alcanzar el 40% de ahorro en comparación con otros sistemas de aspersión que funcionan con presiones de 45 m.c.a. en los emisores.
- Automatización del sistema de riego y ajuste automático para el riego de esquinas.
- No necesita mano de obra.

### Pivot multicentro

El caudal de entrada en el ala de riego se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{N \cdot l \cdot a \cdot L}{t1 \cdot Ea} \cdot 1,16 \cdot 10^{-5}$$

siendo:

Q = caudal de entrada a sistema, en l/s

N = necesidades punta del cultivo, en mm/día ó l/m<sup>2</sup>/día

l = intervalo entre riegos, en días

a = anchura de la parcela o longitud del lateral, en m.

L = longitud de la parcela, en m.

t1 = tiempo de funcionamiento del equipo para dar un riego, en días

Ea = eficiencia de aplicación, en tanto por uno

La pluviometría media en este tipo de sistemas viene dada por:

$$Pm = (\text{mm/h ó l/m}^2/\text{h}) = 3.600 \cdot Q (\text{l/s}) / (a \cdot 2r)$$

siendo:

Q = caudal de entrada

a = anchura de la parcela

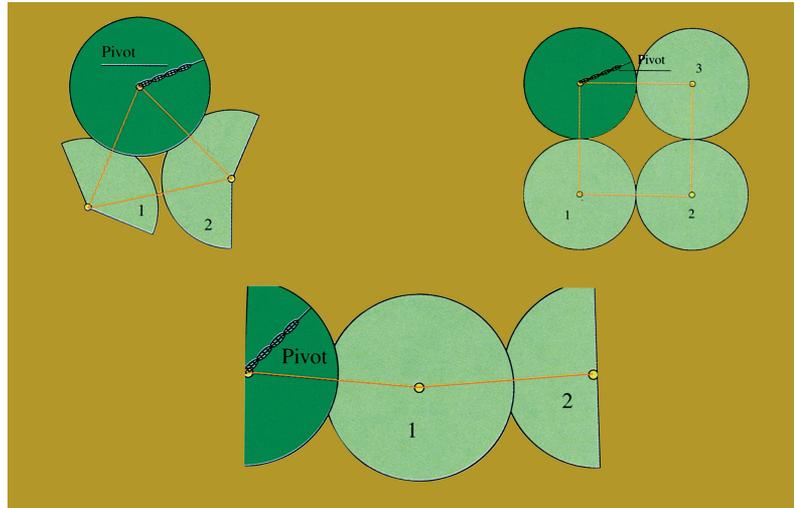
r = radio mojado de los emisores.

### Pivote lateral

Es una máquina de riego en la que se conjugan las ventajas de los modelos de pivot descritos anteriormente (central, multicentro y rampa lateral) con el fin de poder adaptarse con una misma máquina a la estructura parcelaria de las explotaciones y realizar el riego de forma automática, tanto en avance frontal como girando alrededor de un punto fijo, sin modificar la configuración ni la estructura del equipo. Para ello el pivot lateral dispone de una unidad central específica.

La unidad central del pivot lateral posee cuatro ruedas motrices con un robusto bastidor sobre el que va anclada una estructura piramidal. Esta estructura abraza el tubo de conducción vertical que se acopla por su extremo superior al primer tramo y por su extremo inferior se engancha a la manguera de alimentación. En el bastidor van acoplados los motores-reductores, los reductores, el armario de control y maniobras y el sistema de alineamiento, además de un conjunto de lastres que aumentan la capacidad de

Pivote multicentro: torre principal.



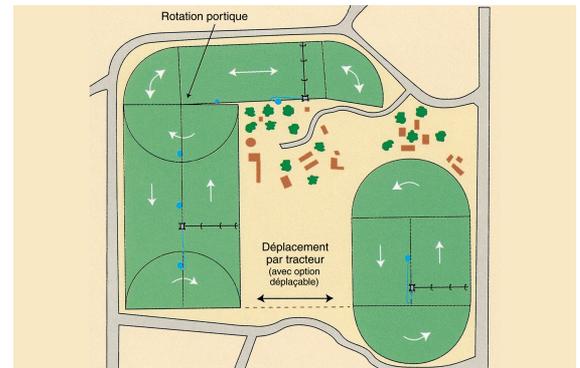
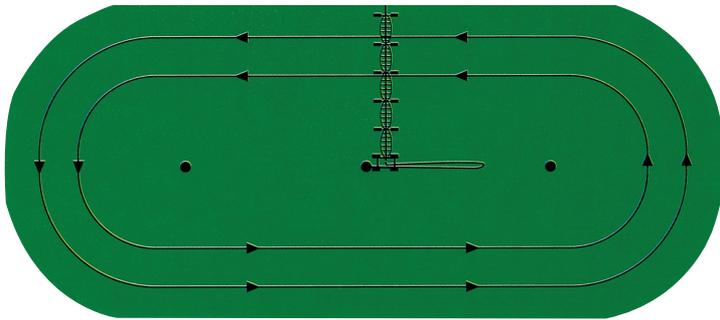
tracción del equipo.

Las maniobras programadas en el armario de control se traducen en órdenes de funcionamiento de los tramos a través del sistema de detectores situado en la parte superior de la estructura piramidal.

La automatización de este tipo de pivots es máxima, uniendo a los descritos para el pivot central otros específicos, pudiendo llegar a tener un control total de la instalación con un ordenador personal portátil desde cualquier lugar donde se encuentre.

Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote multicentro.





Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote lateral multidireccional

Rampa lateral de avance frontal.

### Los cañones de riego

Se trata de aspersores de gran tamaño (cañones de riego o enrolladores) que trabajan con alta presión y mojan gran superficie, con desplazamiento simultáneo al riego mediante el arrastre del cañón por enrollamiento de la propia manguera de abastecimiento (enrollador) o por arrastre con ayuda de un cable con un extremo unido al cañón y otro fijo en el borde de la parcela (cañón viajero).

Este sistema de riego suele desplazarse a una velocidad entre 10 y 50 m/h, siendo la pluviometría inversamente proporcional a la velocidad de avance.

El sistema de avance del enrollador se basa en que el cañón está unido a una manguera flexible que se enrolla en un tambor mediante un sistema de turbina o fuelle hidráulico, que aprovecha la pro-

pia presión del agua para el enrollamiento de la manguera. La manguera, el tambor y el cañón se montan en un carro que es movido por un tractor en cada cambio de postura.

Estos sistemas requieren altas presiones de funcionamiento, oscilando entre 4 y 10 bares (400 - 1.000 KPa) de presión.

Los cañones viajeros realizan su movimiento gracias al enrollamiento de un cable por el tambor, estando el otro extremo del cable anclado en el borde de la parcela.

El aspersor de gran tamaño realiza el riego en sectores circulares cuyo ángulo de giro oscila entre 200 y 220°.

La uniformidad de distribución depende de la acción negativa del viento, la variación de la velocidad de avance, de las ca-



Arriba: Cañón con ala portaemisores.  
Derecha: Cañón enrollador.

racterísticas del aspersor y de sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, etc.) respecto a la situación óptima.

Este sistema presenta problemas en suelos de textura fina y estructura débil, debido al efecto de las gotas de gran tamaño, sobre todo cuando el riego se realiza sobre suelo desnudo. Presenta la ventaja de una fácil automatización, siendo necesaria la mano de obra sólo para el cambio y la puesta en marcha del sistema.

Una variante del mismo es el **ala portaemisores** sobre carro en la cual se sustituye el cañón por una estructura lineal, perpendicular al sentido de avance, sobre la que se emplazan los emisores y que se desplaza igual que el cañón. Estas alas trabajan a mucha menos presión (2-2,5 kg/cm<sup>2</sup>) mediante el uso de toberas o difusores, con lo que se obtiene una mayor uniformidad y ahorro de energía.



### 1.3. RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es un tipo de riego localizado de alta frecuencia mediante el cual se distribuye el agua a la zona radicular de las plantas por medio de unos emisores especiales llamados goteros distribuidos a lo largo de microtuberías de material flexible. Al humedecer sólo el volumen de suelo donde se localizan las raíces, la frecuencia de riego debe aumentar para satisfacer totalmente las necesidades de riego del cultivo.

#### Características del riego por goteo

**Menores pérdidas por evapotranspiración.** Debido a que se moja sólo una pequeña porción de la superficie del suelo, las pérdidas por evaporación son menores. Esta reducción de la evaporación directa se compensa en parte por un aumento de la transpiración del cultivo debido a la sequedad del follaje y consiguiente aumento de la temperatura.

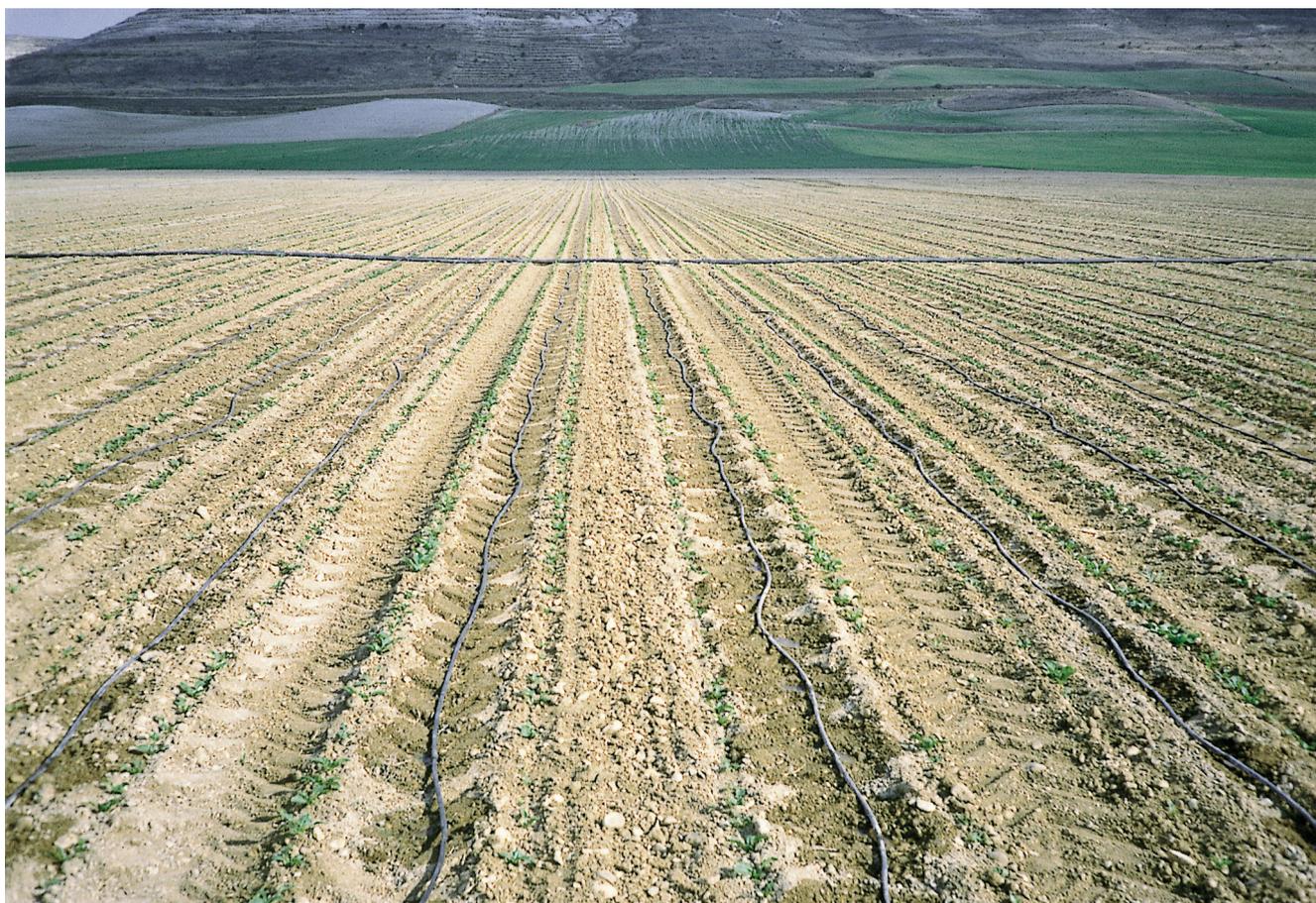
**Aumento de la concentración de raíces.** El sistema radicular de la planta se concentra en el volumen de suelo humedecido sin provocar una disminución de la producción.

**Formación del bulbo húmedo.** Debajo de cada emisor el agua se distribuye por el

suelo horizontal y verticalmente ocupando un volumen con forma de bulbo. Este bulbo adoptará una forma alargada verticalmente en el caso de suelos arenosos por la atracción que sobre el agua ejerce la fuerza de la gravedad, y será alargado horizontalmente en los suelos arcillosos debido a una mayor movilidad horizontal del agua por capilaridad. A igual volumen de agua descargada por el gotero, el tamaño del bulbo húmedo también va a depender de la textura debido a las diferentes capacidades de retención de agua por cada tipo de textura.

**Mayor aireación del suelo.** Debido a que no se humedece la totalidad del suelo, el cultivo no sufre problemas de saturación y asfixia radicular.

Riego por goteo en remolacha.





Sistema enrollador de tubería para riego por goteo.

**Salinidad.** En el riego por goteo, la humedad permanece alta dentro del bulbo mientras el nivel de salinidad se mantiene bajo. Este hecho permite el empleo de aguas con mayor concentración de sal que con otros métodos de riego. No obstante, la concentración de sales va aumentando hacia la periferia del bulbo, llegando a formarse una barrera para el desarrollo de las raíces. Este proceso se manifiesta en la superficie del suelo en forma de una corona blanquecina de sales.

**Fertilización.** En el riego por goteo, el sistema radicular se localiza casi en su totalidad dentro del bulbo húmedo, por lo que para hacer llegar los compuestos fertilizantes a la planta lo más indicado es hacerlo a través del propio sistema de riego. Aplicando los abonos disueltos en el agua de riego conseguimos localizar el fertilizante dentro del bulbo húmedo.

### Componentes del riego por goteo

Los componentes de una instalación de riego por goteo son los siguientes:

- Estación de bombeo.
- Cabezal de riego:
  - Sistema de tratamiento del agua.
  - Filtros de arena y de malla.
  - Sistema de incorporación de fertilizantes.
  - Contadores volumétricos.
  - Reguladores de presión.
- Red de distribución: tuberías de transporte y distribución.
- Emisores: goteros, rociadores, microaspersores, emisores de manguito, etc..
- Dispositivos de control: válvulas reguladoras.





Estación de filtrado en una instalación de riego por goteo.

### Ventajas e inconvenientes del sistema

#### Ventajas:

- Ahorro de agua respecto a otros sistemas de riego debido a que se humedece sólo una pequeña porción de la superficie del suelo. Con ello se evita también la proliferación de malas hierbas que competirían con el cultivo por la humedad del suelo.
- Facilidad de dosificación, por tratarse de un riego individualizado planta por planta.
- El agua de riego no transporta semillas de malas hierbas gracias al filtrado casi perfecto.
- Permite la aplicación localizada de abonos disueltos en el agua de riego.

#### Inconvenientes:

- Elevado coste de instalación.
- Manejo complicado, sobre todo en el momento de instalación y retirada.
- La densa red de tuberías supone un gran obstáculo para las labores de cultivo.
- La calidad del agua debe ser buena, pues no permite el lavado de sales a capas profundas.
- Las aguas calizas provocan incrustaciones que deben ser eliminadas regularmente con ácidos.
- Necesita filtrar el agua en varias etapas para evitar la obstrucción de los emisores.

En los ensayos de campo realizados por AIMCRA se ha constatado que el ahorro en energía y en volumen de agua aplicada no compensa el mayor coste del sistema ni las dificultades en el manejo.



Conductos terminales de distribución del agua en riego por goteo.

## 1.4. COSTES DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO

En este apartado se expone un breve estudio comparativo de costes entre los cinco sistemas de riego más utilizados en las explotaciones remolacheras: sistema de cobertura total superficial, de aluminio, polietileno (PE) y de PVC, sistema de pivot central (círculo completo y sectorial), pivot multicentro y pivot lateral (hipódromo exterior e hipódromo interior). Para realizarlo se han consultado varias casas comerciales. En ningún caso se incluye el IVA.

Las condiciones comunes de partida para todos los sistemas son las siguientes:

- Parcela rectangular de 600 x 400 m (24 ha).
- Topografía prácticamente llana.
- Suelos de textura media sin problemas de drenaje.
- Extracción del agua de una perforación de 200 m de profundidad, con el nivel dinámico a 70 m y un caudal instantáneo de 25 l/s.

**TABLA Nº 2:** Costes orientativos de las distintas instalaciones de riego por aspersión en función de las hectáreas regadas.

TIPO DE INSTALACIÓN	PRECIO ORIENTATIVO	
Cobertura de PE con aspersor convencional (24 ha)	250.000 - 300.000	Ptas/ha
Cobertura total de aluminio (24 ha)	370.000 - 450.000	Ptas/ha
Cobertura total de PVC (24 ha)	340.000 - 380.000	Ptas/ha
Pivot central a círculo completo (13.8 ha)	470.000 - 530.000	Ptas/ha
Pivot central sectorial (18'2 ha)	440.000 - 490.000	Ptas/ha
Pivot multicentro (21'6 ha)	340.000 - 390.000	Ptas/ha
Pivot lateral parcela completa (24 ha)	375.000 - 440.000	Ptas/ha
Pivot lateral hipódromo exterior (21'7 ha)	365.000 - 430.000	Ptas/ha

## 1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUENTES YAGÜE, J.L.; CRUZ ROCHE, J. (1990): "Curso elemental de riego". Ed. MAPA. Madrid. Pág. 237.

GÓMEZ POMPA, P. (1988): "Riegos a presión, aspersión y goteo". Ed. AEDOS. Pág. 332.

MONTERO, J.; ORTEGA, J.F.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.; VALIENTE, M. y TARJUELO, J.M. (2000): "El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León". Capítulo 2: "Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión". Ed. Caja Duero. Coordinado por AIMCRA.

Revistas "AIMCRA" nº 44 (marzo 95) y nº

49 (enero 96).

SAYALERO, L.M. (2000): "El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León". Capítulo 3: "Nuevos sistemas de riego por aspersión". Ed. Caja Duero. Coordinado por AIMCRA.

TARJUELO, J.M. (1995): "El riego por aspersión y su tecnología". Ed. Mundi-Prensa. Pág. 491.

## 2. Agronomía del riego

Dado que el objetivo del riego es mantener en el suelo unos niveles de humedad que permitan a la remolacha crecer sin limitaciones y obtener los rendimientos óptimos, en este apartado se analizarán todos los aspectos que relacionan el riego con el desarrollo de la remolacha.

El agua es un elemento esencial en la fisiología de la remolacha, siendo fundamental para la absorción de nutrientes del suelo, para el transporte de nutrientes en la planta y por su intervención en los procesos fisiológicos fundamentales: transpiración, fotosíntesis, etc., siendo por tanto necesario conocer su sistema de consumo para que no sea factor limitante en la producción. La frecuencia de riego y el efecto de la falta de agua (estrés hídrico) en diferentes fases del cultivo también se analizan en este apartado.

### 2.1. NECESIDADES DE AGUA DE LA REMOLACHA

#### La evapotranspiración

La planta absorbe agua del suelo y la emite en forma de vapor a la atmósfera en el proceso denominado *transpiración* (T); a su vez, el suelo emite vapor a la atmósfera en el proceso de *evaporación* (E). La pérdida total de agua del conjunto suelo-planta en forma de vapor en los procesos de evaporación y transpiración se denomina *evapotranspiración* (ET). Estas pérdidas de vapor son mayores cuanto mayor es la temperatura, más fuerte es el viento, más seco es el aire, etc.. Ambos procesos se ven afectados por la demanda evaporativa de la atmósfera, por la cantidad de agua disponible en el suelo y

por la naturaleza del suelo y las características de la cubierta vegetal.

Cuando el cultivo está estableciéndose en el terreno, la componente dominante en la ET es la evaporación (E); a medida que el cultivo crece, desarrolla mayor superficie foliar y cubre más terreno, aumenta la componente transpiración (T), y a su vez disminuye la E por sombreado del suelo, llegando la T a suponer un 90-95% del total de la ET.

En la práctica, se analiza la ET como un consumo o gasto de agua por el cultivo (conjunto suelo y planta) para así simpli-



ficar el análisis de dicho fenómeno.

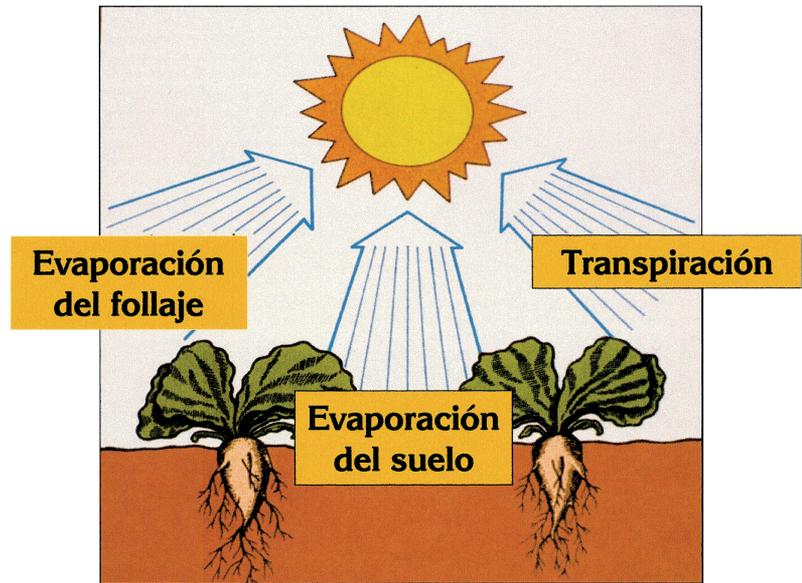
Los factores de los que depende la ET de una superficie con cubierta vegetal son:

- factores climatológicos (radiación, temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, etc.)
- el agua disponible en el suelo por aporte externo (riego, lluvia, etc.)
- factores de la planta (conductibilidad hídrica de los tejidos, índice de área foliar, profundidad y densidad del sistema radicular, etc.)
- factores edáficos (conductibilidad hídrica, profundidad efectiva, capacidad de almacenamiento hídrico, etc.)
- factores fitotécnicos (laboreo del suelo, rotación de cultivos, orientación de las líneas de siembra, densidad de población, etc.)
- factores geográficos (extensión del área, variación de las características climáticas en el borde del área considerada, etc.)

Las necesidades de agua de la remolacha, o lo que es lo mismo, la ET de la remolacha, es posible medirla directamente mediante sistemas sofisticados (lisímetros), pero lo habitual es valorar el consumo de la remolacha mediante su estimación por diferentes métodos, bien en base a medición de evaporaciones, o bien mediante fórmulas empíricas.

A la hora de obtener las estimaciones de ET, es preciso considerar dos conceptos de evapotranspiración:

- La evapotranspiración máxima (ET<sub>m</sub>)** de un cultivo se define como la cantidad máxima de agua que es susceptible de evaporar cuando se encuentra ubicado bajo buenas condiciones de disponibilidad hídrica y en un suelo próximo a su capacidad de campo. Depende del grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y del estado de su ciclo biológico (etapa de crecimiento, etapa intermedia, etapa de maduración, etc.). Se puede definir también la evapotranspiración máxima como la ET de un cultivo específico en condiciones de densidad y de fertilización de suelo óptimas, que crece y se desarrolla en



un suelo bien provisionado de agua (de forma que ésta no se constituya en un factor limitante de su intensidad de crecimiento), ubicado bajo condiciones advectivas despreciables y en las condiciones climáticas habituales de la región considerada.

Evapotranspiración.

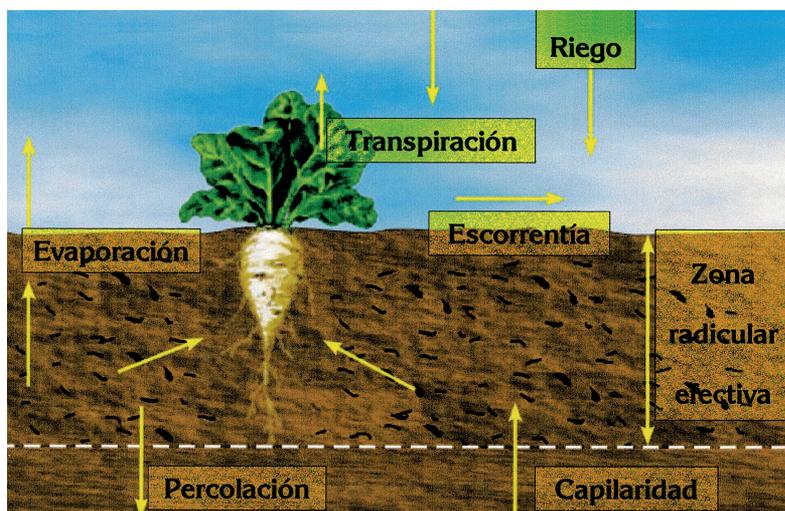
- La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)** se define como la tasa de ET de una extensa superficie cultivada con gramíneas pratenses perennes de altura uniforme, entre 8 y 15 cm., en crecimiento activo, que sombrea completamente el suelo y se encuentra bien provisionada de agua.

La forma habitual de operar es realizar una estimación de la ET<sub>o</sub> y, según el estado de crecimiento del cultivo, calcular la ET<sub>m</sub>.

### Medidas de la evapotranspiración: lisímetros

Un lisímetro es un instrumento que se utiliza para realizar la medición directa de la evapotranspiración de un cultivo en desarrollo, una cubierta vegetal de referencia o la evaporación del suelo desnudo. Existen principalmente dos tipos de lisímetros: el de pesada y el evaporímetro volumétrico.

El **lisímetro de pesada** consiste en un recipiente de gran tamaño lleno de tierra sobre la que se implanta el cultivo que se pretende estudiar, con un dispositivo que



Componentes del balance hídrico del suelo.

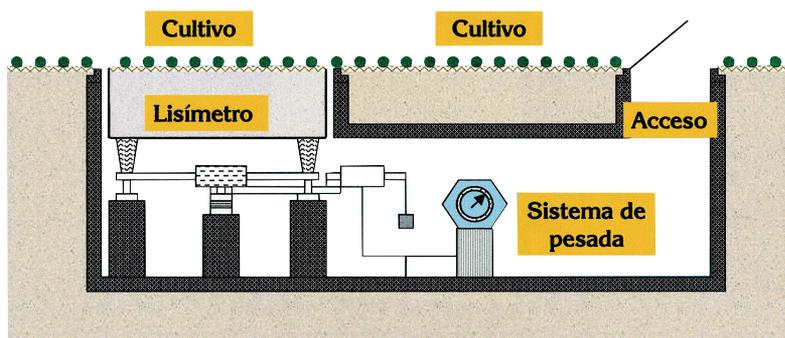
le permite determinar la variación de peso a lo largo del tiempo. La parte superior del recipiente permanece al ras del suelo rodeado del mismo cultivo que contiene y en sus mismas condiciones (ver figura). Mediante pesadas periódicas y la recogida del agua de drenaje, se determina el agua de evapotranspiración en un determinado intervalo de tiempo. Igualmente se debe considerar el peso de la biomasa acumulada sobre el recipiente. El peso del lisímetro en un momento dado viene dado por la siguiente expresión:

$$P_m = P_i + P_b - ET - D + R + P_r$$

Siendo:  
 P<sub>m</sub> = peso del lisímetro en un momento dado.  
 P<sub>i</sub> = peso inicial.  
 P<sub>b</sub> = peso de la biomasa.  
 ET = evapotranspiración.  
 D = agua de drenaje recogida.  
 R = volumen de agua aplicado mediante el riego.  
 P<sub>r</sub> = volumen de agua aportado por precipitación.

El **evaporímetro volumétrico** permite determinar la evapotranspiración de una cubierta vegetal midiendo el agua que

Figura n.º 1: Esquema de un lisímetro de pesada.



percola a través del suelo por medio de una cámara de drenaje y la variación del contenido de humedad del suelo:

$$ET = R + Pr - D \pm HS$$

Siendo:  
 ET = evapotranspiración del cultivo.  
 R = volumen de agua aportado mediante el riego.  
 Pr = volumen de precipitación.  
 D = agua de drenaje.  
 HS = incremento de la humedad del suelo.

El lisímetro es, sin duda, el mejor sistema para conocer la ET de un cultivo en unas condiciones determinadas, por lo que se emplean para calibrar otros métodos.

### Métodos de cálculo para la estimación de la evapotranspiración de referencia

Como ya se ha mencionado, el conocimiento de la E<sub>to</sub> es fundamental para la realización de una correcta programación del riego. Pero los aparatos de medición directa de la ET (lisímetros) son excesivamente caros, lo que hace que su uso se limite sólo a la investigación.

La medida de la ET se puede realizar de modo indirecto mediante métodos micrometeorológicos basados en diferentes modelos de cálculo empíricos, mediante balance hídrico del suelo, con diferentes sistemas de medición de la humedad del suelo (gravimétrico, tensiómetros, sonda, etc.) o mediante métodos fisiológicos, requiriendo costosos equipos instrumentales. En susustitución, lo habitual es calcular la ET mediante la medida o estimación de la E<sub>to</sub> y, en función del estado de la remolacha, aplicar un coeficiente de cultivo.

Existen numerosos métodos de estimación de la E<sub>to</sub>, pero los que se consideran de mayor interés son los que desarrollamos a continuación:

#### a) Evaporímetro de Clase A

El evaporímetro de cubeta de Clase A nos permite medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evaporación de una superficie de agua libre. De un modo análogo, la planta responde a las mismas variables climáticas, aunque habría que considerar los efectos de determinados factores (capacidad de reflexión de la radiación, almacenamiento diurno de calor, turbulencias de aire, etc.).



### Descripción del evaporímetro

Se trata de un depósito circular que tiene un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5 cm. Está fabricado con chapa de hierro galvanizado o acero inoxidable de 2 mm de espesor. Se monta sobre una plataforma de madera abierta, quedando el fondo a 15 cm sobre el nivel de la tierra. Se llena con agua hasta 5 cm del borde superior y el nivel del agua no debe bajar a más de 7,5 cm con respecto a ese borde. Se renueva regularmente el agua para eliminar la turbidez (cada 15 días aproximadamente), agregándose una pequeña cantidad de lejía para evitar la proliferación de algas.

Evaporímetro de clase A y medición.

### Coefficientes de tanque

La evaporación directa del tanque ( $E_t$ ) y la evapotranspiración de un cultivo de referencia ( $E_{To}$ ) se relacionan mediante el coeficiente del tanque ( $K_t$ ) (ver tabla n° 3).

$$E_{To} = E_t \cdot K_t$$

**TABLA Nº 3:** Valores del coeficiente KT para distintas condiciones de humedad, viento y medio circundante.

CUBETA CLASE A	CASO A CUBETA RODEADA DE CUBIERTA VERDE BAJA				CASO B CUBETA CON BARBECHO DE SECANO			
	DISTANCIA A BARLOVENTO DE LA CUBIERTA VERDE (M)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (EN %)			DISTANCIA A BARLOVENTO DEL BARBECHO DE SECANO(M)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (EN %)		
		BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70		BAJA <40	MEDIA 40-70	ALTA >70
Débiles <175 <2	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderados 175-425 2-5	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuertes 425-700 5-8	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuertes >700 >8	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Recientemente, Raghuwanshi y Wallender han propuesto la siguiente expresión para determinar el valor del coeficiente de tanque:

$$K_T = 0.5944 + 0.0242X_1 + 0.0583X_2 - 0.1333X_3 - 0.2083X_4 + 0.0812X_5 + 0.1344X_6$$

Siendo:

X1 = distancia a la cubierta vegetal en metros.

X2 = 0 si velocidad de viento (V) <175 km/día, 1 en caso contrario.

X3 = 0 si 425 < V <700 km/día, 1 en caso contrario.

X4 = 0 si V > 700 km/día, 1 en caso contrario.

X5 = 0 si humedad relativa (HR) < 40%, 1 si HR > 40%.

X6 = 0 si HR < 70%, 1 si HR > 70%.

El tanque deberá situarse en un medio abierto, con unos cultivos que no tengan más de 1 m de altura en un radio de 50 m. Si el tanque está rodeado por cultivos altos (p.e. maíz) puede ser necesario aumentar el coeficiente hasta un 30% en el caso de climas ventosos y secos, y de 5 a 10% cuando se trata de condiciones húmedas sin viento.

En las zonas de desarrollo agrícola nulo y

zonas muy extensas de suelos desnudos, se deberán reducir hasta un 20% los valores de KT en el caso B para zonas áridas y ventosas. En el caso de vientos moderados, se reducirá la KT entre un 5 y un 10%.

La turbidez del agua del tanque no repercute en la evaporación en más de un 5%. Cuando el nivel del agua desciende 10 cm por debajo del nivel aceptado, se puede cometer un error de hasta un 15%. La malla montada sobre la cubeta para evitar que los animales beban el agua puede reducir la evaporación hasta un 10%.

**b) Método micrometeorológico de Penman-Monteith**

Es un método empírico basado en la medida de algunos parámetros climatológicos, que mediante fórmulas matemáticas estima la ETo. Sobre la base de esos parámetros climatológicos se realiza el estudio combinado del balance energético y de intercambio de vapor entre la atmósfera y el cultivo. Es el método recomendado por la FAO.

Este método necesita para su aplicación datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar (horas de sol), velocidad del viento, rugosidad de la superficie evaporante, altura de la cubierta vegetal, etc.. Su complejidad obliga a la utilización de programas informáticos para la realización de los cálculos (CROPWAT, ETO, DAILYET, REF-ET, etc.).

### c) Método de Hargreaves

Hargreave desarrolló un método muy simple para el cálculo de la ETo, basado en las temperaturas máximas y mínimas, según la siguiente expresión:

$$ETo \text{ (mm/día)} = 0.0023 \cdot Ra \cdot (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{1/2} \cdot (T_{\text{med}} + 17.8)$$

Donde:

T<sub>máx</sub> = temperatura máxima del aire.

T<sub>mín</sub> = temperatura mínima del aire.

T<sub>med</sub> = temperatura media = (T<sub>máx</sub> + T<sub>mín</sub>)/2

Ra = radiación que llega al topo de la atmósfera expresada en mm/día, constante para cada lugar en un determinado día del año; depende de la latitud.

En la tabla siguiente se indican los valores mensuales de Ra para distintas latitudes.



Estación agrometeorológica a pie de parcela.

**Tabla nº 4:** Radiación extraterrestre (Ra) expresada en unidades equivalentes de evaporación (mm/día) en función de la latitud.

LAT	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6

#### d) Método de Blaney-Criddle

El método de Blaney-Criddle se basa en una simple ecuación, cuyas variables son la temperatura y el porcentaje de horas diurnas, con la que se obtiene el factor de uso consuntivo:

$$F = P \cdot (0'46 \cdot T + 8'13)$$

Siendo:

F = factor de uso consuntivo.

P = porcentaje de horas diurnas anuales del periodo considerado.

T = temperatura media del periodo en °C.

Para obtener la ETo mínima diaria se debe aplicar un coeficiente de uso consuntivo del cultivo (K), determinado empíricamente para cada zona. Este coeficiente está en función de los valores predominantes de tres factores: la humedad relativa mínima, la relación entre las horas reales y máximas de insolación, y los vientos diurnos. Este método no debe aplicarse para periodos inferiores al mes, y se deben poder comprobar las condiciones meteorológicas predominantes de los factores mencionados.

#### e) Método de Radiación

El método de radiación predice los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos en base a datos sobre la radiación y la temperatura del aire. Además requiere datos generales de humedad relativa y viento. En este método se sugiere una relación del siguiente tipo:

$$ET_o = a + b \cdot W \cdot R_s$$

Siendo:

ETo = la evapotranspiración de un cultivo de referencia.

Rs = radiación solar expresada en equivalente de evaporación (mm/día).

W = índice de ponderación, dependiente de la temperatura y de la altitud.

a, b = son coeficientes tabulados.



#### Coeficiente de cultivo

En ellas se distinguen las siguientes etapas:

1. **Etapla de establecimiento:** abarca la germinación, nascencia y estados iniciales del cultivo, cuando el porcentaje de cubrición es pequeño. En esta fase domina la evaporación frente a la transpiración. Su duración es aproximadamente de 50 días en la siembra temprana y 26 días en la siembra tardía.
2. **Etapla de crecimiento vegetativo rápido:** transcurre desde la fase anterior hasta que el cultivo cubre totalmente el terreno y alcanza el mayor desarrollo vegetativo. Su duración es de 61 días en siembra temprana y de 51 en siembra tardía.
3. **Fase intermedia o de mediados de ciclo:** abarca desde que el cultivo alcanza su máximo desarrollo hasta que se alcanza la senescencia foliar o comienzan las variaciones de color en las hojas. Su duración aproximada es de 60 días.
4. **Fase final o de madurez:** se extiende desde el final de la fase intermedia hasta que se alcanza la madurez de la remolacha. Depende del momento de la recolección, pero su duración suele ser de 61- 68 días para una recolección a primeros de noviembre.

Las etapas anteriores son difíciles de diferenciar en la práctica debido al desarrollo continuo del cultivo, sin mostrar signos evidentes como ocurre con otros cultivos (floración, formación del fruto, etc.)

Las estimaciones de la ET calculadas con estos coeficientes de cultivo son para condiciones óptimas y sin limitación en los diferentes factores de cultivo incluyendo el agua (ETm).

Medidor de radiación solar fotosintéticamente activa.



Anotación de registros.

## ET de la remolacha

### a) Siembra primaveral

En base al método de Penman-Monteith, y utilizando los datos medios de 30 años (1961-1990), se ha calculado la ETc de la remolacha para cada una de las provincias más remolacheras, tanto de siembra primaveral como otoñal. Los cálculos se han realizado con el programa CROPWAT (desarrollado por FAO) para dos fechas de siembra. Los resultados se recogen en los siguientes cuadros.

Remolacha primaveral siembra tardía (después del 15 de marzo)

PROVINCIA	MAYO*	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
ÁVILA	45	129	179	158	108	619
BURGOS	40	117	164	144	98	563
LEÓN	45	128	174	151	100	598
PALENCIA	45	125	171	149	99	589
SALAMANCA	49	138	190	162	106	645
SEGOVIA	43	122	170	147	97	579
SORIA	53	132	165	141	88	579
VALLADOLID	50	143	197	176	116	682
ZAMORA	50	143	197	168	113	671
ÁLAVA	47	134	176	155	108	620
LA RIOJA	47	134	176	155	108	620
ALBACETE	33	79	152	169	117	550
CIUDA DREAL	37	90	176	195	136	634

**Tabla nº 5:** Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra primaveral. Siembra temprana.

**Remolacha primaveral siembra temprana (antes del 15 de marzo)**

PROVINCIA	MAYO*	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
ÁVILA	57	140	179	158	102	<b>636</b>
BURGOS	50	127	164	143	91	<b>575</b>
LEÓN	57	140	174	150	94	<b>615</b>
PALENCIA	55	138	171	148	92	<b>604</b>
SALAMANCA	61	150	189	166	108	<b>674</b>
SEGOVIA	54	133	170	147	91	<b>595</b>
SORIA	42	121	165	142	94	<b>565</b>
VALLADOLID	62	155	197	175	109	<b>698</b>
ZAMORA	63	156	197	167	106	<b>689</b>
ÁLAVA	59	145	176	155	100	<b>635</b>
LA RIOJA	59	145	176	155	100	<b>635</b>
ALBACETE	48	130	192	171	112	<b>653</b>
CIUDAD REAL	53	147	223	197	132	<b>752</b>

**Tabla nº 6:** Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra primaveral. Siembra tardía.

**a) Siembra otoñal**
**Remolacha otoñal siembra temprana (antes del 30 de octubre)**

PROVINCIA	FEBRERO*	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO*	TOTAL
CÁDIZ	40	84	115	143	105	<b>487</b>
CÓRDOBA	38	85	106	128	91	<b>448</b>
JAEN	45	93	121	149	109	<b>517</b>
SEVILLA	38	83	115	144	106	<b>486</b>
BADAJOS	40	84	115	143	105	<b>487</b>

**Tabla nº 7:** Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra otoñal. Siembra temprana.

**Remolacha otoñal siembra tardía (después del 30 de octubre)**

PROVINCIA	FEBRERO*	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
CÁDIZ	30	80	116	158	185	<b>569</b>
CÓRDOBA	29	81	109	140	158	<b>517</b>
JAEN	33	89	122	164	191	<b>599</b>
SEVILLA	28	80	116	158	187	<b>569</b>
BADAJOS	30	80	116	158	185	<b>569</b>

**Tabla nº 8:** Evapotranspiración del cultivo de la remolacha (ETc) por meses para las principales provincias remolacheras de siembra otoñal. Siembra tardía.

## 2.2. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

### 2.2.1. La programación del riego

La programación del riego responde a las cuestiones planteadas en la introducción mediante la determinación de todos los elementos que definen el riego: periodo de riego, volumen o dosis de riego, frecuencia de riego, etc..

La programación de riego ha de tener en cuenta diversos factores relacionados con el mismo: suelo, cultivo, clima, sistema de riego, etc.. La programación de riego debe ser una metodología que permita decidir cuándo regar y qué dosis de riego aplicar a la remolacha para cubrir los consumos. El objetivo de la programación de riego puede ser definido según los criterios que primen a la hora de realizarla. Los criterios más utilizados son:

- Maximizar la producción por unidad de superficie regada.
- Maximizar la producción por unidad de agua aplicada.
- Maximizar el beneficio de la explotación agrícola.
- Ahorrar o minimizar las necesidades energéticas.

Existen una gran variedad de métodos de programación, desde el agricultor que riega basándose en su experiencia hasta los métodos más sofisticados que requieren instrumentación y un alto nivel

de preparación técnica. Se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Métodos de programación basados en el estado hídrico del suelo:** Se realizan medidas del estado de humedad del suelo con distintos aparatos estableciéndose el momento de regar en base al mismo. Algunos de ellos son: sonda de neutrones, TDR, resistencias eléctricas y tensiómetros. El tensiómetro



es un método práctico basado en la medida de la tensión con que el agua es retenida por el suelo; su rango de medida es de 0 a 0'8 bar. Estudios en remolacha revelan que el momento óptimo del riego se produce cuando el tensiómetro, instalado a 30 cm de profundidad, alcanza el valor de 45 cb (J.M. Arroyo, comunicación personal, 2000).

- Métodos basados en el estado hídrico de la planta:** Se realizan medidas en la planta y se determina el momento de regar. Se mide la tensión en hojas (cámara de presión), la temperatura de la cubierta del cultivo (pistola de infrarrojos), etc.
- Métodos basados en el estado hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera:** Estos métodos tienen en cuenta tanto el estado de la atmósfera como el del suelo como el de la planta, estableciendo un balance hídrico conjunto en el cual se evalúan las pérdidas y las ganancias de agua con el fin de establecer las necesidades de riego. El más utilizado es el método del **balance hídrico**, recomendado por AIMCRA, que tiene en cuenta, a la hora de calcular las necesidades netas de riego, las entradas (lluvias y riegos) y las salidas (ET, fundamentalmente).

Tensiómetro.

Pistola de infrarrojos.



Al conjunto de fechas y dosis de riego a lo largo de una campaña se conoce como **calendario de riegos**. El calendario medio de riegos para un cultivo en una lo-

calidad concreta es aquel que satisface la demanda de ET en el año promedio, lo cual permite al regante planificar sus riegos de forma aproximada para toda la campaña. Si se dispone de medios para programar el riego en función de las condiciones climáticas reales a lo largo de la campaña, podemos realizar la llamada programación de riegos en "tiempo real".

La frecuencia del balance puede ser diaria, semanal o intermedia, aunque adoptar una frecuencia muy alta supondría asumir un mayor error en las estimaciones de los consumos.

En cada balance partimos de un nivel inicial (coincidente con el nivel final del anterior balance) al cual le restamos los consumos de los días considerados y le sumamos los riegos y/o lluvias, si los hubiere, resultando el nivel de humedad final.

**El suelo como almacén de agua y sus características**

El suelo agrícola es capaz de almacenar un volumen de agua que va a ser utilizado por los cultivos para su desarrollo. Un manejo eficiente del riego por parte del agricultor requiere el conocimiento de esa capacidad de almacenamiento de sus suelos.

Todo suelo se compone principalmente de partículas minerales y poros llenos de aire y de agua en mayor o menor medida.

Cuando el agua ocupa la totalidad de los poros que existen en el suelo, decimos que se alcanza el **punto de saturación (PS)**.

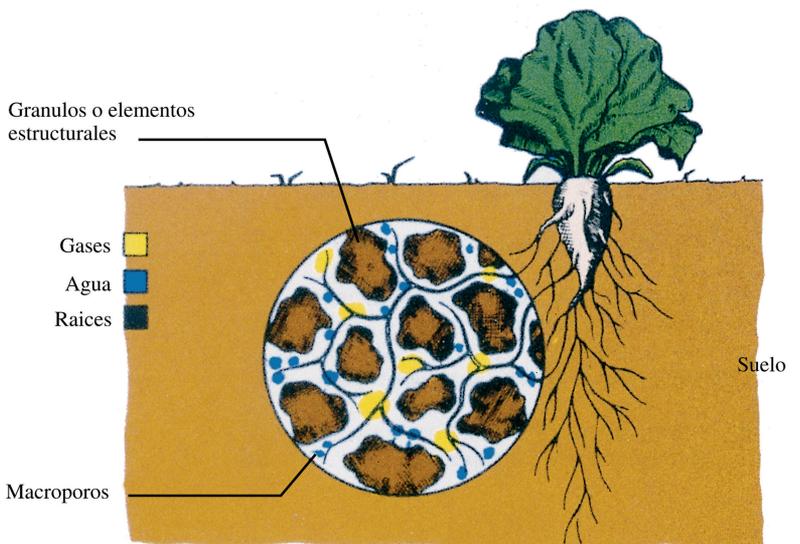
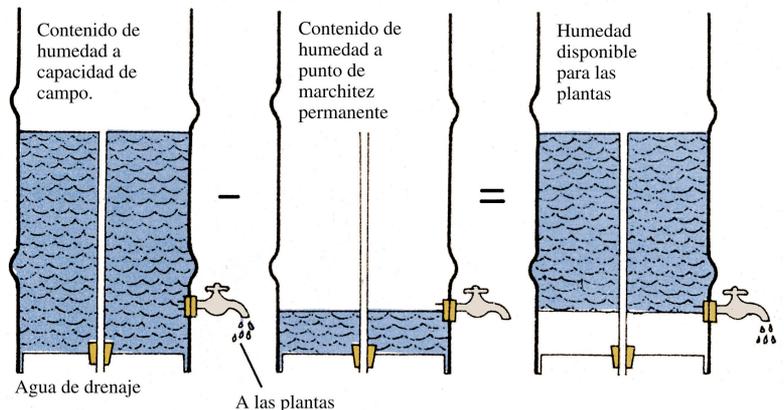
Al volumen de agua que queda en ese suelo después de haber drenado el agua de gravedad le llamamos **capacidad de campo (CC)**.

En ausencia de riegos y lluvia, el suelo va perdiendo humedad hasta alcanzar un punto por debajo del cual se produce la marchitez irreversible de las plantas. A ese límite del contenido de humedad en el suelo le conocemos como **punto de marchitez (PM)**.

Por lo tanto, podemos definir el **agua útil (AU)** como el volumen de agua que es capaz de almacenar un suelo y se encuentra plenamente a disponibilidad del cultivo.

$$AU = CC - PM$$

La dificultad de la planta para aprovechar este agua aumenta al acercarnos al punto de marchitez, por lo que, para evitar que el cultivo sufra estrés por este motivo, sólo se deja agotar un porcentaje (entre el 30 y el 65%) de este agua útil antes de volver a regar. Este esfuerzo se mide por la tensión con que está retenida el agua por el suelo. Las investigaciones realizadas por la Universidad Politécnica de Madrid han mostrado que el mayor rendimiento de la remolacha se alcanza cuando esta tensión, a una profundidad de 30 cm, no sobrepasa los 45 cb. Esta cifra equivale aproximadamente a agotar 35 mm del agua útil del suelo. En función del tipo de suelo supone agotar el 55 % del agua disponible en suelo arenoso, en tanto que en suelo arcilloso sería solamente el 10 % (ver tabla 9). Los suelos arcillosos con gran capacidad de almacenamiento también tienen un alto poder de retención. Los suelos arenosos,



con poca capacidad de almacenamiento tienen poco poder de retención. Las dosis de riego recomendadas para la zona norte y distintos tipos de suelo son las siguientes:

TIPO DE SUELO	DOSIS DE RIEGO (MM)
Arenoso	30
Franco- Arenoso	36
Franco- Limoso	42
Franco-arcillo Arenoso	44
Franco- Arcilloso	40
Arcilloso	38

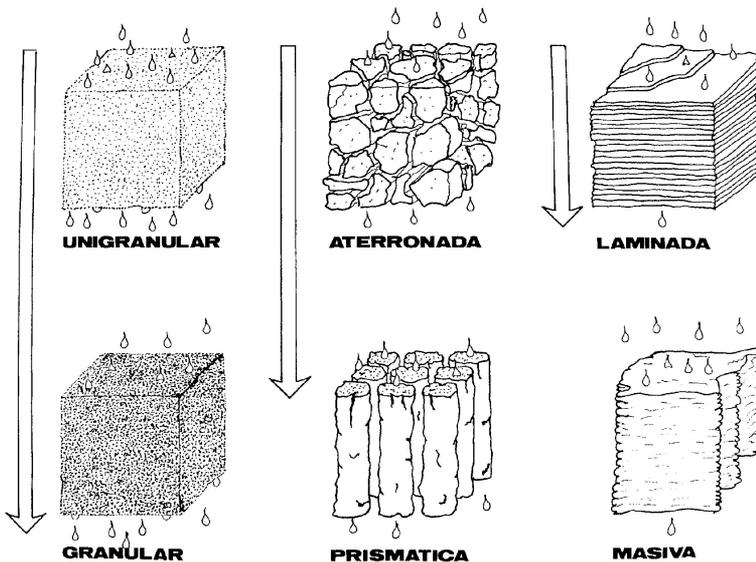
**Tabla nº 9:** Valores medios de la humedad en los suelos según texturas.

TEXTURA DEL SUELO	MM / M
Arenoso	62
Arenoso-franco	103
Arcillo-arenoso	136
Franco-arenoso	140
Franco-arcilloso	146
Franco	158
Arcillo-limoso y limo-arcilloso	177
Arcilloso	187
Limoso	192
Arcilloso fino	208

Encharcamiento del suelo causado por baja permeabilidad



La estructura del suelo condiciona su permeabilidad.



El agua que contiene el suelo está en continuo movimiento debido a fuerzas de gravedad, capilaridad y diferencias en las concentraciones de sales.

El agua que llega a la superficie del suelo penetra en él almacenándose en la zona de las raíces. Posteriormente, ese agua se va perdiendo por tres principales vías:

1. Absorción y transpiración de la planta.
2. Drenaje a zonas más profundas.
3. Evaporación en la superficie del suelo, hasta donde el agua asciende por capilaridad.

En relación con la movilidad del agua en el suelo, vamos a definir conceptos como

permeabilidad, infiltración, velocidad de infiltración y permeabilidad estabilizada:

A la facultad que posee un suelo para permitir el paso del agua a su través se le llama **permeabilidad**. Esta propiedad de los suelos depende del número de poros, de su tamaño y la continuidad de los mismos.

Al movimiento que experimenta el agua desde la superficie del suelo hacia abajo se le denomina **infiltración**. La cantidad de agua que se infiltra en el suelo por unidad de tiempo se conoce como **velocidad de infiltración**, que está directamente relacionada con la permeabilidad: a mayor permeabilidad mayor velocidad de infiltración.

Al comienzo del riego el agua penetra con rapidez en el suelo, pero la permeabilidad va disminuyendo progresivamente hasta que se estabiliza. El dato que más nos interesa de cara al riego es precisamente, el de la **permeabilidad estabilizada**, que no debe ser superada por la pluviometría del equipo de riego que estamos utilizando. En la capacidad de infiltración de un suelo influyen, además de la textura, la vegetación y la pendiente del terreno. En la tabla nº 10 se exponen los valores entre los que oscilan las velocidades de infiltración para las distintas texturas de suelo:

**Tabla nº 10:** Velocidades de infiltraciones según texturas

TEXTURA DEL SUELO	MM / H
Arenoso	12 - 25
Franco-arenoso	8 - 12
Franco	7 - 12
Franco-limoso	7 - 10
Franco-arcilloso	6 - 8
Arcilloso	2 - 5

Cuando la infiltración ha finalizado comienza un proceso que llamamos **redistribución** del agua en el suelo. Las capas superficiales son las que contienen inicialmente más humedad, que la van perdiendo en favor de otras más profundas hasta alcanzar cierto equilibrio. La redistribución del agua en el suelo es más o menos rápida dependiendo del tipo de suelo, de la profundidad inicial del suelo mojado y de la humedad de las capas más profundas, así como de la existencia

o no de estratos menos permeables.

**Programación de riego por el método de balance hídrico en remolacha**

El método consiste en realizar un balance de entradas y salidas de agua en el suelo que se puede resumir de la siguiente forma:

$$\text{Necesidades netas} = \text{riego} + \text{lluvia} - \text{ET} - \text{escorrentías} \pm \text{humedad del suelo}$$

Para la determinación de cada uno de estos componentes hay que partir de cierta información de los factores que influyen sobre los mismos, que pasamos a analizar a continuación:

- a. **Datos de suelo:** se analiza la capacidad de almacenamiento del suelo, definida por su intervalo de humedad disponible (en mm/m), que es función de la textura, principalmente.
- b. **Datos del cultivo:** es necesario conocer el estado del cultivo para calcular su ET a través del coeficiente de cultivo (Kc). Además, el estado vegetativo nos determina la profundidad radicular efectiva en un momento dado y se determina por la expresión:

$$Z_t = K_{ct} \cdot (Z_{m\acute{a}x} / K_{cm\acute{a}x})$$

Siendo:  
 Zt = profundidad radicular efectiva en un momento t.  
 Kct = coeficiente de cultivo en un momento t.  
 Zmáx = profundidad radicular máxima que alcanza el cultivo.  
 Kcmáx = valor máximo del coeficiente de cultivo.

La profundidad radicular efectiva es variable hasta alcanzar la profundidad máxima. En remolacha y en riego por aspersión el riego se calcula para una profundidad de 30 cm., aunque el desarrollo radicular se estima en 90 - 100 cm. Del cultivo también depende el Nivel de Agotamiento Permitido (NAP), que permite establecer el valor límite dentro del IHD (Intervalo de Humedad Disponible) que optimiza el desarrollo del cultivo sin limitaciones.

- c. **La precipitación:** en el cálculo del balance hay que tener en cuenta las precipitaciones que se producen, pues compensan la ET. Del total de la precipitación caída no toda ella es aprovechable, siendo necesario

calcular la precipitación efectiva mediante un factor de corrección que es función de la ET, del contenido de humedad del suelo, de la intensidad de la lluvia, velocidad de infiltración, etc.. El método más usado es el USDA, que corrige la precipitación en función de la intensidad de lluvia, la ET y el estado del suelo. Como factor general de corrección en esta zona suele usarse 0'8.

d. **Eficiencia de aplicación:** las necesidades calculadas por el método del balance hídrico son necesidades netas, pero el agricultor debe cubrir esas necesidades teniendo en cuenta que el sistema de riego tiene una eficiencia que depende del método de riego, del diseño, montaje y manejo, y de las condiciones de viento, humedad relativa, temperatura, etc.. Algunas de las eficiencias más utilizadas en remolacha son las que aparecen en la tabla nº 11.

**Tabla nº 11:** Eficiencia de los distintos sistemas de riego.

SISTEMAS DE RIEGO	EFICIENCIAS
SURCOS	0'40- 0'60
ASPERSIÓN	0'75 - 0'90
GOTEO	0'90 - 0'95

En riego por aspersión, con cobertura total se suele utilizar el coeficiente 0'8 como valor de eficiencia que permite una aplicación del riego aceptable.

### La programación de riego en el Plan de Asesoramiento de Riego

Desde 1995, el "PLAN 97 para la tecnificación del cultivo de la remolacha" (hoy "Plan 2002") está desarrollando un Plan de Asesoramiento de Riego (PAR) en diversas comarcas remolacheras con el propósito de optimizar el uso del agua de riego en este cultivo.

El asesoramiento sobre las necesidades de riego se está realizando en base a las recomendaciones de AIMCRA y de las Escuelas Superiores de Ingenieros Agrónomos de Madrid y Albacete.

El método de programación utilizado en el PAR es el del balance hídrico, calculando los consumos de agua del cultivo por medio del tanque evaporímetro de clase A, descrito anteriormente en este modelo de charla.

El PAR se inicia con la oportuna formación técnica de los agricultores con respecto al funcionamiento del método de programación que se va a llevar a cabo.

En cada zona de seguimiento del PAR existe un técnico que se encarga de determinar las necesidades de agua del cultivo y de transmitirles esta información a los agricultores vía prensa, tablón de anuncios, etc., con una periodicidad semanal. Estos técnicos se encuentran a disposición de los agricultores para atender cualquier consulta surgida sobre el método de riego y realizar evaluaciones de los equipos de riego por aspersión de sus zonas respectivas.

Siguiendo la programación de riego desarrollada en el PAR se consigue aplicar un volumen de riego óptimo para una producción máxima, con el consiguiente uso racional del preciado y escaso factor agua.

En las tablas 12 y 13 mostramos los modelos de estadillos utilizados en el PAR: por un lado el estadillo utilizado por los técnicos para el cálculo de necesidades de riego en base al tanque de clase A, y por otro el estadillo de balances utilizado por los agricultores para cada parcela de remolacha.

**Tabla nº 12:** estadillo utilizado por los técnicos del PAR para determinar los consumos de la remolacha.

DÍA	LECTURA ANTERIOR	LECTURA POSTERIOR	LLUVIA	ETT	KT	ETO	KC	ETC	ET

**Tabla nº 13:** estadillo utilizado por los agricultores en el PAR para seguir el balance de agua de cada una de sus parcelas de remolacha.

FECHA	NIVEL INICIAL	RIEGO	LLUVIA	CONSUMO	AGUA FACILMENTE DISPONIBLE

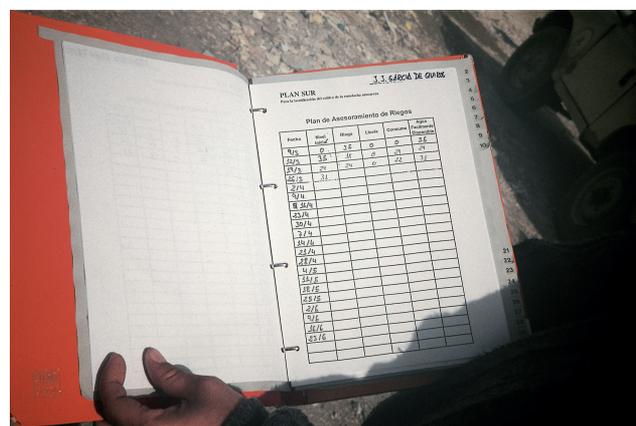
Asesoramiento de riego. Estadillo de anotación.

### Necesidades de riego de la remolacha

En la zona Norte se realizaron estudios de las necesidades de agua de la remolacha de siembra primaveral mediante la utilización del tanque evaporímetro para los meses de julio, agosto y septiembre con el método del balance hídrico. Según estos ensayos, las necesidades brutas de riego de la remolacha son los que se muestran en la tabla nº 14.

**Tabla nº 14:** Necesidades de riego bruto de la remolacha (tanque clase A)

PROVINCIA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
BURGOS	178	199	134	511
VALLADOLID	209	218	160	587



Divulgación de necesidades de riego para los agricultores.

Por otra parte, se ha realizado un estudio de las necesidades de riego netas con elaboración de calendarios de riego medios en base al método de balance hídrico, utilizando la fórmula de Penman-Monteith con los datos climatológicos del treintenio 1961-1990, para cada una de las provincias de las distintas zonas remolacheras. Los cálculos se han realizado para un año pluviométrico medio con dos fechas de siembra distintas.

Los cuadros con los calendarios de riego resultantes de este estudio se incluyen en el anexo nº 2.



### 2.3. RIEGOS DE NASCENCIA

En el momento de sembrar la remolacha es probable que dispongamos de un suelo en condiciones óptimas de humedad para producirse la germinación de las semillas y alcanzar la emergencia, pero no es lo habitual. Son más frecuentes las condiciones de escasez de lluvias que nos obliguen a realizar riegos de nascencia para poder conseguir una temprana implantación del cultivo con una óptima densidad de plantas.

En ausencia de lluvias, los riegos de nascencia se deben aplicar tanto en el caso de siembra sobre suelo totalmente seco como en condiciones de suelo parcialmente húmedo.

Las dosis a aplicar en un primer riego de nascencia van a depender de la textura del suelo y de su estado de humedad. En siembra de primavera, en el caso de suelo totalmente seco se deben aplicar 25 mm en suelo fuerte, y entorno a 20 mm en suelo ligero. Si estas cantidades se

aportan en dos riegos consecutivos con un intervalo menor a 8 días se obtiene el mismo efecto. En siembra de otoño la cantidad de agua a aplicar debe ser de 35 mm.

Con posterioridad a este primer riego, debemos aplicar una serie de riegos cortos (5-10 mm) y frecuentes hasta conseguir el mayor porcentaje de nascencia y la definitiva implantación del cultivo. En los suelos lastros, con problemas de estructura, la frecuencia de riegos puede llegar a ser incluso diaria, con el fin de evitar la formación de una gruesa costra que impida la germinación de las plántulas.

En los riegos de nascencia aplicados mediante un sistema de aspersores deben evitarse las presiones bajas debido a que en estos casos la distribución del agua se efectúa con gotas de gran tamaño que destruyen la estructura superficial del suelo favoreciendo así la formación de costra.

### 2.4. MANEJO DEL RIEGO: INICIO Y CORTE DE RIEGO

#### Zona Norte. (T/100 a T/107) (F/22)

En el periodo 1992/1995 AIMCRA ha realizado en la zona Norte remolachera una serie de ensayos encaminados a determinar cuáles son los momentos óptimos de iniciar el riego y de suspenderlo al final del ciclo para obtener la máxima producción.

Riego de nascencia.



#### a) Inicio del riego

El efecto en rendimiento del estrés hídrico producido al inicio del periodo de riego es función del estado de humedad del suelo, del tipo de textura, del estado del cultivo, del nivel de demanda evaporativa, etc. En general se parte de un suelo bien abastecido de humedad debido a las lluvias primaverales y/o riegos de nascencia e implantación. Partiendo de esta premisa, la respuesta al inicio del riego es diferente para un suelo ligero que para uno fuerte.

#### Inicio en suelo ligero

En suelo arenoso se producen pérdidas tanto en peso como en riqueza e IEA (Índice Económico Agricultor = Ingresos brutos en toneladas de 16°, gráfico nº 15) por el retraso en el inicio del riego con respecto a una situación óptima sin permitir que se agote el 50% del nivel de agua en el suelo (estrés nulo). Estas pérdidas se recogen en la tabla 15.

El ahorro de agua que se produce como consecuencia de retrasar el inicio del riego en suelo arenoso no compensa en ningún caso las pérdidas en el rendimiento final del cultivo. Se recomienda iniciar el riego 6-7 días después de la última lluvia fuerte o moderada, suficiente para asegurar un nivel de agua alto en el suelo. La dosis a aplicar en los primeros riegos dependerá, aparte de la textura, del estado de desarrollo de la remolacha.

**Inicio en suelo fuerte**

En los suelos arcillosos también se producen pérdidas en peso, riqueza e IEA (gráfico nº 16) como consecuencia del retraso del primer riego, aunque los plazos se alargan con respecto al suelo arenoso como consecuencia de la mayor capacidad de retención de agua por el suelo.

El ahorro de agua en el caso de suelos fuertes tampoco compensa las pérdidas producidas en recolección. En este caso se debe iniciar el riego 16 -17 días después de la última lluvia fuerte o moderada.

**b) Corte del riego**

Con el objeto de determinar el efecto en la producción de remolacha de la fecha del último riego y deducir el momento óptimo del mismo, así como su efecto sobre diferentes fechas de recolección, se han realizado una serie de ensayos cortando el riego en diferentes fechas, correspondiendo el corte más temprano a mediados de agosto, y realizando arranques en dos fechas distintas: primeros de octubre y primeros de noviembre.

**Corte en suelo ligero**

En suelo arenoso y para la recolección a primeros de octubre, al adelantar la fecha del último riego aumentan las pérdidas en peso y mejora la riqueza. El IEA óptimo se obtiene dando el último riego 16 días antes de la recolección. Las pérdidas respecto a la situación óptima se recogen en la tabla 17.

Para la recolección a primeros de noviembre el peso óptimo se obtiene dando el último riego 38 días antes de la recolección, y el IEA óptimo se obtiene regando por última vez 45 días antes de esta segunda fecha de recolección (gráfico nº 17). Al contrario que en la primera recolección, la riqueza disminuye a medida que se adelanta el último riego y se recolecta en noviembre.

**TABLA Nº 15**

DÍAS ENTRE ÚLTIMA LLUVIA Y PRIMER RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%)		
	PESO	RIQUEZA	IEA
13	4.3	0.9	6.1
20	10.2	1.7	12.4
30	19.5	2.8	22.7
40	30.9	4.0	34.7

**TABLA Nº 16**

DÍAS ENTRE ÚLTIMA LLUVIA Y PRIMER RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%)		
	PESO	RIQUEZA	IEA
30	7.8	0.5	8.0
40	16.3	1.6	17.4
50	24.4	2.6	27.1

**TABLA Nº17**

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%) 1ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	3.4	+1.4	0.4
1 SEPTIEMBRE	12.2	+2.8	6.7
15 AGOSTO	34.9	+4.4	28.2

(+) significa que la riqueza aumenta

Valorando el ahorro de agua, como con-



TABLA N° 18

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARENOSO. PÉRDIDAS (%) 2ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	4.6	-1.7	2.8
1 SEPTIEMBRE	13.0	-3.2	12.8
15 AGOSTO	34.4	-5.6	41.9

(-) significa que la riqueza disminuye

TABLA N° 19

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%) 1ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	1.2	+0.3	0.4
1 SEPTIEMBRE	7.2	+0.6	3.8
15 AGOSTO	26.2	+1.2	19.3

(+) significa que la riqueza aumenta

TABLA N° 20

FECHA DE ÚLTIMO RIEGO	SUELO ARCILLOSO. PÉRDIDAS (%) 2ª RECOLECCIÓN		
	PESO	RIQUEZA	IEA
15 SEPTIEMBRE	2.3	+0.1	0.4
1 SEPTIEMBRE	8.2	+0.5	4.5
15 AGOSTO	15.6	+0.9	15.5

(+) significa que la riqueza aumenta

secuencia del adelanto del último riego, con precios del agua entre 0 y 25 pesetas/m<sup>3</sup>, la fecha óptima del último riego se adelanta en unos 6 días (gráfico n° 17).

Entre las dos recolecciones existe una diferencia promedio de un 20% en IEA a favor de la segunda recolección.

### Corte en suelo fuerte

En suelo arcilloso, el IEA óptimo se obtiene dando el último riego 16 días antes de la recolección a primeros de octubre, y 50 días antes de la recolección a primeros de noviembre. Al adelantaren 15 días la fecha del último riego se produce una ligera reducción del peso, la riqueza aumenta levemente y el IEA se reduce también ligeramente (gráfico n° 18), tal como se aprecia en las tablas 19 y 20.

Al valorar el ahorro de agua entre 0 y 25 pesetas/m<sup>3</sup> se adelanta la fecha en que se obtiene el IEA óptimo unos 5 días (gráfico n° 18).

También en suelo arcilloso se comprueba que la segunda recolección produce un promedio del 20% más que la primera recolección.

## Zona Sur

### a) Inicio del riego

Existe una creencia generalizada entre los agricultores de que el estrés de agua debido a la ausencia de riego en el momento de la implantación del cultivo aumenta la profundidad radicular y hace





que el cultivo resista mejor un posible estrés hídrico posterior. Esta creencia es equivocada, habiéndose demostrado que un estrés hídrico temprano, no solamente no aumenta la longitud radicular, sino que incluso la reduce.

En la zona remolachera de siembra otoñal se realizaron pruebas de campo para determinar el momento óptimo de iniciar el riego en función del nivel de agotamiento del agua disponible en el suelo. Los resultados obtenidos se representan en el gráfico n° 19.

El rendimiento en peso y riqueza disminuye, pues, cuando se retrasa el primer riego, al igual que ocurría en la siembra primaveral. Se puede ver como con un 25 % de agua consumida (retrasar el primer riego a mitad de marzo, en estos años de ensayo, aunque en años posteriores ha sido necesario regar incluso en el mes de enero) se reduce el potencial de cosecha.

Respecto a esta respuesta del cultivo al retraso del primer riego, se han sugerido diversas teorías, entre las que destacan las siguientes:

- La época de mayor eficiencia fotosintética y el comienzo de la acumulación de azúcar (Cavazza, 1988).
- La reducción de la ET y como consecuencia el descenso de la superficie foliar y de la fotosíntesis (De Malach, 1981).
- Reducción del volumen radicular (Brown et al, 1987).

#### **b) Corte del riego**

Resultados de ensayos recientes realizados por AIMCRA en condiciones de siembra de otoño, han mostrado que en un cultivo adecuado, sano y suficientemente abastecido de agua, con una riqueza media de 16 °, el intervalo óptimo entre el último riego y la recolección no debe superar los 10 días (ver gráfico n° 20).

## 2.5. EVALUACION EN CAMPO DE UN SISTEMA DE RIEGO

Las técnicas de evaluación y manejo de un sistema de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra, energía, etc., así como una mejora en los rendimientos del cultivo.

La evaluación realizada en un conjunto de sistemas de riego puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema más adecuado a las condiciones de cada zona regable.

Para realizar los ensayos de evaluación debe seleccionarse previamente un lugar representativo de las condiciones medias

de la parcela y realizar el riego cuando el suelo se encuentre en unas condiciones de humedad similares a las que preceden a un riego normal.

En riego por aspersión, el ensayo de evaluación consiste básicamente en colocar una red de pluviómetros en el campo, entre dos líneas o ramales, y medir las principales variables que intervienen en el proceso de riego, como son el tipo de aspersor, diámetro de las boquillas, presión de trabajo, tiempo de riego, volumen de agua recogida en cada pluviómetro, marco de riego, disposición de los aspersores en el marco, dirección y velocidad del viento, etc. La distancia entre pluviómetros dentro de la red suele ser de 2 ó 3 m, con un tiempo de evaluación mínimo de una hora para aspersores de tipo medio.

Medición de caudal en un riego a pie.



### Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CUC)

Es el principal parámetro de los procedimientos de evaluación en campo, que nos muestra una representación estadística de la uniformidad de distribución, y es utilizado principalmente en los sistemas de riego por aspersión.

Se calcula mediante la expresión:

$$CUC (\%) = \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M \cdot n} \right) \cdot 100$$

Siendo:

M = valor medio del agua recogida en los pluviómetros.

n = número total de pluviómetros.

$\sum |d|$  = Suma de los valores absolutos de las desviaciones de cada pluviómetro respecto a la media.

Para la determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y de otros parámetros que caracterizan el reparto de agua en superficie, es necesario conocer los datos obtenidos en una red de pluviómetros bajo el campo de acción del sistema de aspersores.

La mayor parte de los cultivos extensivos de regadío requieren un valor mínimo de CUC = 80% en el sistema de aspersores para considerarlo aceptable. Valores bajos de CUC son indicadores normalmente de una incorrecta combinación del número y tamaño de boquillas, presión de trabajo y marco de riego. A continuación se detalla como realizar una evaluación de riego por cobertura o pivote.

## Evaluación de una cobertura de riego

### 1. Material necesario

- Manómetro de aguja de glicerina, graduado de 0 a 6 bar con un tubo de pitot acoplado.
- Cronómetro con una precisión de 1/100 segundos.
- Depósito de volumen conocido de 10 a 20 l.
- Dos mangueras flexibles de 20 mm y 2.5 m de longitud.
- De 50 a 100 pluviómetros.
- Probetas graduadas en unidades de  $1 \text{ cm}^3$ .
- Cintas métricas de 25 m y de 2 m.
- Calibre de precisión o juego de galgas para medir diámetros de las boquillas del aspersor.
- Veleta y anemómetro.

### 2. Pasos a realizar

- Ir con el material a la zona donde se va a realizar la evaluación
- Sin regar, comprobar las características de aspersores y boquillas de
- Toda la zona donde se va a realizar la evaluación (HOJA 1).
- Comprobar el marco de riego (HOJA 1).
- Elegir la zona de colocación de los pluviómetros.
  - Elegir la más desfavorable si se ve.
  - Elegir la más representativa (a 1/3 del ramal).
  - Si se puede, se hacen las dos.
- Bloquear los aspersores elegidos dirigiendo el chorro hacia fuera.
- Colocar los pluviómetros (el primero a 1.5 m del borde, los demás a 3 x 3).
- Empezar a regar.
- Cuando esté el riego estabilizado comprobar.
  - Presiones de los aspersores de la evaluación HOJA 1.
  - Caudal de los aspersores de la eva-

luación (2 veces). HOJA 1.

- Altura del portaaspersor. HOJA 1.

- Comprobar que ningún pluviómetro tiene agua y desbloquear aspersores controlando la hora. HOJA 1.
- Medir la velocidad y dirección del viento al inicio. HOJA 1.
- Bloquear los aspersores que mojan los pluviómetros y controlar el tiempo. Tiempo mínimo de la evaluación. 1 hora. HOJA 1.
- Comprobar la presión final de dichos aspersores. HOJA 1.
- Parar el riego.
- Medir el agua de los pluviómetros. HOJA 2.
  - Recoger el material.
  - Calcular el C.U.C. HOJA 2.
  - Calcular la pluviometría. HOJA 2.
  - Calcular la eficiencia. HOJA 2.

Red de pluviómetros para evaluar la uniformidad en una cobertura total





**HOJA 1**

**Evaluación de un sistema de riego por aspersión**

Fecha:.....  
 Aspersor: ..... Presión (kg/cm<sup>2</sup>): .....  
 Boquilla (mm):..... Caudal (l/h): .....  
 Hora comienzo: ..... Fin:..... Duración (min):.....  
 Viento (m/s) 1ª:..... Dirección del viento:.....  
                   2ª:.....  
                   3ª:..... Pluviómetros espaciamento: 3 x 3  
                   media: ..... Pluviómetros área:.....m<sup>2</sup>  
   12 x 12           12 x 15           12 x 18  
 Coeficiente uniformidad:.....  
 Pluviometría del sistema: .....  
 Pluviometría media recogida: .....  
 Eficiencia del sistema: (*agua recogida / agua aplicada, media pluviómetros*)




Observaciones: .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

## Evaluación de pivote

### Antes de poner en funcionamiento el pivote:

1. Rellenar los datos de la ficha de evaluación, aprovechando que hemos tenido que buscar al agricultor para que nos muestre el pivote.
2. Visualización previa del pivote. Contaremos el número de torres que tiene, para identificar el 25% de la longitud total del pivote, ya que va a ser la zona que no se va a evaluar debido a que en los pivots circulares esa zona representa una mínima superficie (6% de la superficie regada) y como tarda mucho en pasar, retrasaría de forma importante la evaluación.
3. Colocación de 2 filas paralelas de pluviómetros, separadas entre sí 1 ó 2 metros. De esta forma tenemos la posibilidad de realizar dos evaluaciones al mismo tiempo y además, en caso de que algún pluviómetro resulte nulo, contamos con el que está a su lado para tener la información sobre ese punto del pivote. Las dos filas de pluviómetros se colocarán siguiendo el radio del círculo que describe el pivote, pudiendo ir acercando los pluviómetros hacia el pivote a medida que nos separamos del centro del pivote (siempre siguiendo el radio). La separación entre los pluviómetros va a ser de 4 metros en el caso de que el pivote tenga difusores, o de 5 metros si tiene aspersores.

A la vez que se van colocando los pluviómetros se van midiendo las torres que le componen y así sabremos la longitud exacta del pivote.

### Con el pivote en funcionamiento:

4. Mirar la velocidad de la torre exterior. Pasos:
  - Se clavará una estaca paralela a la dirección de la última torre. Este será el punto de referencia que nos marca el inicio del cronometraje.
  - Se toma como referencia el punto central del eje de la rueda y a su paso por la estaca se comienza a cronometrar.
  - Con el pivote en marcha, se clavará una segunda estaca a unos 10 metros de la primera, y cuando pase el punto de referencia (punto central del eje de la rueda) por la segunda estaca, se parará el cronómetro. Si por alguna causa la distancia es mayor, saber que tendremos un margen de error mayor.
  - Se mide la distancia lineal entre las dos estacas. Esta distancia será algo menor que la recorrida por la torre, ya que describe un círculo, y por ello cuanto más la dejemos avanzar, mayor será el error.
  - Posteriormente se dividen los metros recorridos por el pivote entre los minutos que ha tardado, y obtendremos la velocidad del pivote expresada en m/min. Esta velocidad hace referencia al porcentaje que marca la marcha del pivote.

Evaluación de uniformidad en un pivote.



5. Mirar las presiones del equipo:

- Cabecera
- Primera torre
- Torre intermedia
- Última torre

Para ello hay que subirse a las torres del pivot y con un manómetro se mira la presión del aspersor más cercano. Si son difusores se apartará el elemento que dispersa el agua (empujándolo con cuidado) y se introduce el manómetro para mirar la presión. Para no perder tiempo y mientras el pivot sigue pasando por encima de los pluviómetros, se siguen tomando datos:

6. Croquis de la parcela, indicando la situación en que se encuentra el pivot cuando se está realizando la evaluación.

7. Meteorología del día de la evaluación:

- Viento: se tomará 3 veces a lo largo de la evaluación, como mínimo. En cada toma se calculará la media de diez medidas consecutivas de viento.
- También se anotarán otros factores que pudieran afectar a la evaluación, como puede ser lluvia y otros elementos.

8. Cálculo de la superficie regada por el pivot (si no la conoce el agricultor). Para ello debemos haber medido antes la longitud total del pivot, incluyendo el alcance del cañón si es que lo tiene.



9. Cuando el pivote ya no moja los pluviómetros:

Medición de la presión en un emisor en un pivote.

10. Se comienza a recoger los pluviómetros de fuera hacia dentro, para dar tiempo al pivot a pasar sobre los pluviómetros centrales. A la vez que se recogen, se va anotando el contenido de cada pluviómetro dentro del estadillo, en la casilla correspondiente a la distancia que separa el pluviómetro del centro del pivot.

11. Cálculos según la ficha de evaluación:

El cálculo principal es el coeficiente de uniformidad que se deduce de la fórmula siguiente:

$$CU = [1 - \sum D_i [ P_1 - \sum P_i D_i / \sum D_i ] / \sum P_i D_i ] * 100$$

Donde:

P1 es la pluviometría recogida en cada pluviómetro.  
D1 es la distancia que separa cada pluviómetro del centro del pivot.

Lo que pretende esta fórmula al multiplicar P<sub>1</sub> por D<sub>1</sub> es dar a cada pluviómetro la importancia que tiene según su posición respecto al centro del pivot, ya que cuanto más nos alejamos del centro, mayor superficie regada representa. Por esto, la influencia de cada pluviómetro en el resultado final, es proporcional a la distancia que le separa del centro del Pivot.

Otros cálculos que se realizan son:

- Tiempo de revolución, de acuerdo con la velocidad que nosotros hemos medido.
- Pluviometría teórica.
- Pluviometría real.

**FICHA DE EVALUACIÓN DE UN PIVOT**

Evaluación N°:

**Datos generales:**

1º Evaluadores: .....

2º Fecha de la evaluación: \_\_\_/\_\_\_/2\_\_\_

Hora de comienzo: \_\_\_/\_\_\_ h

3º Propietario: .....

Población: .....

Finca: .....

Nombre de la parcela: .....

Polígono: .....

Parcela: .....

Identificación del pivot: .....

**Datos del sistema de riego:**

1º Tipo de bomba impulsora: (nombre) .....

2º Tipo de pivot (circular, frontal, sectorial, multicentro): .....

-Marca: .....

-Número de torres: .....

-Longitud del equipo (torres + voladizo): ..... m

-Longitud entre torres: ..... m

-Longitud del voladizo: ..... m

-Alcance del cañón: ..... m

-Longitud total (torres + voladizo + cañón): ..... m

-Torres de emisores (aspersor o difusor): ..... m

-Diámetro de la tubería: ..... mm

-Caudal aplicado (dotación): ..... Litros

-Observaciones: .....

3º Superficie regada (cuidado con los sectoriales): ..... ha

4º Presiones

Presión en la bomba: ..... atm

Presión en la cabecera del pivot: ..... atm

Presión en la torre: ..... atm

Presión en la torre intermedia: ..... atm

Torre n°: .....

Presión en la última torre: ..... atm

Meteorología: .....

1º Viento: .....

Inicio: ..... m/s

Intermedio: ..... m/s

Final: ..... m/s

Media: ..... m/s

2º Observaciones: .....

**Croquis de la parcela:**

**Velocidad de la torre exterior:**

-Funcionando al: .....%  
 -....., ..... m/min

**Tiempo de revolución**

(tiempo de tarda en recorrer la zona de riego)  
 .....min

**Resultados**

Coefficiente de uniformidad:

-Sin cañón:

Vol. 1: ....., ..... %

Vol. 2: ....., ..... %

Media: ....., ..... %

-Con cañón:

Vol. 1: ....., ..... %

Vol. 2: ....., ..... %

Media: ....., ..... %

-Pluviometría media:

Teórica: ....., ..... Litros

Práctica: ....., ..... Litros

## IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN

POS	DIST	VOL1	VOL2												
1				51				101				151			
2				52				102				152			
3				53				103				153			
4				54				104				154			
5				55				105				155			
6				56				106				156			
7				57				107				157			
8				58				108				158			
9				59				109				159			
10				60				110				160			
11				61				111				161			
12				62				112				162			
13				63				113				163			
14				64				114				164			
15				65				115				165			
16				66				116				166			
17				67				117				167			
18				68				118				168			
19				69				119				169			
20				70				120				170			
21				71				121				171			
22				72				122				172			
23				73				123				173			
24				74				124				174			
25				75				125				175			
26				76				126				176			
27				77				127				177			
28				78				128				178			
29				79				129				179			
30				80				130				180			
31				81				131				181			
32				82				132				182			
33				83				133				183			
34				84				134				184			
35				85				135				185			
36				86				136				186			
37				87				137				187			
38				88				138				188			
39				89				139				189			
40				90				140				190			
41				91				141				191			
42				92				142				192			
43				93				143				193			
44				94				144				194			
45				95				145				195			
46				96				146				196			
47				97				147				197			
48				98				148				198			
49				99				149				199			
50				100				150				200			

**FICHA DEL PIVOT**

**Datos generales**

Agricultor: .....

Polígono: .....

Parcela: .....

Nombre de la parcela: .....

Identificación del pivot: .....

-Aspersores:..... Difusores:.....

-Número de torres: .....

-Aleros:..... longitud:..... m

-Cañón:..... alcance:..... m

**VIENTO**

-Media: ....., ..... m/s

**PRESIÓN**

-Bomba: ....., ..... atm

-Cabecera: ....., ..... atm

-Primera torre:....., ..... atm

-Torre intermedia:....., ..... atm

Torre N°: .....

-Última torre:....., ..... atm

**PLUVIOMETRÍA**

- Funcionando al: ..... %

- Pluviometría:.....Litros

**COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU medio)**

- Sin cañón: ....., ..... %

- Con cañón: ....., ..... %

## 2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMCRA: Memorias de los trabajos efectuados en las campañas 1991 – 1996.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1976): “Las necesidades de agua de los Cultivos”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 24. Pág. 194.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. (1979): “Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 33. Pág. 211.

MARTÍN DE SANTA OLALLA MAÑAS, F.; DE JUAN VALERO, J.A. (1993) “Agronomía del Riego”. Ed. Mundi-Prensa y la Universidad de Castilla-La Mancha. Pág. 732.

MARTÍNEZ DÍEZ, J.C. (1996): “Riegos de nascencia en el cultivo de la remolacha”. Riegos y Drenajes XXI n° 87. Pág. 39-41.

MORILLO-VELARDE, R.; VELICIA, H.; MARTÍNEZ, J.C. (1997): “Datos del cultivo de la remolacha azucarera en España para CROPWAT”. Riegos y Drenajes XXI n° 94. Pág. 64-68.

MORILLO-VELARDE, R. (1991); “Respuesta de la remolacha de siembra otoñal al riego”. Tesis doctoral.

VELICIA, H. (1998); “Efectos del estrés hídrico sobre la producción y calidad de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) de siembra primaveral en diferentes momentos del cultivo en las condiciones de la cuenca del Duero”. Tesis doctoral.

Revistas “AIMCRA” n° 44 (marzo 95) y n° 49 (enero 96).

SMITH, M. (1993): “CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego”. Estudio FAO de Riego y Drenaje n° 46. Pág. 133.

## ANEJOS

1. Tabla resumen de las propiedades físicas del suelo.

2. Calendarios medios de riego neto para las distintas provincias.

### Siembra primaveral

- Siembra temprana: antes del 15 de marzo.
- Siembra tardía: después del 15 de marzo.

### Siembra otoñal

- Siembra temprana: antes del 30 de octubre.
- Siembra tardía: después del 30 de octubre.

TABLA RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Textura del suelo	Infiltración <sup>1</sup> y permeabilidad (mm/h) $I_t$	Total espacio poroso % $W$	Peso específico aparente $A_s$	Capacidad de campo % $FC$	Marchitez permanente % $PW$	Humedad total utilizable (RU)			Humedad fácilmente utilizable <sup>2</sup> (RFU) mm/m
						Peso seco % $P_w = FC - PW$	Volumen % $P_v = P_w \cdot A_s$	mm/m $d = \frac{P_s \cdot A_s \cdot D}{100}$	
<b>Arenoso</b>	<b>50</b> (25 - 255)	<b>38</b> (32 - 42)	<b>1,65</b> (1,55 - 1,80)	<b>9</b> (6 - 12)	<b>4</b> (2 - 6)	<b>5</b> (4 - 6)	<b>8</b> (6 - 10)	<b>80</b> (70 - 100)	<b>60</b>
<b>Franco-arenoso</b>	<b>25</b> (13 - 76)	<b>43</b> (40 - 47)	<b>1,50</b> (1,40 - 1,60)	<b>14</b> (10 - 18)	<b>6</b> (4 - 8)	<b>8</b> (6 - 10)	<b>12</b> (9 - 15)	<b>120</b> (90 - 150)	<b>90</b>
<b>Franco</b>	<b>13</b> (8 - 20)	<b>47</b> (43 - 49)	<b>1,40</b> (1,35 - 1,50)	<b>22</b> (18 - 26)	<b>10</b> (8 - 12)	<b>12</b> (10 - 14)	<b>17</b> (14 - 20)	<b>170</b> (140 - 190)	<b>127</b>
<b>Franco-arcilloso</b>	<b>8</b> (2,5 - 15)	<b>49</b> (47 - 51)	<b>1,35</b> (1,30 - 1,50)	<b>27</b> (23 - 31)	<b>13</b> (11 - 15)	<b>14</b> (12 - 16)	<b>19</b> (16 - 22)	<b>190</b> (170 - 220)	<b>142</b>
<b>Arcillo-arenoso</b>	<b>2,5</b> (0,3 - 5)	<b>51</b> (49 - 53)	<b>1,30</b> (1,25 - 1,35)	<b>31</b> (27 - 35)	<b>15</b> (13 - 17)	<b>16</b> (14 - 18)	<b>21</b> (18 - 23)	<b>210</b> (180 - 230)	<b>157</b>
<b>Arcilloso</b>	<b>5</b> (0,1 - 1)	<b>53</b> (51 - 55)	<b>1,25</b> (1,20 - 1,30)	<b>35</b> (31 - 39)	<b>17</b> (15 - 19)	<b>18</b> (16 - 20)	<b>23</b> (20 - 25)	<b>230</b> (200 - 250)	<b>172</b>

Nota: Los intervalos normales son consignados entre paréntesis.

1. Los intervalos de infiltración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso más aún de lo indicado en esta columna.
2. La humedad fácilmente utilizable (RFU) representa un 75% de la totalmente utilizable (RU).

**CALENDARIOS MEDIOS DE RIEGO NETO**
**PROVINCIA DE ÁVILA**

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	9	1	13	1	35
<b>TOTALES</b>	<b>19</b>	<b>509</b>	<b>14</b>	<b>509</b>	<b>13</b>	<b>509</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	3	29	1	40	1	40
	—	—	1	28	1	37
<b>TOTALES</b>	<b>19</b>	<b>489</b>	<b>14</b>	<b>492</b>	<b>13</b>	<b>492</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

## PROVINCIA DE BURGOS

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	3	27	2	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	27	1	38	1	38
	1	20	—	—	—	—
<b>TOTALES</b>	<b>14</b>	<b>398</b>	<b>10</b>	<b>394</b>	<b>10</b>	<b>398</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	4	29	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	1	11	1	22	1	35
<b>TOTALES</b>	<b>15</b>	<b>389</b>	<b>11</b>	<b>389</b>	<b>10</b>	<b>389</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

**PROVINCIA DE LEÓN**

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	2	40
JULIO	5	30	3	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	12	—	—	1	29
<b>TOTALES</b>	<b>17</b>	<b>463</b>	<b>12</b>	<b>458</b>	<b>12</b>	<b>463</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	29	1	40	1	40
	1	26	1	22	1	31
<b>TOTALES</b>	<b>17</b>	<b>446</b>	<b>13</b>	<b>446</b>	<b>12</b>	<b>446</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

## PROVINCIA DE PALENCIA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	13	1	25	1	9
<b>TOTALES</b>	<b>18</b>	<b>483</b>	<b>13</b>	<b>483</b>	<b>8</b>	<b>483</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	1	40
	1	20	—	—	1	13
<b>TOTALES</b>	<b>18</b>	<b>468</b>	<b>13</b>	<b>464</b>	<b>13</b>	<b>468</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

**PROVINCIA DE SALAMANCA**

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	22	1	16	1	38
<b>TOTALES</b>	<b>20</b>	<b>552</b>	<b>15</b>	<b>552</b>	<b>14</b>	<b>552</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	4	29	3	37
JULIO	7	29	4	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	—	—	1	30	1	31
<b>TOTALES</b>	<b>20</b>	<b>519</b>	<b>15</b>	<b>523</b>	<b>14</b>	<b>523</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

## PROVINCIA DE SEGOVIA

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	2	38	2	40
JULIO	5	30	4	40	4	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	—	—	1	32	1	18
<b>TOTALES</b>	<b>17</b>	<b>451</b>	<b>12</b>	<b>452</b>	<b>12</b>	<b>452</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	3	40	4	40
AGOSTO	4	30	4	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	29	1	40	1	40
	1	17	1	12	1	21
<b>TOTALES</b>	<b>17</b>	<b>436</b>	<b>13</b>	<b>436</b>	<b>12</b>	<b>436</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

**PROVINCIA DE SORIA**

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	—	—	—	—	—	—
JUNIO	3	27	2	38	2	40
JULIO	4	30	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	2	27	2	38	1	40
	1	20	—	—	1	35
<b>TOTALES</b>	<b>14</b>	<b>395</b>	<b>10</b>	<b>392</b>	<b>10</b>	<b>395</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	1	12	1	17	1	21
JUNIO	4	21	3	29	2	37
JULIO	5	29	3	40	3	40
AGOSTO	4	30	3	40	3	40
SEPTIEMBRE	1	29	1	40	1	40
	1	20	1	26	1	35
<b>TOTALES</b>	<b>16</b>	<b>410</b>	<b>12</b>	<b>410</b>	<b>11</b>	<b>410</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

## PROVINCIA DE VALLADOLID

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	5	40	4	40
AGOSTO	5	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	3	27	1	38	2	40
	1	10	1	29	1	13
<b>TOTALES</b>	<b>21</b>	<b>567</b>	<b>15</b>	<b>567</b>	<b>15</b>	<b>567</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	5	21	4	29	3	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	2	40
	1	10	1	18	1	19
<b>TOTALES</b>	<b>22</b>	<b>551</b>	<b>16</b>	<b>551</b>	<b>15</b>	<b>551</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

**PROVINCIA DE ZAMORA**

Siembra temprana*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	19	1	26	1	34
JUNIO	4	27	3	38	3	40
JULIO	6	30	5	40	5	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	27	1	38	1	40
	1	13	1	35	1	19
<b>TOTALES</b>	<b>21</b>	<b>573</b>	<b>15</b>	<b>573</b>	<b>15</b>	<b>573</b>

\*Antes del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas

Siembra tardía*	TIPO DE SUELO: INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE (mm/m.)					
	100		140		180	
MES	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta	N.º riegos	Dosis neta
MAYO**	2	12	1	17	1	21
JUNIO	5	21	4	29	3	37
JULIO	6	29	4	40	4	40
AGOSTO	6	30	4	40	4	40
SEPTIEMBRE	2	29	2	40	2	40
	1	14	1	22	1	23
<b>TOTALES</b>	<b>22</b>	<b>555</b>	<b>16</b>	<b>555</b>	<b>15</b>	<b>555</b>

\*Después del 15 de marzo

\*\*Sólo dos decenas



**Unión Europea**  
Fondo Europeo Agrícola  
de Desarrollo Rural  
*Europa invierte en las zonas rurales*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN



**PNDR**  
Programa Nacional  
de Desarrollo Rural  
2014-2020

## EFFIREM

Reducción del coste energético del riego en remolacha  
mediante eficiencia energética y reducción del  
consumo de agua

### Actuación cofinanciada por la Unión Europea



**Unión Europea**  
Fondo Europeo Agrícola  
de Desarrollo Rural

*Europa invierte en las zonas rurales*

#### INVERSIÓN:

Coste total . . . . .	585.366,20 €
Ayuda . . . . .	540.166,20 €
Cofinanciación UE . . . . .	80 %