



Curso de riego para agricultores



Proyecto de autogestión del agua en la agricultura



Curso de riego para agricultores

Proyecto de autogestión del agua en la agricultura

Coordinación: Alberto F. Lop y Celsa Peiteado de WWF/Adena, y Vicente Bodas de Aliara

Fotografías: Vicente Bodas, WWF/Alberto F. Lop y WWF/Miguel A. Valladares

Edición: Jorge Bartolomé e Isaac Vega

Diseño: Amalia Maroto

Impresión: Artes Gráficas Palermo, S.L.

Impreso en papel 100% reciclado.

Marzo 2005

Depósito Legal:

WWF/Adena agradece la reproducción y divulgación de los contenidos de esta publicación (a excepción de las fotografías, propiedad de los autores) en cualquier tipo de medio, siempre y cuando se cite expresamente la fuente.

Unidad Didáctica 1

Conceptos básicos.....	3
1. El agua y las plantas	3
1.1. Funciones del agua en las plantas.....	3
1.2. Eficiencia en el uso del agua	3
1.3. Capacidad de las plantas para extraer agua del suelo.....	4
1.4. Adaptación y respuesta de las plantas a la escasez de agua.....	5
1.5. Momentos críticos en el ciclo de los cultivos	5
2. El agua y el suelo	5
2.1. Capacidad del suelo para almacenar agua.....	5
2.2. Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas	6
2.3. Otros conceptos sobre el suelo.....	7
2.4. Perfil del suelo.....	8

Unidad Didáctica 2

Técnicas de riego.....	9
1. Conceptos previos.....	9
1.1. Uniformidad de aplicación	9
1.2. Eficiencia de aplicación	9
2. Sistemas de riego.....	10
2.1. Riego por aspersión.....	10
2.2. Riego localizado.....	12

Unidad Didáctica 3

Buenas prácticas en el riego.....	15
1. Concepto de buenas prácticas agrarias	15
2. Buenas prácticas de riego.....	15
2.1. Cálculo de las necesidades.....	15
2.2. Dosis y frecuencia de riego.....	16
2.3. Condiciones de aplicación	16
2.4. Cuaderno de registro de riego.....	17
3. Mantenimiento de instalaciones	17

Unidad Didáctica 4

Asesoramiento en las decisiones de riego.....	19
1. Introducción a los métodos existentes.....	19
1.1. Métodos indirectos	19
1.2. Métodos directos	20
2. Servicios de asesoramiento al regante.....	21
3. Creación de un servicio propio de ámbito local (cooperativa o comunidad de regantes).....	22

Unidad Didáctica 5

Nuevas tecnologías	24
1. Mecanismos de control de variables que inciden en las necesidades de riego: clima-suelo-planta	24
2. Utilización de imágenes satélite	24
3. Herramientas del proyecto Life HAGAR.....	24
3.1. Sistema de Asesoramiento en Riego.....	24
3.2. Herramienta de autogestión para comunidades de regantes	26

Unidad Didáctica 6

Los nuevos retos de la PAC	27
1. Nuevos retos de la PAC: calidad y medio ambiente.....	27
1.1. Trazabilidad	28
1.2. Ayudas desacopladas y condicionalidad	28
1.3. Ayudas agroambientales.....	29
2. La política europea del agua y el regadío	29

Páginas web de interés.....	31
-----------------------------	----

1. El agua y las plantas

1.1. Funciones del agua en las plantas

En las plantas, como en el resto de seres vivos, el agua desempeña una serie de funciones esenciales sin las cuales no sería posible la vida tal y como la conocemos:

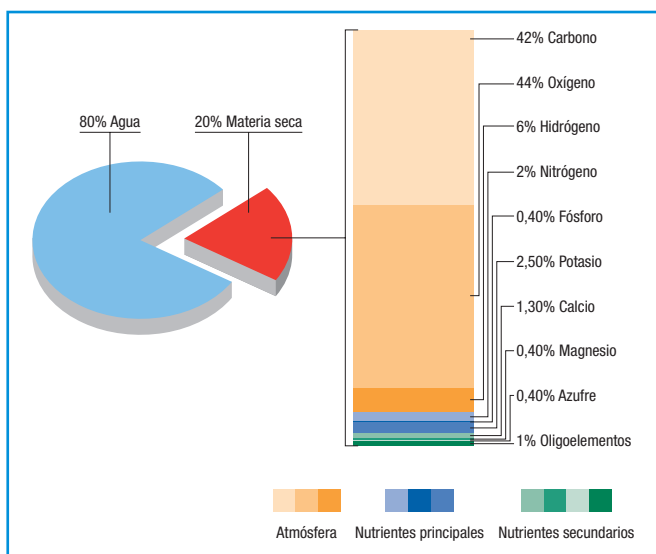
1. Agua de constitución y sostén: aproximadamente el 80% de una planta es agua, denominándose genéricamente al resto de sus componentes materia seca (*figura 1.1*). Esta cantidad de agua es imprescindible para que las plantas mantengan su estructura. Cuando, por la razón que sea, las plantas pierden más agua de la que pueden absorber, se marchitan y todos sus procesos vitales se ven alterados.

2. Transporte: la capacidad del agua para disolver numerosas sustancias le permite actuar como vehículo para el transporte de los nutrientes minerales desde el suelo a los órganos fotosintéticos de las plantas y, a su vez, redistribuir las sustancias elaboradas en las hojas por el resto de la planta. Lo que se conoce como *savia* no es más que agua con diversas sustancias disueltas.

3. Transpiración y refrigeración: al igual que ocurre en las máquinas inventadas por el hombre, las plantas necesitan para su correcto funcionamiento mantenerse dentro de un intervalo de temperaturas. Cuando ésta sube, las plantas liberan agua por los estomas de las hojas (pequeños orificios en la epidermis), que al evaporarse absorbe calor, consiguiendo finalmente regular la temperatura de la planta (*figura 1.2*).

La pérdida de agua desde las hojas de las plantas se denomina transpiración. Para controlarla, cuentan con la apertura y el cierre de los estomas de las hojas. Pero la transpiración

Figura 1.1. Constituyentes de las plantas



es un fenómeno intrínseco a la naturaleza de los vegetales e inevitable, al menos, por los siguientes motivos:

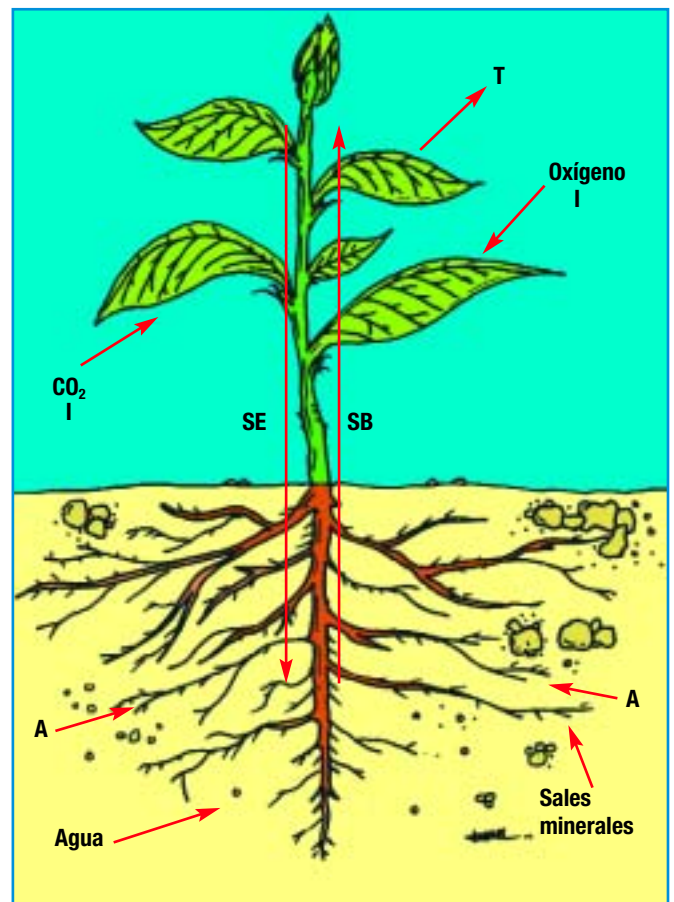
1. Como las plantas necesitan intercambiar oxígeno y anhídrido carbónico con la atmósfera, los estomas no puedan estar cerrados durante largos períodos de tiempo y, por tanto, las plantas están expuestas a perder agua.

2. La evaporación de agua desde las hojas actúa como una *bomba de extracción*. Sin ella, la capacidad de las raíces de una planta para absorber agua sería muy limitada y tanto la captación como la circulación de nutrientes se verían afectadas.

1.2. Eficiencia en el uso del agua

A tenor de lo comentado en el apartado anterior, una masa de vegetación (bosque, pradera, cultivo...) se asemejaría a una fábrica que necesita agua para su funcionamiento, la cual estaría en constante circulación. Por ejemplo, del total de agua que puede consumir un buen cultivo de trigo (unos 400 mm = 4 millones de litros por hectárea) en un día cualquiera

Figura 1.2. Funciones del agua en las plantas



A: Absorción de H₂O y sales minerales. **T:** Transpiración. **I:** Intercambio gaseoso. **SB:** Savia bruta. **SE:** Savia elaborada.

UD 1. Conceptos básicos

de su momento de máximo desarrollo vegetativo, el agua contenida en las plantas sería sólo de unos 4 mm (40.000 litros por hectárea), es decir, sólo el 1%.

Queda claro que las plantas no acumulan el agua, la emplean para poder vivir y producir, pero no todas las especies tienen la misma habilidad para aprovecharla.

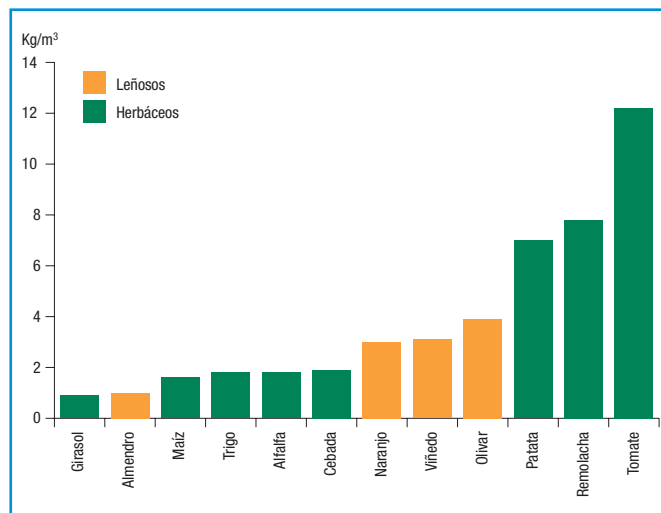
Desde un punto de vista agrícola, se llama *eficiencia en el uso del agua* a la capacidad que tiene una planta de producir cosecha por cada unidad de agua consumida. Las diferencias entre cultivos son muy llamativas. En la figura 1.3 se recogen algunos ejemplos de la capacidad de producir kilos de cosecha aprovechable para el hombre por cada 1.000 litros de agua consumida.

Existen especies de plantas adaptadas a vivir en los más diversos ambientes y, como consecuencia de ello, han desarrollado diversos mecanismos para gestionar la abundancia o escasez de agua. Es importante no confundir la eficiencia en el uso del agua con la capacidad de las distintas especies de adaptarse a condiciones de escasez de agua. Como se deduce de los datos de la figura 1.3, algunos de los cultivos más eficientes en el uso de agua, como la patata o la remolacha, no prosperarían de forma adecuada en condiciones de sequía. Por el contrario, cultivos adaptados a sobrevivir con poca agua, como el almendro o la vid, no son los más eficientes en el uso del agua.

1.3. Capacidad de las plantas para extraer agua del suelo

El suelo, por su facultad para retener agua, se asemeja a un depósito del cual las plantas se van nutriendo en función de sus necesidades (*ver apartado 2*). Pero no se suele encontrar

Figura 1.3. Producción de cosecha por metro cúbico de agua consumida



ni homogéneamente distribuida ni libremente disponible. Para poder absorberla las raíces deben:

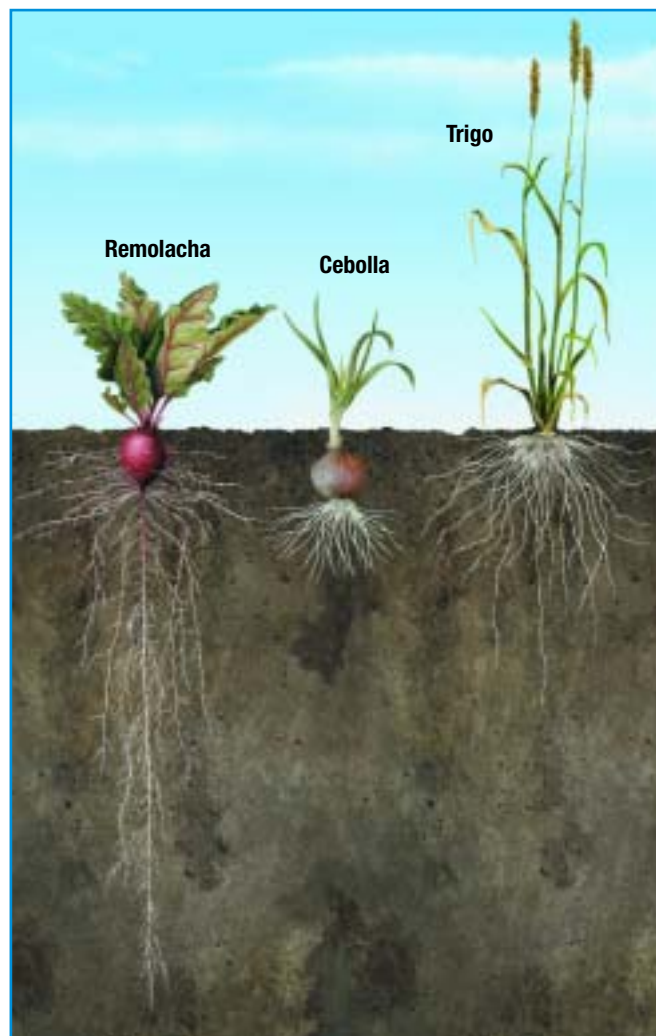
1. Localizar el agua.
2. Hacer un esfuerzo de succión para extraerla de los poros del suelo.

No todas las plantas tienen la misma habilidad para realizar estas dos tareas:

1. En primer lugar, existen diferencias importantes entre la capacidad de las raíces para explorar el suelo: las raíces poco densas de una cebolla rara vez llegan más allá de 30 cm, mientras que una remolacha con raíces muy ramificadas puede llegar a varios metros de profundidad (*figura 1.4*).

2. Adicionalmente, el esfuerzo necesario para succionar el agua no repercute de igual forma en la productividad de la planta. Cuando el agua es abundante la presión de succión necesaria para tomarlo es baja (0,3 atmósferas), pero a medida que se agota el agua esta presión va aumentando. Cuando al-

Figura 1.4. Algunos tipos de sistemas radiculares de plantas cultivadas



canza entre 1 y 2 atmósferas, para algunas plantas como el melón o el pimiento el esfuerzo es muy grande, haciéndoles padecer y disminuir su capacidad productiva, en tanto que otras, como la cebada o la vid, pueden soportarlo sin mayores problemas.

1.4. Adaptación y respuesta de las plantas a la escasez de agua

Las plantas de climas secos han desarrollado adaptaciones que les permiten afrontar los períodos de escasez de agua en la naturaleza. Estas adaptaciones pueden encuadrarse en tres grandes grupos:

1. Adaptaciones morfológicas. Cambios en su constitución tendente a reducir las pérdidas o a acumular agua:

- Epidermis de la hoja gruesa y coriácea.
- Hojas abarquilladas o con abundantes pelos que permiten crear un microclima con más humedad relativa.
- Reducción del tamaño de las hojas, e incluso desaparición y sustitución por espinas.
- Tallos suculentos donde se almacena agua.

2. Adaptaciones fisiológicas. Cambios en su funcionamiento, como:

- Cierre prolongado de los estomas.
- Marchitez y pérdida de las partes viejas o poco útiles para la reproducción.

3. Adaptaciones fenológicas. Modificaciones en su ciclo de vida para aumentar sus posibilidades de supervivencia:

- Producción de semillas con germinación escalonada.
- Ciclos de desarrollo muy cortos.

Todas estas adaptaciones tienen como fin primordial perpetuar la especie, aun en detrimento de su capacidad productiva. Pero el hombre, al seleccionar las plantas que cultiva (básicamente por su capacidad para dar cosechas estables y abundantes) ha ido en dirección contraria, por lo que estos sistemas de protección frente a la falta de agua no suelen presentarse en las variedades usualmente cultivadas. Si añadimos el hecho de que muchos de los cultivos están fuera de su ambiente natural, se entiende fácilmente que los cultivos agrícolas son mucho más sensibles a la falta de agua que sus ancestros silvestres.

1.5. Momentos críticos en el ciclo de los cultivos

La respuesta directa de cualquier cultivo a la falta de agua puede ser una disminución de su rendimiento. Ahora bien, la falta de agua no incide de igual manera en las diferen-

tes fases del desarrollo de un cultivo. Por ejemplo, los cereales toleran, sin pérdida significativa de rendimiento, episodios de sequía al comienzo de su desarrollo (antes de comenzar el crecimiento de la caña) o al final (grano pastoso). Pero son muy sensibles a la falta de agua durante la floración e inicio del llenado del grano (estado lechoso).

En la tabla 1.1 se recogen los períodos críticos de necesidades hídricas para diversos cultivos. Esta información siempre es útil para la planificación de los riegos, especialmente cuando los recursos hídricos son escasos, pues resulta esencial para determinar en qué momentos deben efectuarse los riegos de apoyo.

Tabla 1.1. Períodos de máxima sensibilidad a la escasez de agua

Cultivo	Período crítico sensible a la escasez de agua
Cítricos	Floración – cuaje
Olivo	Inicio floración – endurecimiento hueso
Manzano, peral	Cuaje – engorde de fruto
Vid	Floración – cuaje y envero
Fresa	Desarrollo del fruto
Trigo, cebada, avena	Dos semanas antes del espigado – dos semanas después del espigado
Maíz	Dos semanas antes de la emisión de polen – dos semanas después
Patata	Inicio tuberización (inicio floración) – final engorde tubérculos (comienzo senescencia de las partes verdes)
Leguminosas (grano)	Floración – formación de vainas
Remolacha	Engrosamiento de la raíz
Girasol	Floración – inicio madurez (semillas del borde del capítulo negras)
Hortícolas de fruto	Floración – engorde del fruto
Cebolla	Crecimiento rápido del bulbo

2. El agua y el suelo

En esencia, el suelo es un entramado de partículas minerales. Pero estas partículas no están empaquetadas formando una masa compacta, sino que entre ellas existe una intrincada red de poros y canales (canalículos) por los que circula el aire y el agua (figura 1.5).

2.1. Capacidad del suelo para almacenar agua

En la mayoría de los suelos, la red de canalículos ocupa un volumen que oscila entre 30-50% del total. De todos los poros o canalículos, los de mayor diámetro permiten un paso

Figura 1.5. Detalle de la red de poros del suelo



Figura 1.6. Tamaño relativo de las partículas del suelo

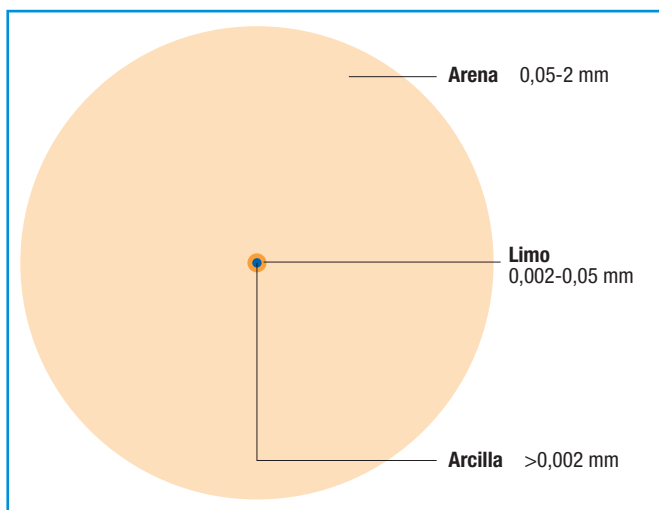


Figura 1.7. Tipos de suelos y su capacidad para almacenar agua



rápido del agua y sólo los menores son capaces de retener y almacenar agua. En un suelo determinado, el porcentaje total de poros y su tamaño va a depender de:

1. La textura. Se denomina textura del suelo a la proporción de los diferentes componentes mineralógicos: arena, limo y arcilla. Estos componentes se diferencian exclusivamente por su tamaño (figura 1.6):

- **Arena:** partículas comprendidas entre 0,05 y 2 mm.
- **Limo:** partículas entre 0,002 y 0,05 mm (no visibles a simple vista).
- **Arcilla:** partículas menores de 0,002 mm (no visibles a simple vista).

2. La estructura. Es la forma en que las partículas del suelo se unen formando agregados y dejando entre sí poros o canalículos. Además de la textura, en la formación de la estructura intervienen el contenido en materia orgánica y el manejo que se haga del suelo. De forma genérica, el laboreo intensivo, el pisoteo del ganado y la circulación de la maquinaria en húmedo contribuyen a destruir la estructura de los suelos.

Para la actividad agrícola sería ideal tener un suelo equilibrado, fácil de trabajar, permeable y con buena capacidad de acumulación de agua. Esto es lo que técnicamente se conoce como *suelo franco* que, desde el punto de vista de su textura, contendría entre 30-50% de arena, 30-50% de limo y 20-30% de arcilla. Un suelo de estas características sería capaz de almacenar unos 300 litros de agua por metro cuadrado de superficie y metro de profundidad (figura 1.7). Aunque, como se verá más adelante, toda esta agua no estaría enteramente a disposición de las plantas.

Al cambiar las proporciones de arena, limo y arcilla cambia también la denominación técnica del suelo y su capacidad para retener agua y de ponerla a disposición de las plantas. Se habla así de suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo-arenosos, franco-arenosos, franco-arcillosos, etc.

2.2. Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas

Del volumen total de agua que puede almacenar un suelo, no todo está disponible para las plantas y, del que está disponible, no todo se puede absorber con igual facilidad. Así, se definen los siguientes conceptos (figura 1.8):

1. Capacidad de campo. Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La capacidad de campo viene a reflejar el agua que el suelo retiene en los canalículos pequeños, después de que los más grandes se

hayan llenado de aire. Cuando un suelo está a *capacidad de campo* la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas.

2. Punto de marchitez permanente. Es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. La presión necesaria para comenzar a extraer el agua que contiene un suelo en su punto de marchitez es de 15 atmósferas.

De forma general, el punto de marchitez es igual al 56% de la capacidad de campo. Esto quiere decir que si el suelo franco tiene una capacidad de campo de 300 l/m³ de suelo, en su punto de marchitez seguirá conteniendo 168 litros. Pero este agua no puede ser aprovechada por las plantas.

3. Agua útil para las plantas. Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. En el ejemplo del suelo franco, el agua útil sería: 300 – 168 = 132 l/m³ de suelo.

4. Agua fácilmente utilizable por las plantas. Parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (0,5-1 atmósferas) y, por tanto, sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta. En agricultura se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50% del agua útil y para los más sensibles entre 25-30%.

Para el suelo franco anterior, el agua fácilmente utilizable por los cultivos menos sensibles sería de 66 l/m³ de suelo y de 33 l/m³ para los más sensibles.

Las cifras de la figura 1.8 explican el hecho, bien conocido por todos los agricultores de secano, de que:

- Las tierras ligeras (arenosas) son poco productivas, no necesitan mucha lluvia, pero sí que esté bien repartida, o al menos concentrada en la primavera.
- Las tierras pesadas (arcillosas) son más productivas pero necesitan mojarse bien en invierno para guardar humedad y poder aguantar períodos prolongados sin lluvia. Sin embargo, con lluvias escasas dan malas cosechas.
- Las tierras medias (francas) son las más seguras produciendo ya que se adaptan mejor a las lluvias irregulares.

2.3. Otros conceptos sobre el suelo

Todas las definiciones anteriores son muy valiosas para entender el suelo y verlo como un depósito de agua para las plantas. Estas ideas son un primer paso para lograr el objetivo de planificar y realizar riegos de forma eficiente.

Figura 1.8. Almacenamiento de agua en el suelo. Valores medios para diferentes texturas y para cultivos poco sensibles a la sequía



Figura 1.9. Movimientos del agua en el suelo



Pero es esencial comprender que el suelo, el agua y las plantas mantienen un equilibrio dinámico. Así, el agua cae sobre la superficie, va penetrando por los canalículos y una parte puede alcanzar las capas profundas del suelo y otra volver rápidamente a la atmósfera, bien porque se evapora al incidir el sol sobre el suelo desnudo, bien porque las plantas la transpiran al ser absorbida por las raíces. Por ello, resulta necesario clarificar algunos conceptos adicionales (figura 1.9):

1. Escorrentía. Es la parte del agua caída sobre un suelo que al no poder absorberse circula por su superficie.

2. Percolación o drenaje. Es el agua del suelo que alcanza profundidades fuera del alcance de las raíces de las plantas.

3. Infiltración. Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del suelo hacia capas más profundas. Interesa conocer la velocidad de infiltración, esto es, los litros por metro cuadrado que puede absorber un suelo en una hora sin que se produzca escorrentía.

La infiltración depende de la red de poros o canalículos del suelo y, por tanto, de su textura y estructura, pero no es una propiedad fija del suelo. Así, por ejemplo, un mismo suelo absorbe agua más rápidamente si está seco que si tiene ya cierto grado de humedad, por eso los técnicos distinguen entre *infiltración instantánea* e *infiltración estabilizada*. A efectos prácticos resulta útil conocer la *velocidad de infiltración estabilizada*, que serían los litros por metro cuadrado y hora que penetran en un suelo ya húmedo (tabla 1.2).

Tabla 1.2. Velocidad de infiltración estabilizada para distintos tipos de suelo

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración
Arenoso	Más de 30 mm/hora
Franco arenoso	Entre 20 y 30 mm/hora
Franco	Entre 10 y 20 mm/hora
Franco arcilloso	Entre 5 y 10 mm/hora
Arcilloso	Menos de 5 mm/hora

2.4. Perfil del suelo

En general, las características del suelo varían con la profundidad. A simple vista, cuando se cava una zanja se pueden distinguir capas horizontales diferentes entre sí por su color o aspecto. A cada una de estas capas se las conoce como *horizonte del suelo* y al conjunto de todas ellas hasta una determinada profundidad se le denomina *perfil del suelo* (figura 1.10).

Conocer el perfil de un suelo y sus distintos horizontes es fundamental para llevar a cabo una estrategia de riego con sentido común, pues nos va a permitir conocer:

1. La profundidad útil que van a explorar las raíces.
2. Si existen diferencias entre los horizontes o capas del suelo, desde el punto de vista de la permeabilidad y el almacenamiento de agua.

Figura 1.10. Perfil de un suelo típico de La Mancha



1. Conceptos previos

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubra sus necesidades, complementando la recibida en forma de precipitaciones. Cuando se trata de distribuir agua por una parcela de cultivo se tropieza con numerosas dificultades, que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea.

Siempre es importante tratar de solventar estas dificultades, pero más lo es aún cuando el agua es escasa y cuesta dinero. Para juzgar la calidad de un sistema o instalación de riego se emplean algunos conceptos que es necesario conocer.

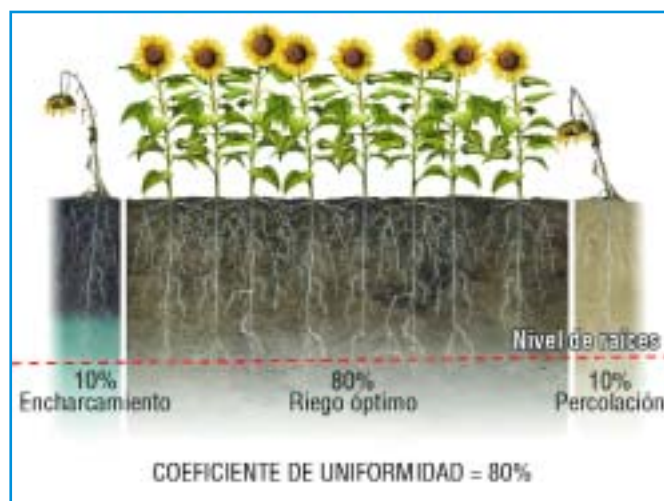
1.1. Uniformidad de aplicación

La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva.

Aunque en la uniformidad de un riego influyen numerosos factores, de forma general se puede afirmar que con el riego por goteo se consiguen las aplicaciones de agua más uniformes, seguido de la aspersión y por último de los riegos a pie o por gravedad.

La uniformidad de aplicación es una característica propia de cada instalación y parcela. Se puede estimar mediante mediciones en campo y se expresa mediante un porcentaje. Un

Figura 2.1. Uniformidad de aplicación



coeficiente de uniformidad del 80% indicaría que el 80% de la parcela ha recibido la cantidad de agua deseada, mientras que el 20% restante ha sido regado en más o menos cantidad (figura 2.1).

1.2. Eficiencia de aplicación

Del volumen total de agua destinada a riego que sale de un punto de suministro (p.e. embalse o pozo) no todo va a ser aprovechado por las plantas, sino que parte no llegará a su destino por diversas causas. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina *eficiencia de aplicación*. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada por un pozo sólo el 75% la tomarían las plantas y el 25% restante tendría destinos diferentes (figura 2.2).

En el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

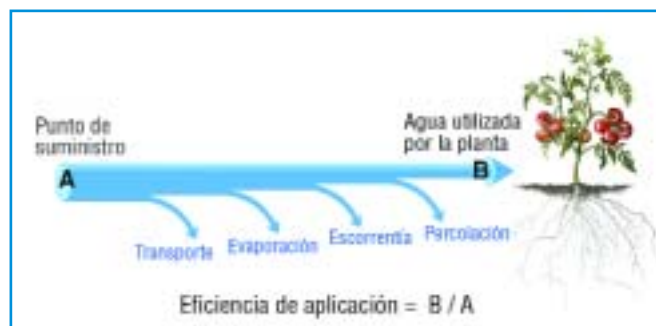
1. Pérdidas de transporte. Son las habidas en las conducciones, desde el punto de suministro hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

2. Pérdidas de aplicación. Engloba a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego. Cabe mencionar tanto las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores, en las hojas mojadas del cultivo o en la lámina superficial de agua.

3. Pérdidas en el suelo. Una vez en el suelo, el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de las raíces percolando a capas profundas.

Al igual que ocurre con la uniformidad, la eficiencia de aplicación es una característica propia de cada instalación. En

Figura 2.2. Pérdidas en el proceso de riego



la eficiencia se incluye el diseño de la instalación, su mantenimiento y su manejo, siendo más fácil conseguir altas eficiencias de aplicación con unos sistemas de riego que con otros (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Eficiencia teórica de distintos sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia
Goteo	85-95%
Pívot	80-90%
Aspersión	65-85%
A pie	30-70%

2. Sistemas de riego

Todos los sistemas de riego pueden clasificarse en tres categorías esenciales:

1. Riego por gravedad o a pie: La energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante surcos, eras, tablares, canteros o alcorques para controlar su distribución (figura 2.3).

2. Riego por aspersión. El agua es conducida a presión. Al llegar a los emisores (aspersores) produce gotas que mojan todo el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia (figura 2.4).

3. Riego localizado. Se moja sólo la parte del suelo próxima a las plantas. El agua a baja presión llega mediante tuberías hasta las plantas (figura 2.5).

Aunque en el riego por gravedad se pueden conseguir buenas eficiencias de aplicación (mediante un diseño adecuado, nivelación de la parcela y buen manejo) sus altos requerimientos en mano de obra hacen que vaya desapareciendo en favor de la aspersión y el goteo. Estos dos sistemas de riego merecen comentarios adicionales.

2.1. Riego por aspersión

Al ser el mecanismo responsable de la producción de gotas, el elemento clave en este sistema de riego es el *aspersor*. Existe una gran variedad de aspersores; los más empleados en los regadíos de la zona centro de España son los denominados de impacto, doble boquilla y media presión (figura 2.6).

Figura 2.3. Riego por gravedad o a pie



Figura 2.4. Riego por aspersión



Figura 2.5. Riego localizado



Figura 2.6. Componentes de un aspersor

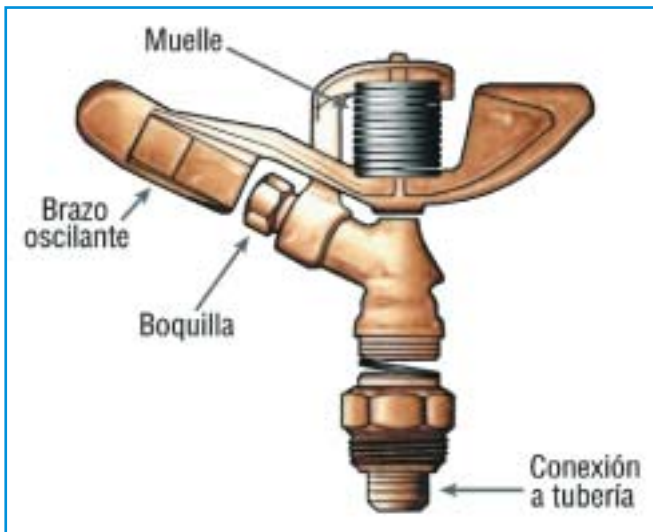
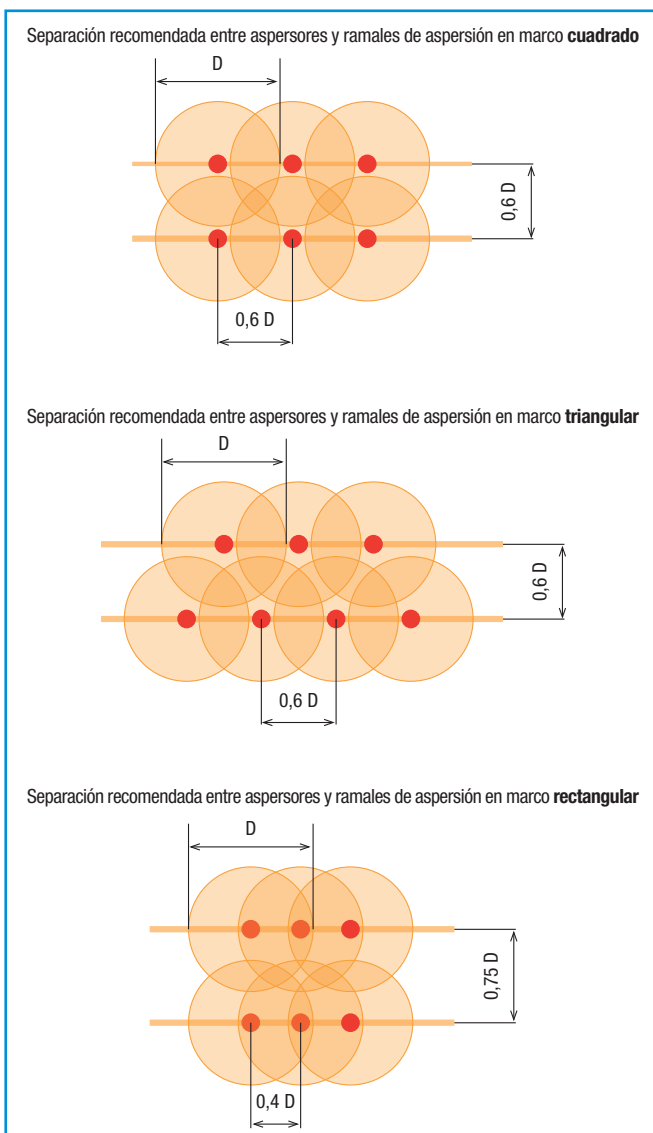


Figura 2.7. Distribución de los aspersores



1. Impacto. El giro se produce mediante el choque de un chorro de agua sobre un brazo metálico provisto de un muelle recuperador.

2. Doble boquilla. La boquilla que no provoca el giro es de mayor diámetro y permite un mayor alcance del chorro.

3. Media presión. Presiones nominales de trabajo que oscilan entre 2,5 y 4 atmósferas, permiten marcos de hasta 18 metros con una buena uniformidad de riego.

Los aspersores van girando lentamente, mojando un círculo de forma progresiva. Para conseguir una buena uniformidad de riego es necesario que varios aspersores se solapen, por eso se instalan en los vértices de un cuadrado cuyo lado oscila entre 1,2 y 1,5 veces el radio del círculo mojado, aunque también se emplean disposiciones triangulares o rectangulares (figura 2.7).

La combinación entre tipo de boquilla y presión es lo que determina el tamaño de las gotas. No son deseables las gotas demasiado grandes ni demasiado pequeñas. Las grandes tienden a compactar el terreno o producir daños en las hojas, mientras que las pequeñas ocasionan una mala uniformidad y eficiencia, al ser muy sensibles al viento y vaporizarse con rapidez.

Cada modelo de aspersor viene caracterizado por unos datos técnicos que reflejan sus condiciones de trabajo ideales: presión nominal de trabajo (atmósferas), caudal de las boquillas (litros por hora), diámetro mojado (metros) y precipitación que producen (litros por metro cuadrado y hora). Conocerlos es imprescindible para saber si se adecuan tanto a las características de una instalación como a las necesidades de riego de un cultivo.

En función de la colocación y movimiento de los puntos de aspersión se habla de:

1. Sistemas de aspersión móviles. Las tuberías y aspersores se cambian de posición manualmente cada vez que es necesario regar una zona de la parcela (figura 2.8).

2. Sistemas de aspersión fijos. Todas las tuberías están enterradas y el terreno queda bajo la cobertura de aspersores instalados de forma permanente (figura 2.9).

3. Sistemas de aspersión autopulsados. Los aspersores están instalados en una estructura que se mueve progresivamente, a medida que se va regando. A esta categoría pertenecen los cañones de largo alcance y los conocidos como *pívots*. Los cañones, por su largo alcance, no son los equipos de riego ideales, al requerir altas presiones y ser sus chorros muy sensibles al viento, por eso se utilizan básicamente para riegos de apoyo. Por el contrario, los pívots sí representan una de las mejores opciones para el riego de cultivos herbáceos extensivos (figura 2.10).

Figura 2.8. Sistema de aspersión móvil



Figura 2.9. Sistema de aspersión fijo



Figura 2.10. Pívor



Cada sistema tiene sus propias peculiaridades. Desde un punto de vista práctico, cabe destacar las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. Sistemas de aspersión móviles. Requieren una menor inversión inicial. Por el contrario, su coste de manejo es muy alto al necesitar mucha mano de obra para los cambios de postura. El traslado de tubos resulta lento y penoso cuando los cultivos alcanzan un cierto desarrollo. Los acoples rápidos de tuberías y aspersores son propensos a fugas. Resulta prácticamente imposible automatizar el riego. La flexibilidad para aplicar riegos frecuentes es muy limitada. Se adaptan a cualquier forma de parcela.

2. Sistemas de aspersión fijos. La inversión inicial es la más alta, pero su coste de operación es muy bajo al no ser necesario el traslado de tuberías y poder automatizarse. Permiten una gran flexibilidad en el manejo del riego y se adaptan a cualquier forma de parcela. Los tubos porta-aspersores fijos condicionan el tráfico de maquinaria.

3. Pívor. La cuantía de la inversión es intermedia a la de los dos casos anteriores. El coste de operación es muy bajo. Se puede automatizar el riego. Sólo se adapta a parcelas de ciertas dimensiones y formas regulares. No condiciona el paso de la maquinaria. La flexibilidad en el manejo del riego está limitada por la velocidad de giro. Los altos caudales de los aspersores pueden provocar importantes escorrentías en los terrenos poco permeables o en el extremo de los pivots largos. Para evitar esto, además de los aspersores clásicos, existe una amplia gama de emisores productores de gotas (toberas, difusores...).

Desde el punto de vista de uniformidad y eficiencia, con los tres sistemas pueden lograrse resultados similares, siempre que las instalaciones estén bien diseñadas y adaptadas a las características del suelo y a las necesidades de los cultivos que van a regar.

La tendencia actual en la modernización de regadíos para cultivos herbáceos extensivos es la instalación de pivots. Y, si por sus dimensiones o forma la parcela no lo permite, la segunda mejor opción es la cobertura fija.

En la Unidad Didáctica 3 se abordan los aspectos de manejo de las instalaciones que deben tenerse en cuenta para optimizar el consumo de agua.

2.2. Riego localizado

Su objetivo es realizar pequeñas aportaciones de agua, de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte del volumen del suelo. Aunque existen diversos sistemas de riego localizado (microaspersión,

cintas de exudación, riego subterráneo...), el ejemplo más típico es el conocido como *riego por goteo*.

En el riego por goteo el agua se distribuye por tuberías de polietileno a baja presión, en las que a intervalos regulares están colocados los emisores, denominados goteros, responsables de la producción de las gotas. Los diversos tipos de goteros se diferencian en el sistema que usan para disipar la energía proveniente de la presión del agua y producir un flujo constante de gotas. Así, hay goteros tipo vortex, helicoidales, de laberinto, autocompensantes, etc. (figura 2.11).

Cada gotero está caracterizado por su caudal nominal (expresado en litros por hora) y su rango de presiones de trabajo. Excepto para los goteros autocompensantes, que permiten cierta variabilidad, a cada presión de trabajo le corresponde un caudal. Por eso, para poder planificar los riegos y manejar de forma adecuada una instalación es imprescindible conocer estos valores.

Entre las ventajas e inconvenientes del riego localizado cabe destacar:

- Alto valor de la inversión inicial.
- La red de tuberías en superficie hace prácticamente inviable su adopción en cultivos anuales extensivos y grandes superficies.
- Sensibilidad de los goteros a las obstrucciones, lo que obliga a un equipo de filtrado y cuidados minuciosos.
- Posibilidad de automatización total.
- Permite la aplicación de abonos en el agua de riego, adaptándose a las necesidades del cultivo (fertirrigación).

Figura 2.11. Tipos de goteros



- Posibilita el control total sobre el suministro hídrico de las plantas. Esto permite provocar estrés o garantizar una humedad óptima en los momentos del ciclo del cultivo que se desee.
- Ahorra agua respecto a otros tipos de riego. El posible ahorro deriva de dos aspectos: el primero es la eliminación de pérdidas durante el transporte del agua, al llegar ésta mediante tuberías hasta la propia planta, y el segundo es la reducción de la evaporación directa del suelo al mojarse sólo una parte del terrero. Esta última fuente de ahorro puede llegar a desaparecer cuando el número de goteros es tal que se llega a humedecer toda la superficie del suelo.

De entre todos los sistemas de riego, son las instalaciones de riego por goteo bien diseñadas las que permiten lograr las mayores uniformidades y eficiencias de riego.

Figura 2.12. Riego por goteo en viña



Figura 2.13. Cultivo de melón en riego por goteo



Figura 2.14. Maíz regado por goteo



Sin duda alguna, hoy en día el riego por goteo es considerado como el mejor sistema para regar cultivos leñosos permanentes y para cultivos hortícolas de alto valor (*figuras 2.12 y 2.13*).

Sin embargo, su implantación en grandes superficies de cultivos herbáceos extensivos topa con inconvenientes de tipo económico y práctico; básicamente, su coste poco competitivo y la necesidad de poner y quitar las tuberías portagoteros todos los años (*figura 2.14*).



1. Concepto de buenas prácticas agrarias

De manera formal, se entiende por buenas prácticas agrarias aquellas que realiza un agricultor responsable en su explotación y que incluyen el cumplimiento de los requisitos ambientales recogidos expresamente en el Anexo 1 del Real Decreto 4/2001. Esta normativa se ha promulgado para intentar corregir los problemas de carácter agroambiental que surgen en las explotaciones agropecuarias, como por ejemplo:

- Conservación del suelo y lucha contra la erosión.
- Optimización de los consumos energéticos.
- Utilización eficiente del agua.
- Conservación de la diversidad biológica.
- Racionalización del uso de fitosanitarios, fertilizantes y medicamentos.
- Reducción de cualquier tipo de contaminación derivada de la actividad agropecuaria.

2. Buenas prácticas de riego

Atendiendo exclusivamente a la práctica del riego, se entiende por buena práctica un manejo tal de los recursos implicados (agua, suelo y cultivo) que permite la perduración de éstos en el tiempo en suficiente cantidad y calidad. Para conseguirlo hay que cubrir los siguientes objetivos:

- Planificar los cultivos en función de las asignaciones de recursos hídricos renovables.
- Conocer las características del suelo en relación con el agua (capacidad de campo, velocidad de infiltración...).
- Conocer la calidad del agua de riego (salinidad, contaminantes...).
- Adecuar los riegos a las necesidades reales de los cultivos.
- Garantizar la máxima eficiencia de aplicación, evitando pérdidas en el transporte y regando en condiciones ambientales óptimas.

A la hora de regar se debería seguir un proceso lógico de toma de decisiones, tendente a asegurar que se aplica una cantidad de agua lo más ajustada posible para cubrir las necesidades del cultivo en función de las limitaciones de la instalación de riego.

2.1. Cálculo de las necesidades

Como se verá en la Unidad Didáctica 4, existen distintos métodos para estimar las necesidades de agua de un cultivo. Diversos organismos oficiales y entidades privadas suminis-

Figura 3.1. Estación agroclimática



Figura 3.2. Página web del SIAR con el resumen semanal de necesidades



tran esta información adaptada al ámbito territorial más próximo a la parcela de riego (figura 3.1).

Para comenzar la planificación de un período de riego el regante debe conocer la previsión de necesidades del cultivo para un determinado período de tiempo. Por ejemplo, el Servicio de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha prevé que en la comarca de Manzanares el maíz necesitará 45 l/m² (mm) durante la primera semana de agosto (figura 3.2).

2.2. Dosis y frecuencia de riego

Con el dato anterior, el regante debe calcular si su instalación de riego puede suministrar ese volumen de agua a toda la parcela de cultivo, determinando cuántas veces regar en esa semana y cuánto tiempo debería durar cada riego. Todo ello considerando algunas restricciones como:

1. La capacidad máxima del suelo para almacenar agua. Si se suministra todo el agua de una vez, parte puede percolar a capas profundas y escapar del alcance del cultivo. Por ejemplo, si se trata de un suelo franco con una capacidad de campo de 300 l/m³ y una profundidad útil de 0,4 m, su capacidad de campo real será de 120 l/m² (mm). Al comenzar la semana su contenido en agua es de 107 mm, por tanto, *el primer riego no debería ser mayor de 13 mm.*

2. El nivel de humedad del suelo por debajo del cual no se debe bajar para que el cultivo no comience a padecer. Así, si el maíz está en grano lechoso, un estado muy sensible, la humedad debe mantenerse por encima del 75% del agua útil, esto es, por encima de 107 mm. *Por debajo de este valor se debe comenzar a regar de inmediato.*

3. La capacidad del sistema de riego. La instalación de riego es una cobertura fija de aspersión, capaz de producir una precipitación de 6 mm/h. *Para poder aplicar un máximo de 13 mm son necesarias 2 horas de riego.*

4. Procurar dar riegos frecuentes. Así, para aplicar 45 mm en riegos de 12 mm (2 horas) son necesarios 4 riegos (tres de 2 horas y uno de 1,5 horas). *Se riega un día sí y otro no con riegos de 2 horas.*

2.3. Condiciones de aplicación

Aunque la capacidad de las instalaciones de riego es limitada, en época de máximas necesidades y con parcelas grandes son necesarias muchas horas de funcionamiento para regar. Una vez conocida la fecha y duración de los riegos, se debe procurar efectuarlos cuando las condiciones ambientales sean lo más favorables posible y cuando el coste energético sea menor, teniendo en consideración:

- En el caso de energía eléctrica, regar en horas valle o llano.
- En riego por aspersión y pívot la eficiencia de aplicación y la uniformidad disminuyen si se riega con fuertes vientos y alta insolación. Por tanto, hay que intentar no regar durante las horas centrales del día. En las zonas de vientos frecuentes, y para un mismo volumen de agua aplicado, se consigue una mejor uniformidad si se disminuye el caudal del aspersor y se incrementa el tiempo de riego (más horas por postura para la aspersión y velocidades de giro más lentas para los pívots) (figura 3.3).
- Las lluvias superiores a 4-5 mm deberán descontarse de los riegos pendientes.

Figura 3.3. Aspersores regando con viento



Figura 3.4. Escorrentía en un pívot



- El aporte instantáneo de agua no debe superar la capacidad de infiltración del suelo (figura 3.4).

2.4. Cuaderno de registro de riego

Aunque la metodología de riego tratada en los apartados anteriores pueda parecer engorrosa y compleja, una vez puesta en práctica se convierte en mera rutina. Para ello, se puede contar con el asesoramiento de técnicos privados y organismos oficiales como el ya mencionado SIAR de Castilla-La Mancha.

A nivel de regante, ayuda mucho llevar al día una *cuaderno de riego*, que no es más que un estadillo donde se anota de forma sistemática, por fechas, toda la información relevante sobre el riego de una parcela (figura 3.5):

- **Características del suelo:** profundidad útil para las raíces, velocidad de infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil.
- **Estado fenológico del cultivo:** Siembra, nascencia, 2 hojas, 3 hojas, espigado, floración, grano lechoso, maduración, cosecha, etc.
- **Niveles de humedad** a mantener en el suelo.
- **Necesidades hídricas previstas** obtenidas de las fuentes de asesoramiento.

Figura 3.5. Modelo de registro de riegos

CUADERNO DE REGISTRO DE RIEGOS					
N.º Polígono		Año			
N.º Parcela					
Datos del Cultivo					
Cultivo					
Fecha de siembra					
Fecha de cosecha					
Método de riego					
Datos del suelo					
Profundidad					
Capacidad de campo					
PMP					
Agua útil					
Pronóstico de riego					
Mes	Frecuencia (días)	N.º riegos /día	Datos meteorológicos		
			Temperatura (media del mes)	Precipitación (mm)	Viento (N.º días)
.....
.....
.....
Observaciones					
.....					
.....					

- **Previsión de riegos:** fecha, hora y duración.
- **Riegos efectuados:** por si hay variaciones sobre lo previsto.
- **Precipitaciones.**
- **Observaciones:** incidencias, averías, operaciones de mantenimiento de la instalación, etc.

3. Mantenimiento de instalaciones

Todo el cuidado e interés puesto en planificar los riegos y efectuarlos en las mejores condiciones posibles va a depender, en última instancia, del correcto funcionamiento de la instalación. No riega mejor la instalación más cara, sino la mejor cuidada.

La única norma imprescindible para el mantenimiento de una instalación de riego es el sentido común. Se ha de crear el hábito de cuidar los detalles, lo que a la postre supondrá una mayor comodidad en el trabajo y la satisfacción de saber que no se está desperdiciando un recurso tan escaso como es el agua.

Además de las peculiaridades propias de cada sistema de riego y de las normas básicas de seguridad en el trabajo, una lista de mínimos para un buen mantenimiento sería:

1. No tolerar la más mínima fuga en las tuberías y acoples (figura 3.6).

2. Limpieza de los elementos de filtrado. Además de la obturación de los emisores, una deficiente limpieza de filtros implica pérdida de presión en la red de riego y, por tanto, variaciones imprevistas del caudal.

Figura 3.6. Fuga de agua en acople



Figura 3.7. Conservación deficiente de una instalación



Figura 3.8. Emisor de aspersión obstruido



3. Correcto funcionamiento de los manómetros. La instalación debe funcionar a la presión para la que ha sido diseñada, de ello va a depender la eficiencia y la uniformidad del riego (*figura 3.7*).

4. Limpieza de los emisores: los goteros se limpiarán periódicamente mediante la inyección en el agua de riego de ácido. Los aspersores y toberas de pivots se limpiarán individualmente cuando se aprecien irregularidades en los chorros, empleando siempre elementos blandos para las boquillas, con el objetivo de no dañar su forma ni alterar su tamaño (*figura 3.8*).

5. Cuando haya que cambiar un emisor, se reemplazará siempre por otro de idénticas características. No se mezclarán emisores de distinto tipo en la misma instalación, para poder calcular constantemente el riego y su uniformidad.

A la hora de regar, cualquier regante se enfrenta con una doble incógnita: cuándo y cuánto regar. Estos interrogantes se han resuelto tradicionalmente en base a la experiencia del propio agricultor. Pero teniendo en cuenta que el agua es un recurso cada vez más caro y más escaso, y que, por tanto, hay que procurar la máxima eficiencia en su empleo, no es admisible que decisiones tan importantes se tomen intuitivamente. Máxime cuando existen metodologías, sobradamente contrastadas, para suministrar a los cultivos la cantidad de agua que exactamente necesitan.

1. Introducción a los métodos existentes

1.1. Métodos indirectos

Se denomina *evapotranspiración* al agua que, desde el suelo, pasa a la atmósfera transformándose en vapor. La evapotranspiración tiene un doble componente:

1. Evaporación directa del agua contenida en el suelo, como consecuencia de la energía solar que incide sobre él.
2. Agua procedente de la transpiración de las plantas, fruto de su actividad y de las condiciones ambientales.

La cantidad de agua que se pierde desde el suelo mediante evapotranspiración se mide en mm o l/m². Si se conociera la evapotranspiración diaria de un suelo donde está establecido un cultivo, se sabría el agua que habría que restituir mediante el riego para mantener el equilibrio de humedad en el suelo, de tal forma que las raíces de las plantas continuasen teniendo agua disponible.

Para conocer la evapotranspiración de un cultivo, los investigadores utilizan unos dispositivos denominados *lisímetros*. Un lisímetro es, en esencia, un contenedor de tierra de grandes dimensiones, donde se simulan las condiciones de cultivo. Este contenedor está montado sobre un sistema de pesada que registra las más mínimas variaciones de peso. Controlando exactamente el peso del agua que se aporta en forma de riego se obtiene por diferencia la pérdida de peso diaria, que corresponde a la pérdida de agua por evapotranspiración.

Lógicamente, la metodología de trabajo con lisímetros es sólo propia de centros de investigación. Por eso, se ha buscado una forma de relacionar la información procedente de los lisímetros con datos meteorológicos, tales como: temperatura, radiación solar, viento, humedad relativa, etc., que son los que influyen directamente para que la evapotranspiración sea ma-

yor o menor. Así, se han desarrollado distintas fórmulas matemáticas, conocidas por los nombres de los científicos que las pusieron a punto: Blaney Criddle, cubeta evapométrica clase A, Hargreaves, Penman-Monteith, etc. La de uso más generalizado en Castilla-La Mancha es la de Penman-Monteith.

Todas estas fórmulas permiten calcular la denominada *evapotranspiración de referencia* (ET_o). Esta sería la pérdida de agua de un suelo cubierto por una pradera extensa de gramíneas en crecimiento activo, sombreando totalmente el suelo, segada a una altura de 8 a 15 cm y con un suministro de agua constante.

Para relacionar la evapotranspiración de referencia (ET_o) con la evapotranspiración real de un cultivo concreto (ET_c) se emplean los denominados coeficientes de cultivo (k_c). Estos coeficientes son un número calculado por los investigadores, de tal forma que se cumple la relación:

$$ET_c = k_c \times ET_o$$

Los coeficientes de cultivo dependen del tipo de cultivo y del grado de desarrollo que tenga, puesto que no transpiran la misma cantidad de agua una planta de girasol que una de maíz, o que en un maizal recién sembrado la evaporación directa desde el suelo sea importante, pero en cuanto el maíz cubre el suelo ésta sea prácticamente nula (figura 4.1).

Para ilustrar lo que puede ser la evapotranspiración diaria en la zona de La Mancha, en la tabla 4.1 se ponen algunos ejemplos.

Conocidos estos valores diarios de pérdida de humedad del suelo, ya se puede contar con una primera orientación de la cantidad mínima de agua que hay que reponer mediante el riego.

Figura 4.1. Coeficientes de cultivo (maíz)

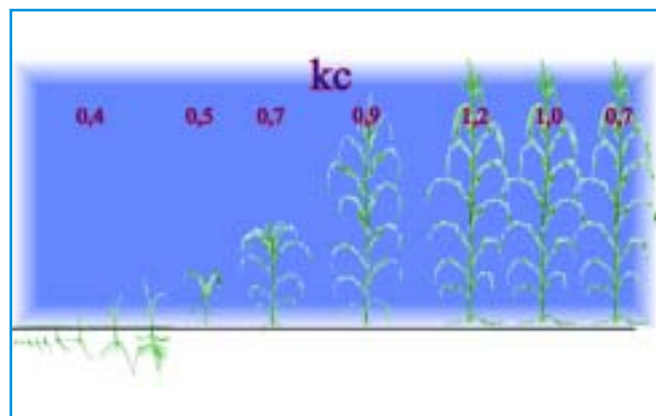


Tabla 4.1. Valores de evapotranspiración diaria para distintos cultivos en La Mancha

Cultivo	Fecha	Evotranspiración diaria (mm)
Alfalfa	31 de marzo	0,86
Alfalfa	31 de julio	6,90
Cebada	31 de marzo	1,39
Cebada	31 de mayo	4,30
Cebolla	31 de marzo	0,95
Cebolla	31 de julio	7,70
Maíz	30 de abril	1,60
Maíz	31 de julio	8,50
Melón	31 de mayo	0,90
Melón	31 de julio	7,30
Remolacha	31 de marzo	0,86
Remolacha	31 de julio	8,10
Viña	31 de marzo	0,19
Viña	31 de julio	2,30

Datos de 2004.

1.2. Métodos directos

Además de la metodología para el cálculo de la evapotranspiración de los distintos cultivos se ha desarrollado una amplia variedad de sensores que permiten medir el contenido de humedad en el suelo. La instalación de alguno de estos sensores en una parcela concreta posibilita la decisión de comenzar a regar cuando el contenido de humedad del suelo alcance un valor determinado y, del mismo modo, interrumpir el riego cuando se llegue a otro valor o se supere la capacidad de almacenamiento de agua de ese suelo.

Estos equipos de medida permiten un control más minucioso y ajustado de las necesidades reales de agua de los cultivos. Pero, por otro lado, obligan a dedicar tiempo a la recogida y análisis de datos y a cierta especialización en el manejo.

De entre los equipos de medida más habituales, cabe destacar:

- **Tensiómetros.** Son dispositivos diseñados para estimar la presión de succión necesaria para extraer agua del suelo. Esta presión aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad. Un tensiómetro no mide el contenido de humedad del suelo, sino que da una idea del esfuerzo que debe realizar la planta.

Los tensiómetros sólo funcionan bien en los suelos de textura media o ligera (no en los arcillosos) y para contenidos de humedad del suelo no demasiado bajos. La escala graduada de un tensiómetro indica un valor de presión expresado en centibares, y estos valores se interpretan de acuerdo a los criterios recogidos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Criterios para interpretar las lecturas de un tensiómetro

Lecturas	Indicaciones
10 a 20 cb	Suelo a capacidad de campo
30 cb	Suelos arenosos: iniciar el riego
50 cb	Suelos de textura media: iniciar el riego
60 cb	Suelos arcillosos: iniciar el riego
Más de 70 cb	El nivel de humedad del suelo es lo suficientemente bajo como para que las plantas sufran estrés

- **Bloques de yeso.** Son piezas de diversos materiales, fundamentalmente yeso, que llevan dos electrodos por los que se hace circular una corriente eléctrica. Esta corriente circula más fácilmente cuanto más húmedo esté el suelo.

Al igual que los tensiómetros, los bloques de yeso no miden directamente el contenido de humedad, sino que dan una lectura que se relaciona con él, por eso para su interpretación es necesario utilizar las tablas proporcionadas por los fabricantes.

- **Sensores TDR y FDR.** Estos tipos de sensores se basan en el efecto que el contenido de humedad tiene en las propiedades del suelo, desde el punto de vista de su capacidad para transmitir distintos tipos de radiaciones electromagnéticas. Son aparatos electrónicamente muy complejos y, al contrario que los tensiómetros y los bloques de yeso, sí proporcionan un valor del contenido real de humedad del suelo.

Su mayor virtud es que se puede automatizar la toma de datos y obtener un gráfico que representa cómo ha evolucionado el contenido de humedad del suelo a lo largo del tiempo (figura 4.2).

El valor de la información que suministran estos equipos de medida es siempre relativo y debe interpretarse sin olvidar las siguientes consideraciones:

- Los sensores sólo hacen mediciones en un volumen muy limitado del suelo.

Figura 4.2. Curva de humedad



- Premisas de cálculo:
 - No aportar todo el agua en un único riego, fraccionarlo tantas veces como permita la instalación y la disponibilidad de agua.
 - En caso de lluvia, descontar de la cantidad de agua prevista en forma de riego el 70% de la precipitación.
- Para el ejemplo en cuestión, se puede regar de la siguiente forma:
Necesidades del maíz del 9 al 15 de julio 50 mm:
 - Sin lluvias.
 - Aspersión: número total de horas de riego 8,3; se pueden dar tres riegos de 2,8 h cada uno o cuatro de 2,1 h.

- Pívot: 5 vueltas al 80%.
- Durante la semana caen 10 mm de agua en forma de lluvia. En este caso el agua a aportar mediante riego sería $50 - (10 \times 0,7) = 43$ mm.
 - Aspersión: número de horas de riego 7,2; tres riegos de 2,4 h o cuatro de 1,8 h.
 - Pívot: 4 vueltas al 80%.

Lógicamente, todas las cifras anteriores se refieren a necesidades netas, que en función de la eficiencia de aplicación y de la uniformidad de riego de la instalación habría que incrementar ligeramente. No obstante, y salvo instalaciones y condiciones de riego realmente malas, la mayoría de los usuarios de estos servicios las consideran como necesidades brutas. Con lo cual, con un simple vistazo semanal a los datos de necesidades de agua de los cultivos se sabe en todo momento la cantidad de agua que debe aportarse mediante el riego la semana siguiente.

Los servicios de asesoramiento de riego, además de informar de las necesidades de agua de los cultivos, también suelen prestar ayuda a los regantes para evaluar la calidad de instalación y mejorar así la uniformidad y eficiencia de riego.

Figura 4.5. Colocación de tubos de goteo



Figura 4.6. Mazorca



3. Creación de un servicio propio de ámbito local (cooperativa o comunidad de regantes)

La calidad de la información agroclimática y la consistencia de las recomendaciones de riego aumentan proporcionalmente con la proximidad al usuario final. Por ello, resulta muy interesante que cualquier organización de agricultores (ATRIA, SAT, cooperativa, comunidad de regantes, grupos informales...) se plantee la posibilidad de contar con un servicio de asesoramiento propio. Hoy en día, la tecnología disponible facilita enormemente esta tarea. Además, existen líneas de ayuda que pueden aplicarse a la financiación de los equipos y al personal necesario.

De forma breve, el equipamiento básico de un servicio de este tipo sería:

- Estación climática instalada en una zona representativa del área de riego. La estación debe funcionar de forma automática y enviar la información de forma remota por radio o módem GSM.
- Ordenador y programa informático para el manejo de los datos climáticos y el cálculo de la evapotranspiración.
- Técnico responsable del servicio, con las siguientes tareas:
 - Seguimiento fenológico de los cultivos.

- Manejo de los equipos y cálculo de las recomendaciones de riego.
- Supervisión de las instalaciones de riego para detectar puntos de mejora.
- Formación de los regantes en todo lo relativo a las relaciones hídricas suelo-planta y al manejo del riego.
- Asesoramiento para el cumplimiento de los trámites administrativos y legales relacionados con el uso del agua.

■ Adicionalmente, y como complemento, se podría contar con equipos de medida de la humedad del suelo. Deberán estar bien instalados y de forma permanente en parcelas piloto o portátiles para realizar comprobaciones en las parcelas de los regantes.

■ Sistema de comunicación de las recomendaciones de riego: desde el tablón de anuncios de la cooperativa a llamadas personales, fax o mensajes SMS.

En este sentido, el proyecto Life HAGAR, encuadrado dentro de unos objetivos ambientales más ambiciosos, desarrolla en el ámbito de los acuíferos 23 y 24 una metodología de trabajo que pretende servir como modelo, junto con la puesta a punto de aplicaciones informáticas específicas, para facilitar la creación de servicios de asesoramiento de riego y de autogestión de los recursos hídricos por parte de los propios regantes.

Figura 4.7. Cultivo de cebolla



1. Mecanismos de control de variables que inciden en las necesidades de riego: clima-suelo-planta

La novedosa tecnología que se está aplicando actualmente se basa en la unión de diversos equipos de medición del estado hídrico de las plantas y del suelo, para que puedan observarse, en tiempo real, las necesidades hídricas de los cultivos, todo ello combinado con nuevos métodos de riego. A continuación se citan algunos ejemplos de aplicación:

- **Experiencia en Lepe (Huelva).** Consistió en la utilización de la información en tiempo real para controlar el estado hídrico y mejorar la gestión del riego en una plantación de cítricos. Se adoptaron las decisiones de riego en función del árbol y de las condiciones del entorno. Se midieron di-

versos parámetros, como variaciones del diámetro del tronco o la humedad del suelo (tensiómetros con sondas *Watermark*), que se transmitían a un centro de recogida de datos vía radio.

- **Experiencia de manejo del riego en condiciones de restricciones de agua,** desarrollada por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Centro Regional de Investigación La Platina) y de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile.

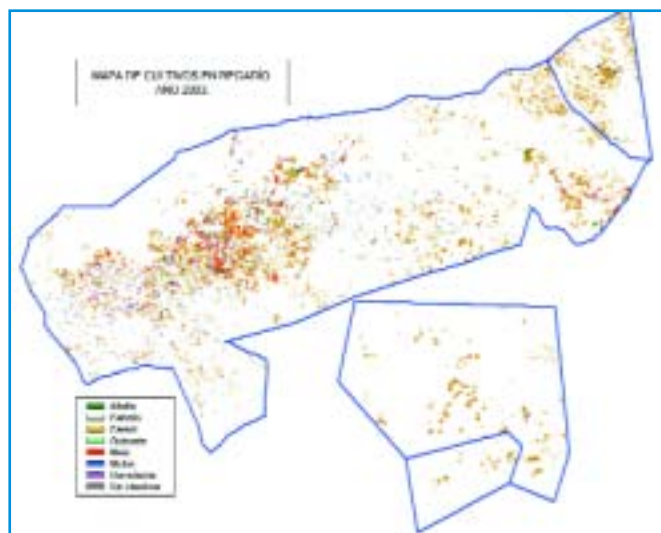
- **Proyecto Life HAGAR** (*se detalla en el apartado 3*).

2. Utilización de imágenes satélite

Otro campo en el que se producen grandes avances es en la tecnología de los satélites y su aplicación agrícola. Los satélites permiten hasta una resolución espacial de 15-30 m, necesaria para la tarea del Servicio de Asesoramiento al Regante. Recientemente se han lanzado otros satélites en los que la resolución espacial se sitúa entre 1-5 m, que podrán ser utilizados en casos de agricultura muy intensiva y con parcelas de pequeño tamaño. Los satélites de alta resolución toman imágenes de la misma zona cada 14-25 días. La combinación de una serie de imágenes proporcionadas por varios satélites permite seguir adecuadamente todo el ciclo de un cultivo.

Un ejemplo de esta tecnología se está desarrollando en el proyecto Life HAGAR y en el proyecto ASAJA-CSIC para seguimiento de parcelas de algodón en Andalucía.

Figura 5.1. Imágenes de satélite en La Mancha



3. Herramientas del proyecto Life HAGAR

3.1. Sistema de Asesoramiento en Riego

En el proyecto Life HAGAR se ha creado un prototipo que permite desarrollar un sistema para la captación de datos agronómicos y la obtención de información del estado hídrico de la atmósfera, el suelo y la planta.

Consta de un *software* comercial para gestión de datos agronómicos que obtiene la información mediante diversos sensores (humedad en el suelo, volumen de riego, climatología, retención hídrica de las hojas, caudal de los contadores de agua y variación de la hidratación de las plantas) con el que se elaboran gráficas y estadísticas que se actualizan cada 15 mi-

nutos. Los datos se transmiten de forma constante desde el campo hasta la oficina mediante emisores-repetidores de radio, que permiten cubrir ampliamente el territorio.

Este sistema posibilita la toma de decisiones de riego instantáneas gracias a que el conocimiento en cada momento de las condiciones de humedad de la planta, el suelo y el clima permiten detectar situaciones de estrés, asfixia por sobresaturación, o bien planificar condiciones del riego enfocadas a la consecución de objetivos agronómicos de calidad, productividad y salud de las plantas.

En el proyecto Life HAGAR se ha realizado un seguimiento de los cultivos a lo largo de dos ciclos anuales de cultivo (campañas 2003 y 2004).

- Durante el primero se registraron los datos recogidos por los sensores de campo y se observó el comportamiento hídrico natural del suelo y de las plantas en función del riego y la climatología. Se analizaron las decisiones de riego tomadas libremente por los agricultores. Se estudiaron la relación entre el clima, la planta y el suelo de cada cultivo con la salud de las plantas, sus plagas, enfermedades y los tratamientos dados a los cultivos por los agricultores. Toda esta experiencia sirvió para reorientar el asesoramiento del riego apoyado en una programación del sistema de control de riego durante la segunda fase de los cultivos, que permita detectar o adelantarse a las condiciones de estrés o pérdida de agua por percolación.

- En una segunda fase de cultivos el sistema de asesoramiento en riego se programó para ajustar las necesidades de las plantas en función del tipo de cultivo, el estado fenológico, el estado de humedad del suelo y, en su caso, de la hidratación de las plantas. Se trató de ajustar el consumo a las necesidades estrictas de la planta sin afectar a su salud y a la productividad del cultivo o su calidad. Se consigue con ello

Figura 5.2. Radiotransmisor y placa fotovoltaica



un ahorro de agua que se evaluará y analizará en su viabilidad agronómica, productiva y económica.

Este sistema de gestión de la demanda de riego es realmente eficaz, como se ha podido comprobar tanto en numerosas experiencias como en su aplicación práctica por numerosos agricultores de regadío en la actualidad.

Figura 5.3. Medidor del grosor del tallo (dendrómetro)



Figura 5.4. Contador de agua conectado al radiotransmisor



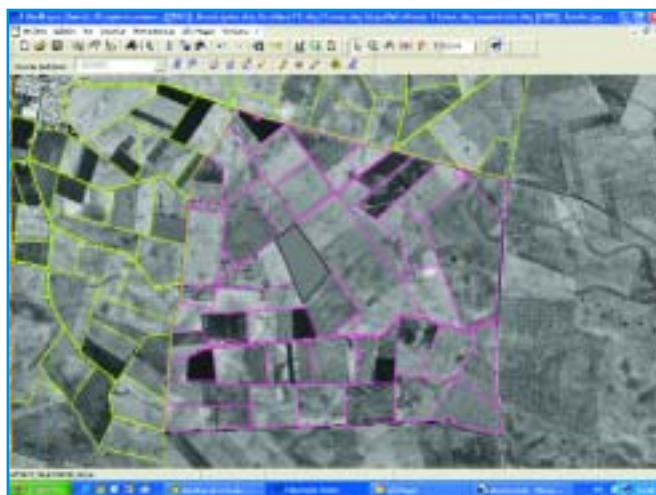
Figura 5.5. Medidor de riego en melón



Figura 5.6. Sensor FDR y medidor de riego en maizal



Figura 5.7. Herramienta de autogestión



3.2. Herramienta de autogestión para comunidades de regantes

El objetivo es facilitar a las comunidades de regantes la gestión compartida de la información de los usuarios. Consta de los siguientes elementos:

- Un módulo de registro de información comunitaria con posibilidad de actualización.
- Un sistema de gestión de la información comunitaria basado en un *Sistema de Información Geográfica* (SIG).

El módulo de registro permite introducir, compartir y manejar información de los agricultores y las condiciones agronómicas de los cultivos, con el objetivo de conseguir una eficiente gestión del riego y otros insumos en el ámbito de las comunidades de regantes, así como hacer previsiones de consumo de agua y otros productos.

El SIG permite el manejo y la visualización de datos catastrales y cartográficos, así como de distintos tipos de imágenes y de bases de datos, además de posibilitar la integración de los datos procedentes del *sistema de asesoramiento para riegos* del proyecto HAGAR. La herramienta de autogestión permite combinar esta información con los datos proporcionados por los regantes, con el objetivo de prever posibles esce-

narios de consumo de agua con anticipación y mejorar la gestión, la calidad y la productividad.

La herramienta de autogestión permitirá la realización de operaciones como:

- Comparación de datos catastrales con los reales, observación de parcelas en cultivo, búsqueda de parcelas por titular y medición de superficies.
- Modificación de la cartografía de expedientes en caso de la localización de imprecisiones, con realización de informes al respecto.
- Almacenamiento de datos auxiliares (títulos de propiedad escaneados...) con los datos gráficos y alfanuméricos de cada explotación.
- Previsión del consumo de agua y otros insumos.

1. Nuevos retos de la PAC: calidad y medio ambiente

La PAC se creó en los años 60, cuando Europa era deficitaria en gran número de alimentos. Por ello, esta política común se dirigió a resolver esta situación así como a igualar la renta agrícola a la renta urbana y suministrar productos agrarios al consumidor a precios razonables, apoyando los precios y las rentas agrarias mediante operaciones de intervención y sistemas de protección fronteriza. Con esta política, la UE se convirtió en el primer importador y el segundo exportador más importante de productos agrícolas del mundo.

De los objetivos anteriores sólo el de evitar la falta de alimentos ha sido sobradamente conseguido. No así los dos siguientes, pues si bien las rentas agrarias han aumentado, ha sido debido a la desaparición de la mayoría de las explotaciones. En cuanto al precio de los productos agrarios, ha salido más beneficiada la industria agroalimentaria.

A lo largo de su historia, la PAC ha sufrido diversos cambios. Con el tiempo, se centró en la disminución de los precios y la concesión de ayudas compensatorias a los productores para acabar en la reforma actual. Cuando la Comunidad Europea empezó a tener grandes excedentes de productos agrícolas, comenzaron a verse los fallos del sistema, entre otros las tensiones en las relaciones con terceros países. Ante esta situación había ya un acuerdo general en torno a la necesidad de una reforma, la cual a su vez está muy relacionada con las normas que la Organización Mundial de Comercio establece con el fin de lograr un comercio mundial más justo para todos.

Los nuevos retos a los que se enfrenta la PAC son los siguientes:

- Excedentes en el mercado agrícola mundial, con lo que los agricultores verían bajar los precios de sus productos.

- Con las distintas ampliaciones de la UE, la gestión de la PAC se ha ido haciendo más y más compleja, siendo necesario plantearse nuevos y más simples criterios y mecanismos de control, sobre todo de cara a la ampliación a los países del Este, cuyas economías se apoyan fundamentalmente en el sector agrario.

- Uno de los principales objetivos comunitarios es mantener las zonas rurales, para lo cual, además de lograr una diversificación de la economía rural (favoreciendo la creación de pequeñas y medianas empresas, y promoviendo el uso de las nuevas tecnologías), es indispensable una agricultura competitiva y sostenible. Para esto, será necesario garantizar que el gasto agrícola contribuya más de lo que lo ha hecho hasta ahora a necesidades como la protección de la naturaleza o el apoyo a los jóvenes agricultores.

Figura 6.1. Uva



Figura 6.2. Cebolla



Figura 6.3. Melón



Para afrontar estos retos, en la nueva reforma de la PAC se proponen instrumentos como la trazabilidad, la condicionalidad o la denominación de calidad, cobrando más importancia las medidas agroambientales. Todo ello como respuesta a las nuevas demandas de la sociedad.

Los consumidores están cada vez más concienciados con el cuidado del medio ambiente y de su salud y de cómo los alimentos que consumen pueden influir en ambos aspectos. Es decir, el consumidor quiere saber cómo se han obtenido los alimentos y exige alimentos de calidad, sanos y seguros, así como que sean producidos de forma ética y respetuosa con el medio ambiente y el bienestar de los animales.

1.1. Trazabilidad

La trazabilidad, obligatoria a partir de enero de 2005 para todos los productores, es el mecanismo por el cual la UE obliga a que todos los alimentos —además de incorporar en las etiquetas la fecha de envasado, caducidad y composición— contengan la información mínima que certifique todos los pasos seguidos en su procesamiento y obtención, al igual que su origen.

Es razonable que, ya que parte de los ingresos de los agricultores y ganaderos proviene de subvenciones de la UE pagadas por todos los ciudadanos, éstos tengan el derecho de conocer de dónde proceden los alimentos que compran. Además, la trazabilidad supone un beneficio importantísimo para los agricultores, pues los consumidores conocen la procedencia de los alimentos, cómo se han obtenido, etc., de forma que se establece una relación más estrecha con el consumidor.

1.2. Ayudas desacopladas y condicionalidad

El elemento clave de la actual reforma de la PAC es el establecimiento de una ayuda única por explotación, independiente del tipo de cosecha y volumen de la misma y, por lo tanto, independiente de la producción. La finalidad de esta *ayuda desacoplada* es la de compensar las rentas de los agricultores para que produzcan libremente en función de las alternativas y opciones del mercado.

Dicha ayuda está condicionada al cumplimiento de ciertas condiciones o prácticas relacionadas con el respeto al medio ambiente y las buenas prácticas agrarias, la llamada *condicionalidad*. Estos requisitos son:

1. Suelo

- Prohibido el laboreo a favor de pendiente, en pendien-

tes superiores al 10% (herbáceos) o 15% (leñosos).

- Para herbáceos, no labrar desde el fin de cosecha hasta el 1 de septiembre.
- No arrancar leñosos de secano en pendientes de más del 15%.
- Se establecen nuevos criterios de rotación de cultivos y cubiertas vegetales en áreas de elevado riesgo de erosión.

2. Materia orgánica

- Prohibido quemar rastrojos, salvo excepciones fitosanitarias.
- Eliminación de restos de poda y cosechas según normativa.

3. Biodiversidad

- Prohibido quemar y roturar pastos.
- Mantener el arbolado de los pastos.

Figura 6.4. Cultivo de melón



Figura 6.5. Cosecha de cebollas



- Mantener mínima la carga ganadera de 0,1 UGM/ha en pastos permanentes.
- Limpiar la vegetación no deseada, según criterio de las Comunidades Autónomas.
- Prohibido alterar linderos y elementos estructurales de las explotaciones.
- Instalar sistemas de medición de agua de riego en explotaciones de regadío.
- Prohibido usar fitosanitarios y fertilizantes sobre terrenos encharcados o con nieve.
- Prohibido tirar vertidos incontrolados.
- Utilizar fosas, estercoleros o balsas en explotaciones ganaderas de estabulación permanente o semipermanente.

1.3. Ayudas agroambientales

Estas ayudas agrarias van destinadas a compensar a aquellos productores que realizan prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente y son distintas de los pagos directos de la PAC. En Castilla-La Mancha están disponibles, para el año 2005, las siguientes ayudas agroambientales:

- Girasol de secano.
- Agricultura ecológica (para todos los cultivos excepto arroz y cítricos).
- Plan de Compensación de Rentas en La Mancha Occidental y Campo de Montiel.
- Razas autóctonas en peligro de extinción.

2. La política europea del agua y el regadío

El consumo de agua para uso agrícola supera el 70% del consumo total nacional. La aparente mala gestión del agua en los regadíos españoles (grandes pérdidas de agua y uso en cultivos excedentarios) obliga a la aplicación de medidas para mejorar la eficiencia. Concretamente:

- Políticas públicas de asignación del agua (reasignación de recursos en función de su interés social).
- Tarifación del agua (tasa cobrada por el Estado según las cantidades consumidas del recurso).
- Introducción de mercados del agua (compra-venta de derechos de agua regulada por la Administración Hidráulica).

Esta situación de economía del agua en España es compartida por otros Estados de la UE. Por este motivo, las instituciones de la Unión han decidido desarrollar una política común en materia de gestión del agua.

La Comisión Europea pidió que se estableciese un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco de Agua, DMA). El texto aprobado incluye la obligatoriedad de recuperar íntegramente los costes del uso del agua. Son necesarias estas medidas de tarificación del agua para incentivar a los usuarios hacia el uso eficiente del recurso. De esta forma, el ahorro de agua conseguido podría redistribuirse entre otros usos, bien productivos, bien ambientales (caudales ecológicos, etc.), según las preferencias de la sociedad.

Se han realizado las siguientes propuestas sobre tarifas del agua:

- **Tarifa blanda.** Serviría para incentivar ahorro de agua. El agricultor sólo tendría que pagar una parte del precio real del agua.

Figura 6.6. Riego por aspersión móvil



Figura 6.7. Remolacha



Figura 6.8. Maíz



Figura 6.9. Cebada



- **Tarifa dura.** El agricultor cargaría con los gastos necesarios que conlleva el funcionamiento de los regadíos (pantanos, canales, coste ambiental, etc.). Este cálculo se ha realizado para pequeñas cuencas y para las diferentes comunidades de regantes.

- **Tarifa media.** Intermedia entre las dos anteriores.

Diversos estudios realizados para el caso español han puesto de manifiesto que el establecimiento de tarifas puede no estimular los cambios deseados en los usos del agua y, además, provocar efectos no deseados, como:

- Un mayor precio del agua podría traer consigo un cambio de cultivos y técnicas agrícolas que implican una menor renta agraria y reducción de empleo, ya que no hay que olvidar que los cultivos de regadío son más rentables e intensivos en trabajo que los de secano.

- Del mismo modo, el desarrollo de un mercado del agua implicará en el futuro que las pequeñas explotaciones aún existentes tengan una traba más con la que competir con las grandes explotaciones, pues éstas disponen de mayores recursos.

- Desde una perspectiva social, el uso racional del agua debería venir promovido por la mentalización y aplicación de técnicas de reducción del consumo, no exclusivamente vía tarifas.

Páginas de organismos oficiales

Ministerio de Medio Ambiente: www.mma.es

Ministerio de Agricultura: www.mapya.es

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha: www.jccm.es

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA): www.inia.es

Noticias sobre agricultura

www.life-hagar.com

www.agrodigital.com

www.agroinformacion.com

www.infoagro.com

www.agroterra.com

www.agricultura.com

Otras

Plan Hidrológico Nacional: www.mma.es/rec_hid/plan_hidro/

Portal del agua en Europa: www.europa.eu.int/index_es.htm

Instituto Nacional de Meteorología: www.inm.es

WWF/Adena: www.wwf.es • www.panda.org



Un proyecto pionero que promueve el uso eficiente del agua en la agricultura mediante tecnologías innovadoras, con el fin de evitar la sobreexplotación de las aguas subterráneas y preservar así los humedales castellanomanchegos. Está financiado por fondos LIFE de la Unión Europea, siendo beneficiario Acciones Integradas de Desarrollo. WWF/Adena, APRODEL y el Colegio de Doctores y Licenciados de Castilla-La Mancha son sus socios, y está cofinanciado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, la Confederación Hidrográfica del Guadiana y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



Proyecto cofinanciado por:

