

Manuales FIA de Apoyo a la  
Formación de Recursos Humanos  
para la Innovación Agraria

# Manejo de agua en frutales



GOBIERNO DE CHILE  
FUNDACIÓN PARA LA  
INNOVACIÓN AGRARIA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos



---

# Manuales FIA de Apoyo a la Formación de Recursos Humanos para la Innovación Agraria

---

PARA PROFESORES(AS) DE EDUCACIÓN MEDIA TÉCNICO-PROFESIONAL AGROPECUARIA

## Manejo de agua en frutales



GOBIERNO DE CHILE  
FUNDACIÓN PARA LA  
INNOVACIÓN AGRARIA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

MANUAL

**Manejo de agua en frutales**

Dirigido a profesores(as) de Educación Media Técnico-Profesional Agropecuaria

Registro de Propiedad Intelectual N° 168.567

ISBN N° 978-956-7874-73-6

Santiago, Chile  
Diciembre de 2007

Fundación para la Innovación Agraria - Universidad de Concepción

AUTORA:

**Ximena Orrego V.**

Ingeniero Civil Agrícola

Facultad de Ingeniería Agrícola

Universidad de Concepción (campus Chillán)

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

CORRECCIÓN

Óscar Aedo I.

IMPRESIÓN

Salviat Impresores

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida,  
siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.



---

# Contenidos



Prólogo.....	5
Introducción .....	7
<hr/>	
CAPÍTULO I.	
<b>Relaciones hídricas en frutales</b>	
1.1. Evaporación en frutales .....	9
1.2. Necesidades hídricas en frutales.....	15
1.3. Relaciones agua-producción en frutales....	18
1.4. Patrones de extracción de agua .....	19
<hr/>	
CAPÍTULO II.	
<b>Métodos de riego en frutales</b>	
2.1. Antecedentes del suelo.....	23
2.2. Selección de métodos de riego para frutales .....	26
2.3. Eficiencia o calidad del riego.....	30
2.4. Fertirrigación para frutales.....	33
2.5. Programación del riego.....	35
<hr/>	
CAPÍTULO III.	
<b>Drenaje</b>	
3. Aspectos básicos de drenaje y su impacto en la producción frutícola .....	39
<hr/>	
CAPÍTULO IV.	
<b>Sustentabilidad de la calidad del recurso hídrico</b>	
4. Riego y contaminación .....	45
<hr/>	
<b>Bibliografía .....</b>	<b>48</b>
<hr/>	



---

# Prólogo

En el esfuerzo permanente por fortalecer la agricultura del país como una actividad fundamental no sólo desde el punto de vista económico, sino también desde la perspectiva de un desarrollo territorial socialmente justo y ambientalmente sustentable, la innovación ha tomado una importancia creciente en las políticas sectoriales y en la gestión del Ministerio de Agricultura. En concordancia con ello, se han redoblado también los esfuerzos de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), en su objetivo de impulsar la innovación en las distintas actividades de la agricultura del país.

En este sentido, se ha entendido que el fortalecimiento de los procesos de innovación tecnológica requiere fortalecer también las capacidades de todas las personas que intervienen en dicho proceso. Así, la Fundación para la Innovación Agraria, a través de sus iniciativas de formación, ha orientado una parte de sus esfuerzos en financiar la ejecución de diversos cursos, para distintos públicos objetivos, en una amplia gama de temas productivos vinculados con el sector.

Específicamente, durante el año 2006, FIA llevó a cabo la ejecución de cursos dirigidos a profesionales, técnicos, profesores de Liceos Técnicos Profesionales de especialidad agropecuaria, y representantes de la Agricultura Familiar Campesina. Como resultado de estos cursos se elaboraron diversos manuales, en temas tan diversos como producción ovina, compostaje, elaboración de queso, producción de flores y manejo de agua en frutales.

La Fundación para la Innovación Agraria, consciente de la importancia que tiene para los actores del sector agrícola nacional acceder a información de calidad sobre diversos temas, se propuso editar, publicar y distribuir los manuales elaborados en el marco de los cursos de formación realizados el año 2006.

Específicamente, los manuales que FIA pone a disposición de los actores del sector agrícola son los siguientes:

1. Manual dirigido a profesionales y técnicos:

- “Producción ovina: desde el suelo a la gestión”

2. Manuales dirigidos a productores pertenecientes a la Agricultura Familiar Campesina:

- “Manejo de agua en frutales”
- “Utilización de leche de vaca, cabra y oveja en la pequeña empresa”
- “Elaboración de queso chanco en la pequeña empresa”
- “El compostaje y su utilización en agricultura”
- “Producción de flores cortadas, V Región”
- “Producción de flores cortadas, IX Región”

3. Manuales dirigidos a profesores de la enseñanza media técnico profesional de especialidad agropecuaria:

- “Manejo de agua en frutales”
- “Producción ovina”
- DVD complementario al manual de “Producción ovina”
- DVD “Metodología de la enseñanza de técnicas de elaboración de queso chanco”

Finalmente, es importante señalar que estos manuales estarán disponibles para consulta en cada uno de los Centros de Documentos que FIA tiene en el país, y que también será posible acceder a ellos a través del sitio web de la Fundación.





# Introducción

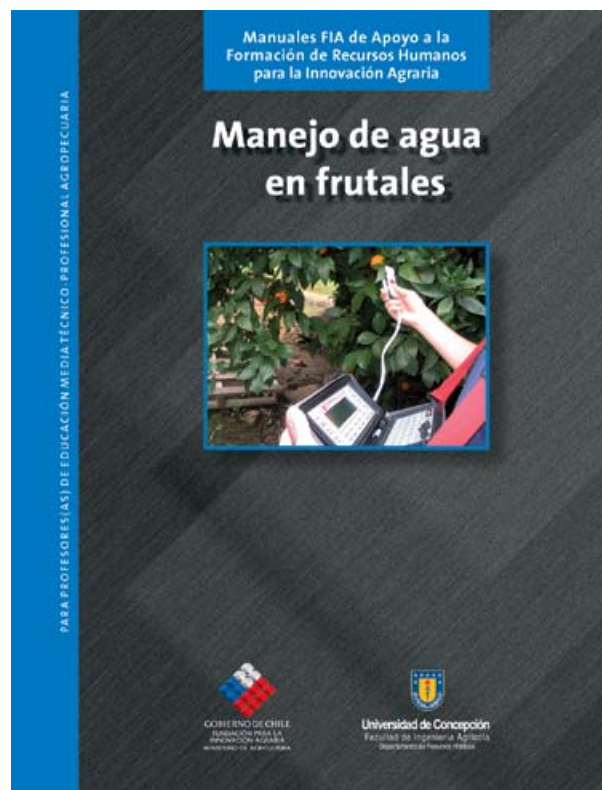
El clima privilegiado y la ubicación estratégica de nuestro país son dos elementos fundamentales en las características de nuestra producción frutícola. Noches frías y días calurosos típicos de la zona central otorgan los requerimientos necesarios de horas de frío para la producción frutícola. Por otra parte, la ubicación geográfica permite ofrecer productos frescos, de alta calidad, a los países consumidores ubicados en el Hemisferio norte cuando se ha terminado la producción local.

Los tratados de libre comercio firmados otorgarán posibilidades excepcionales para que nuestros productores puedan entregar mayor cantidad de producto, en la medida que estos cumplan con los estándares de calidad que se exijan. Ello significa entonces que, ahora más que nunca, los agricultores deberán hacer esfuerzos especiales para manejar en forma óptima los distintos factores que inciden en la producción.

La experiencia indica que entre todos los factores productivos que controla un agricultor, el riego es uno de los cuales en que existe el mayor descuido y falta de conocimiento en cuanto al efecto que tiene el mal manejo del agua, tanto en la cantidad como en la calidad del producto que se desea obtener.

No obstante la importancia que reviste como factor de producción, el uso y manejo del agua de riego a nivel predial es uno de los aspectos de la actividad agrícola nacional aún muy deficitario en cuanto a oportunidad, cantidad de agua aplicada y calidad del riego.

Considerando los aspectos indicados anteriormente, el objetivo general de este Manual de Manejo de Agua en Frutales es presentar y desarrollar los conceptos relacionados con el uso sustentable y manejo óptimo de los recursos hídricos.





## CAPÍTULO I. Relaciones hídricas en frutales

### 1.1. Evaporación en frutales

#### ¿Qué es la evapotranspiración?

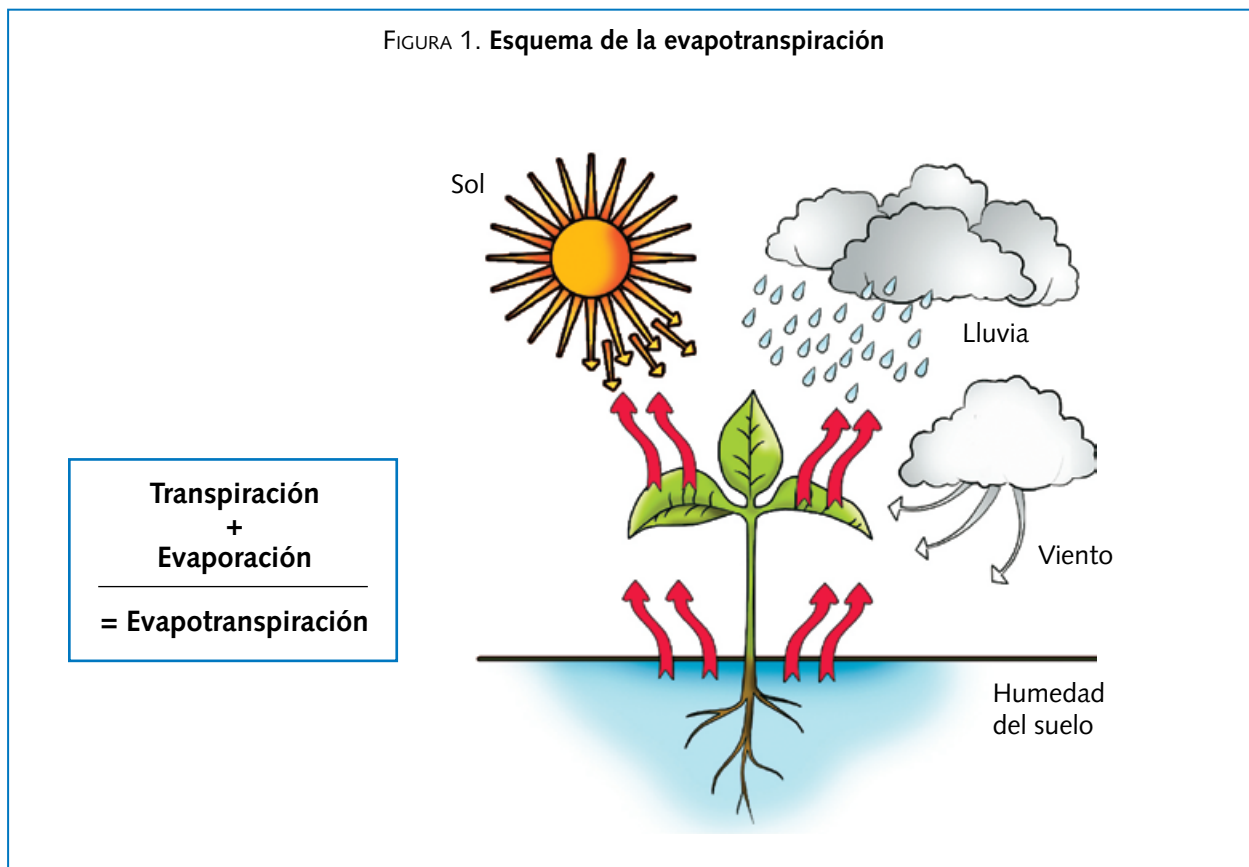
La planta absorbe el agua desde el suelo por sus raíces. Ambos, suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas. Este proceso se conoce como evapotranspiración. (Figura 1).

La transpiración de las plantas es la pérdida de vapor de agua a través de los estomas (poros minúsculos) y la cutícula, que se encuentran principalmente en la epidermis de las hojas. La radiación solar (luz visible u otras formas de energía radiante provenientes del sol) actúa sobre la apertura y cierre de los estomas. Cuando la luz desaparece éstos se cierran, y la transpiración, supuestamente, se detiene. Con relación a la humedad relativa (presión de vapor de la atmósfera), mientras más alta sea menor es la transpiración.

La temperatura está directamente relacionada con la presión de vapor, tanto al interior de los órganos de la hoja, como de la atmósfera circundante; a mayor temperatura menor es la presión de vapor y, por lo tanto, mayor es la transpiración. El viento aumenta el gradiente de presión de vapor a través de los estomas y, en consecuencia, aumenta la transpiración. Todo lo anterior implica la pérdida de agua desde la planta, pero, para que realmente esta pérdida se produzca, la planta tiene que haber absorbido agua desde el suelo a través de las raíces. Ambos procesos, absorción y transpiración, son esenciales para la sobrevivencia de las plantas. El proceso de evaporación desde el suelo adyacente a las plantas (sin ser utilizada por ellas), incluida la del agua depositada por el rocío y la lluvia, ocurre conjuntamente con la transpiración.

La evaporación se define como el proceso físico que ocurre cuando existe la energía necesaria para cambiar de fase líquida a gaseosa, ésta es transferida a la atmósfera la cual es capaz de albergar el vapor desprendido de la superficie.

FIGURA 1. Esquema de la evapotranspiración



## Evapotranspiración = Evaporación del suelo + transpiración de las plantas

La suma de estos dos procesos es lo que se define como evapotranspiración.

Es importante mencionar que los requerimientos de agua de los frutales varían dependiendo de la especie, de la variedad y del período fenológico en que se encuentren. También influye la época del año. En verano, una pradera requiere más agua que en invierno o primavera.

Para determinar el consumo de agua de un cultivo cualquiera, se utiliza como patrón de comparación una pradera bien abastecida de agua y libre de plagas y enfermedades. El agua consumida por el pasto más la evaporada directamente desde el suelo constituye la evapotranspiración de referencia (ETP) o evapotranspiración potencial. Se mide normalmente en mm/día o mm/mes.

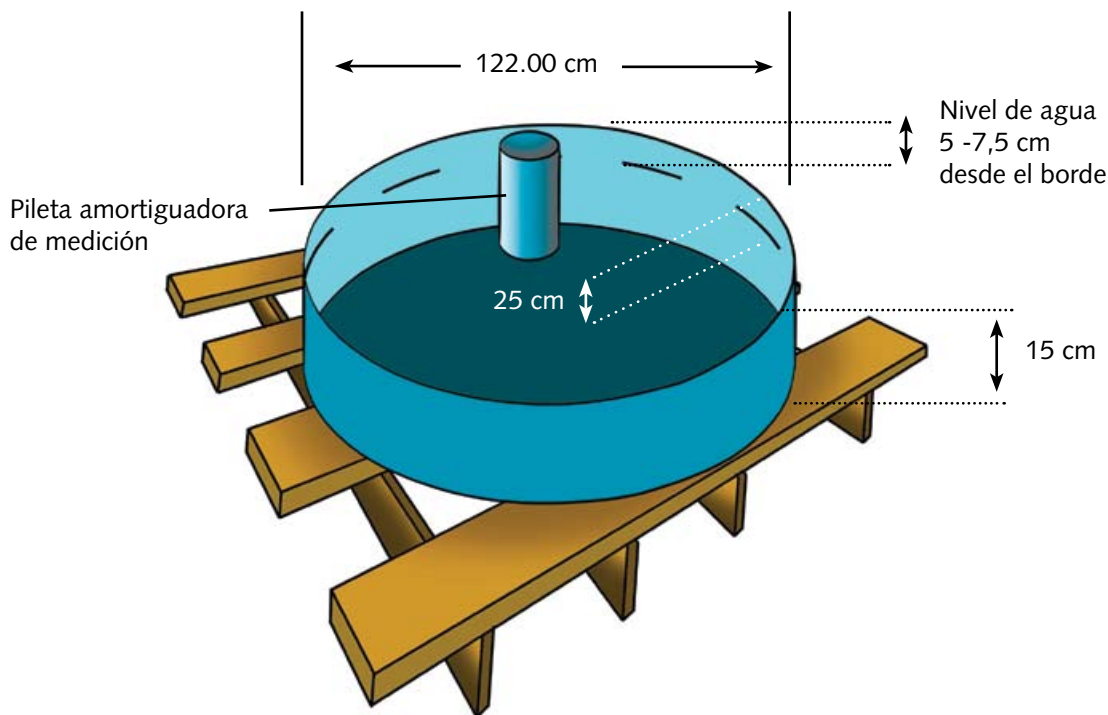
### *¿Cómo estimar la evapotranspiración de referencia o potencial?*

La evapotranspiración de referencia (ETP) corresponde a la demanda de agua máxima que se produce en una localidad en un momento determinado.

Para estimarla, lo más sencillo es utilizar el método del Evaporímetro de Bandeja Clase A, que relaciona la evapotranspiración potencial con la evaporación de una superficie de agua libre, ya que es un buen integrador de los factores climáticos (radiación solar, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire).

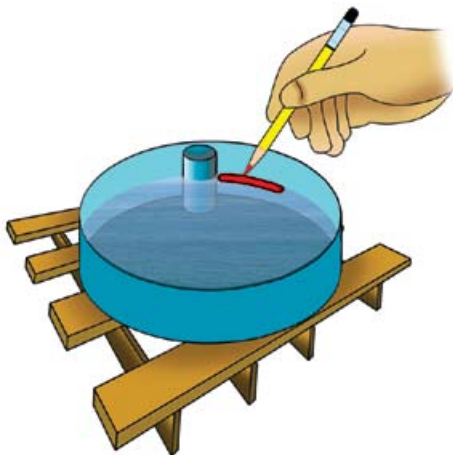
La bandeja Clase A (estandarizada para poder comparar datos de distintas localidades y latitudes) es un recipiente cilíndrico de lata galvanizada de 122 cm de diámetro y 25 cm de altura, colocado sobre apoyos de madera que descansan sobre el suelo, como se presenta en la Figura 2. El fondo del estanque debe tener una diferencia de altura de 15 cm. con respecto a la superficie del suelo y se debe llenar con agua limpia, procurando mantener el nivel a una distancia de 5 a 7,5 cm. del borde.

FIGURA 2. Bandeja de evaporación clase A



### ¿Cómo medir la evaporación desde la bandeja Clase A?

Llenar y marcar un determinado nivel de agua dentro del estanque, que servirá de punto de referencia para la medición.



Cada día se llenará el estanque hasta el nivel establecido.



Para la medición se utilizarán envases de 1 y 0,1 litro; en la que un litro de llenado equivale a un milímetro de evaporación en el estanque.



La estimación de la evapotranspiración de referencia o potencial ( $ET_p$ ) en función de la evaporación de bandeja ( $E_b$ ), se basa en la ecuación 1:

$$ET_p = E_b * K_p$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/día)

$E_b$ : Evaporación de bandeja (mm/día)

$K_p$ : Coeficiente del estanque

El coeficiente del estanque ( $K_p$ ) no puede ser considerado constante para cualquier situación, éste varía de acuerdo al color del estanque, a su ubicación, velocidad del viento y humedad relativa.

Para tener en cuenta todos estos factores, existen tablas en donde aparecen los valores de  $K_p$  en función de la humedad del aire, condiciones de viento y ubicación del estanque. En general, para condiciones normales de verano (vientos moderados y humedad relativa entre 40 a 50%)  $K_p$  variará entre 0,6 y 0,8.

### ¿Cómo estimar la evapotranspiración de cultivo?

Una vez definida la evapotranspiración potencial (ETP) de una localidad en la época de máxima demanda, corresponde determinar los requerimientos del cultivo que interesa regar, es decir la Evapotranspiración del Cultivo (ETc). Para estimar ETc debe considerarse que ésta depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, y de la disponibilidad de agua en el suelo.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial,  $ET_p$  (o evapotranspiración del cultivo de referencia), según la ecuación 2

$$ET_c = ET_p * K_c$$

Donde :

ETc: Evapotranspiración de cultivo mm/día, mm/mes o mm/temporada

ETp: Evapotranspiración potencial mm/día mm/mes o mm/temporada

$K_c$  : Coeficiente de cultivo adimensional que varía con el cultivo y su desarrollo vegetativo

En el Cuadro 1 se presentan los coeficientes de cultivo que presentan las especies frutales de mayor presencia en el país, durante su respectiva época de máxima demanda.



**CUADRO 1. Coeficientes de cultivo para el periodo de máxima demanda**

Frutal	Coefficiente de cultivo (Kc)
Manzano	1,25
Palto	0,85
Cerezo	1,25
Cítricos	0,65
Peral	1,15
Duraznero	1,15
Ciruelo	1,15
Uva de mesa	0,90 – 1,0

### **Técnicas (equipos) para determinar el estatus hídrico del frutal**

Al esperar que aparezcan síntomas visuales de falta de agua en la planta para tomar la decisión de regar, se corre riesgos, ya que, por lo general, cuando esos síntomas se presentan, las plantas están sufriendo déficit hídrico y por lo tanto, se afectan los rendimientos y en casos extremos pueden dañarse en forma irreversible.

Existen diversas técnicas para determinar el estatus hídrico de la planta. Lo ideal sería monitorear directamente el árbol, pero razones de costo y/o falta de investigaciones específicas por especie y variedad, hacen necesario recurrir a más de un tipo de monitoreo en la planta (medición directa) o a las mediciones de agua en el suelo (medición indirecta).

**a). Estatus hídrico de la planta:** Entre las mediciones más comunes o frecuentes que se podrían realizar en la planta, destacan:

- Potencial de agua (Bomba Scholander, Foto 1a)
- Resistencia o conductancia estomática (porómetro, Foto 1b)
- Temperatura de la cubierta vegetal (Termómetro infrarrojo)
- Flujo de savia (Medidores de flujo)
- Dendometría (Dendómetro)

La pistola infrarrojo mide la temperatura (°C) de la hoja, la cual se correlaciona con la temperatura del aire, para determinar el índice de estrés hídrico de un cultivo.

Otro indicador del estatus hídrico del árbol comúnmente aceptado es el potencial de agua (hídrico) en la hoja. El potencial hídrico se mide con una cámara de presión (o bomba Scholander), que en términos simples, mide “la presión sanguínea” de la planta. Por supuesto, en la planta circula agua en lugar de sangre, y la presión en su interior corresponde a una tensión (presión negativa) producto de la evaporación del agua desde las hojas. El agua se mueve



FOTO 1a. Bomba Scholander



FOTO 1b. Porómetro

dentro de la planta principalmente a través de muy pequeñas células interconectadas, que colectivamente se llama xilema, que llevan agua de las raíces a las hojas, siendo la evaporación del agua desde las hojas lo que provoca la fuerza motriz que hace circular el agua. Por lo tanto, el agua en la planta está bajo succión y su magnitud no es constante, varía en la medida que aumenta la transpiración de la planta o bien disminuye la humedad del suelo explorado por el sistema radicular. A menor disponibilidad de agua en el suelo mayor es la tensión del agua en la planta. En otras palabras, el potencial hídrico disminuye.



En la Figura 3 se presenta un esquema de la cámara de presión. La cámara de presión es un dispositivo de acero, con un manómetro en su parte exterior, que permite aplicar presión a una hoja (o un brote pequeño). La hoja se coloca en su interior, con el pecíolo hacia el exterior, a través de un orificio.

En forma controlada se aumenta la presión dentro de la cámara, de manera que la cantidad de presión que se necesita para que el agua aparezca por el pecíolo indica cuál es la tensión, o potencial del agua en la hoja. La presión al interior de la cámara se mide en un manómetro y se provoca inyectando gas nitrógeno, desde un balón que contiene este elemento a alta presión. Un valor elevado de presión medido en la cámara corresponde a un valor alto de tensión y a un grado alto de estrés hídrico. Las unidades de presión que la mayoría normalmente usa es el Bar (1 Bar = 1 atmósfera = 1 kg/cm<sup>2</sup> = 14.5 lb/pulg<sup>2</sup> = 10 m.c.a) y el Mega Pascal (1 MPa = 10 bares). En la práctica, sin embargo, el único factor importante para el operador de una cámara de presión es reconocer la presión del “punto final” que es cuando el agua apenas empieza a aparecer por el extremo cortado del pecíolo de la hoja en el exterior de la cámara.

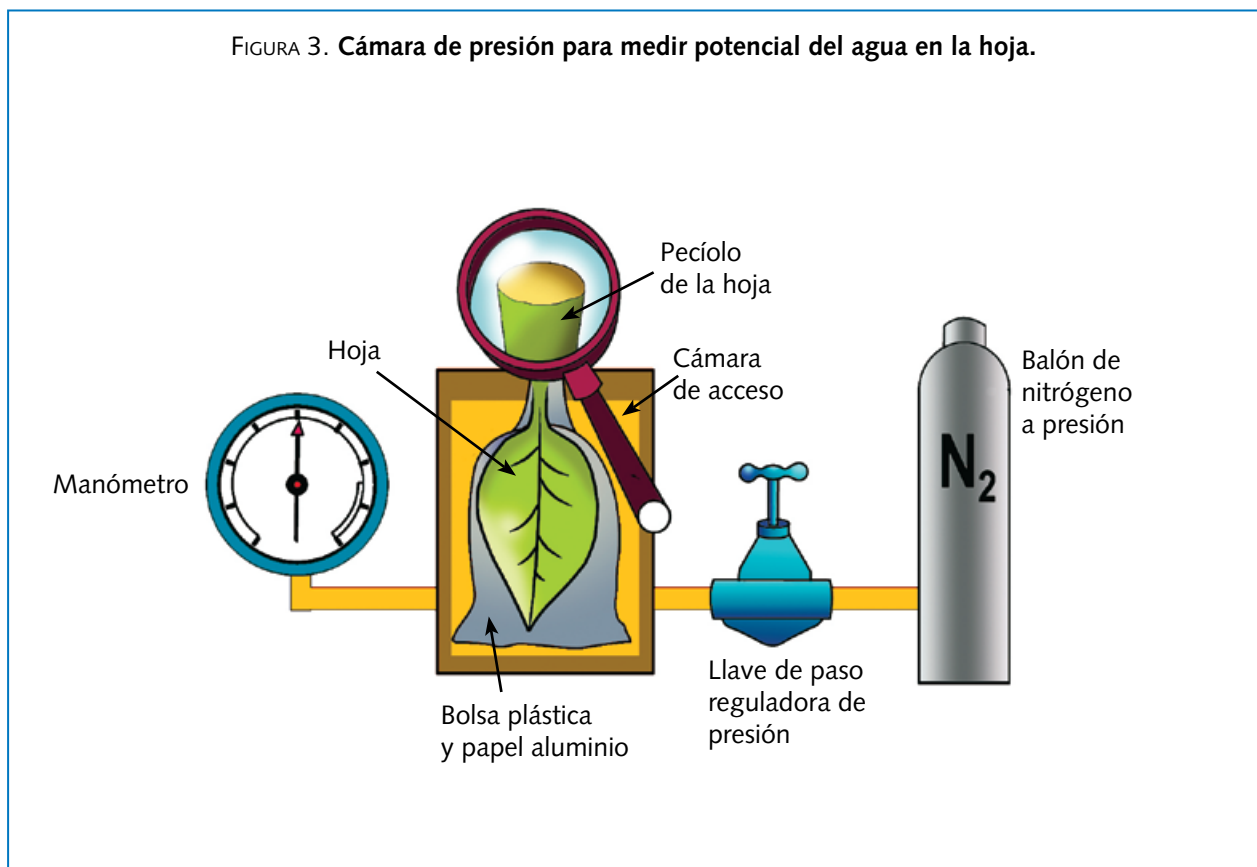
Dado que la presión medida en el “punto final” corresponde a la tensión del agua en la hoja, el valor obtenido se considera negativo, y corresponde al potencial de agua en la hoja. Mientras más negativo es el potencial de agua en la hoja mayor es el déficit hídrico o estrés que presenta la planta.

**Nota:** Cuando hablamos de tensión del agua en la hoja nos referimos a un valor positivo, en cambio, cuando se habla de potencial de agua en la hoja es negativo. Por ejemplo, si la cámara de presión nos entrega un valor de 5 Bar de tensión es lo mismo que decir -5 Bar de potencial.

**b). Contenido de humedad del suelo:** Una forma indirecta de estimar el estado hídrico de la planta es midiendo el contenido de humedad del suelo. En las mediciones de contenido de agua en el suelo factibles de poder realizar a nivel de campo, destacan:

- Contenido de humedad (gravimetría, neutrometría, FDR, etc. Foto 2).
- Tensión de agua (tensiómetro. Figura 3b)

FIGURA 3. Cámara de presión para medir potencial del agua en la hoja.



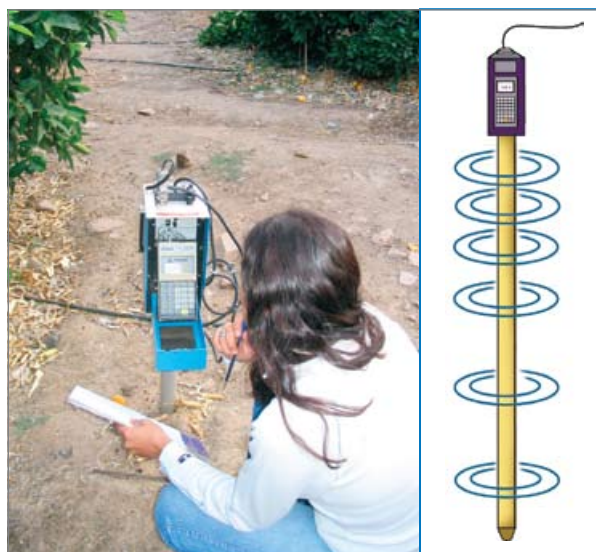
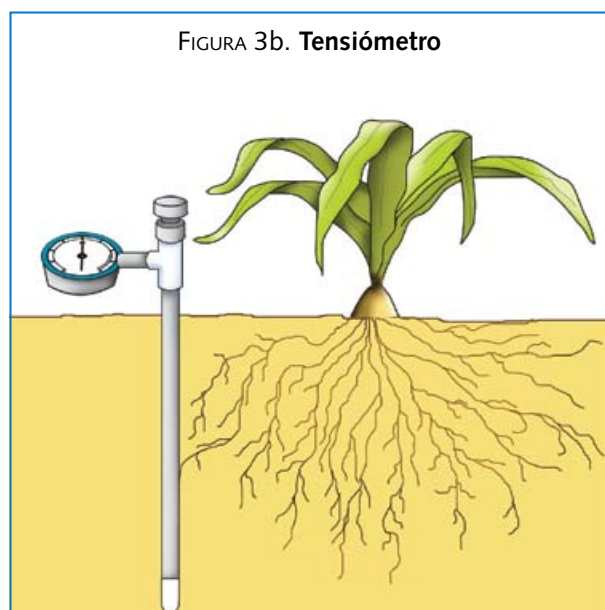


FOTO 2. Equipos para medir contenido de humedad del suelo (izquierda, FDR; derecha, neutrómetro).

Este tipo de monitoreo del agua en el suelo exige hacer mediciones frecuentes, a intervalos regulares de tiempo, justo antes del riego en caso de goteo, cinta o microaspersión o bien en periodos un poco más espaciados en caso de regarse por surcos u otro método superficial. De este modo, será posible observar la tendencia en los cambios de humedad del suelo y tomar las medidas correctivas que la situación requiera. Asimismo, el muestreo debe ocurrir en aquellos puntos característicos tanto en distancia del emisor y/o tronco del árbol, como en profundidad. De este modo, será posible realizar una caracterización de la evolución de humedad del suelo y su relación con la cantidad de agua que se está aplicando.

Para estimar el contenido de humedad del suelo como indicador existen diversos métodos. El más sencillo y económico es por apreciación visual y al tacto. Consiste en tomar muestras de suelo con un barreno, a distintas profundidades, y con apoyo de una pauta (Cuadro 2), que define las sensaciones a las distintas texturas, estimándose su contenido de humedad (Foto 3). Este método no es exacto, pero con experiencia, se obtiene estimaciones con un 15 a un 20 por ciento de error.



Foto 3. Muestra de suelo a través de un barreno

A medida que los cultivos son más rentables, se recomienda usar métodos más precisos. Como, por ejemplo, usar los tensiómetros, que son instrumentos que dan una medida de la humedad del suelo más confiable. Las mediciones se toman en unidades de presión denominadas centibares. El tensiómetro está graduado entre 0 y 100.

**CUADRO 2. Pauta para estimar por sensaciones visuales y de tacto la humedad del suelo**

<b>Humedad aprovechable</b>	<b>Textura gruesa</b>	<b>Textura gruesa moderada</b>	<b>Textura media</b>	<b>Textura fina o muy fina</b>
100% (CC)	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.
75 a 100%	Tiende a pegarse ligeramente. Permite formar una bola que se disgrega fácilmente.	Permite formar una bola que se disgrega fácilmente. No se adhiere a la mano.	Permite formar una bola que se moldea fácilmente. Muy adhesiva a la mano.	Se forma un cilindro con facilidad al amasarla entre los dedos. Muy adhesiva.
50 a 75%	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Al presionarla tiende a formar una bola, pero no mantiene su forma.	Permite formar una bolita, relativamente plástica. Algo adhesiva al presionarla fuerte.	Se forma bolita o pequeño cilindro al amasarla entre los dedos.
25 a 50%	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Algo desmenuzable, pero se une al someterlo a presión.	Relativamente moldeable, forma bola al presionarla con fuerza.
0 a 25% (0% PMP)	Seco, suelto, granulado se escurre entre los dedos.	Seco, suelto, se escurre entre los dedos.	Pulverulento, seco, fácilmente desmenuzable.	Duro, compactado, agrietado, con terrones en la superficie.

Una lectura de "0" indica que el suelo está cercano a la saturación y que las plantas pueden sufrir por asfixia. Si el riego ha sido bien realizado, la lectura debe ser cercana a 0 después de 24 horas. El instrumento debe ubicarse en la zona de máxima concentración de raíces. Si el riego se hace por surcos, debe ponerse lo más cerca del surco, protegido del paso de la maquinaria. Las lecturas que indican cuándo regar son variables y dependen del tipo de suelo, del clima y del cultivo.

## 1.2. Necesidades hídricas en frutales

Todo frutal requiere de un volumen determinado de agua para crecer, desarrollarse y producir, pero no toda el agua que se aplica en un riego, o que es aportada por las lluvias, es utilizada por ellos. Para lograr el máximo aprovechamiento del agua es esencial conocer algunos factores ambientales, como el suelo y el clima, donde la planta se desarrolla.

### **¿Cuáles son las necesidades hídricas netas de los frutales?**

Las necesidades netas se relacionan con la cantidad de agua usada por la planta, en transpiración y crecimiento, además de aquella evaporada directamente

desde el suelo adyacente, incluidas el agua de rocío y de lluvia. Se expresa normalmente como altura de agua en mm por día o por mes. También se puede expresar en volumen en m<sup>3</sup> por superficie.

Las necesidades netas de un frutal dependen del suelo, de su estado fenológico, del tipo de frutal y de la localidad (clima). Así, por ejemplo, el duraznero en la fase de división celular del fruto, es decir, desde plena flor hasta inicios de endurecimiento del carozo, necesita alrededor de la mitad del agua requerida durante la fase de endurecimiento del carozo y un tercio del agua requerida durante la fase de elongación celular del fruto, es decir, desde el término del endurecimiento del carozo hasta la maduración del fruto.

Además, en la medida que avanza la temporada de crecimiento, va aumentando el área foliar, por lo tanto aumenta el número de estomas, y en consecuencia la transpiración. Esto implica que la cantidad de agua que se debe aplicar debe darse con mayor frecuencia y por más tiempo, es decir con mayor cantidad de agua, cuando el frutal está más desarrollado.

Los factores que determinan el consumo de agua de las plantas están definidos por la planta en sí (tipo de frutal y su variedad, estado de desarrollo, profundidad del sistema radical) y por el clima.

## A. Factores de la planta

**a) Variedad:** existen diferencias en los requerimientos hídricos entre los diversos frutales y sus variedades. El conocimiento de los requerimientos de cada variedad y la época recomendada de siembra permite al agricultor definir estrategias para disminuir los riesgos por falta de agua en períodos críticos del frutal.

**b) Porcentaje de cobertura del frutal:** está dado por la cantidad de follaje (hojas) con relación a la superficie total del suelo. Varía de acuerdo al frutal (de hoja caduca o perenne) y a su estado de desarrollo. A mayor desarrollo del frutal, mayor es el porcentaje de cobertura y mayores son sus necesidades hídricas.

**c) Desarrollo del sistema radical del frutal:** la distribución y profundidad del sistema radical de un frutal determinan el volumen o cubo de suelo desde el cual puede extraer agua. El crecimiento que alcanza el sistema radical en un suelo depende de varios factores:

- De las características de la planta y de su estado de desarrollo.
- De las condiciones físicas del suelo donde el frutal se desarrolla. Por ejemplo, la presencia de estratas duras o compactadas limita el desarrollo de las raíces en profundidad, lo mismo ocurre con la presencia de niveles freáticos (napas) en el interior del suelo.
- Del manejo del agua de riego. Normalmente riegos frecuentes y poco profundos tienden a concentrar las raíces cerca de la superficie, en cambio riegos profundos y distanciados favorecen el desarrollo de las raíces en profundidad, lo que permite que las raíces estén presentes en un mayor volumen de suelo, por lo tanto tienen más agua disponible que la existente en un volumen de suelo menor.

## B. Factores climáticos

Las características del clima que afectan la cantidad de agua que necesitan las plantas son la radiación, la temperatura, humedad del aire, el viento y las precipitaciones. En la Figura 4 se esquematizan los factores climáticos que afectan la demanda de agua de las plantas.

**a) Radiación solar:** A mayor radiación o luminosidad, mayor evaporación; por lo tanto, la demanda de agua de las plantas es mayor.

**b) Vientos:** A mayor velocidad del viento, la superficie del suelo se seca más rápido y las plantas transpiran más, aumentando así su demanda por agua.

**c) Temperatura:** En los días calurosos las plantas transpiran más que en días con temperaturas más bajas, por lo que su demanda por agua será mayor.

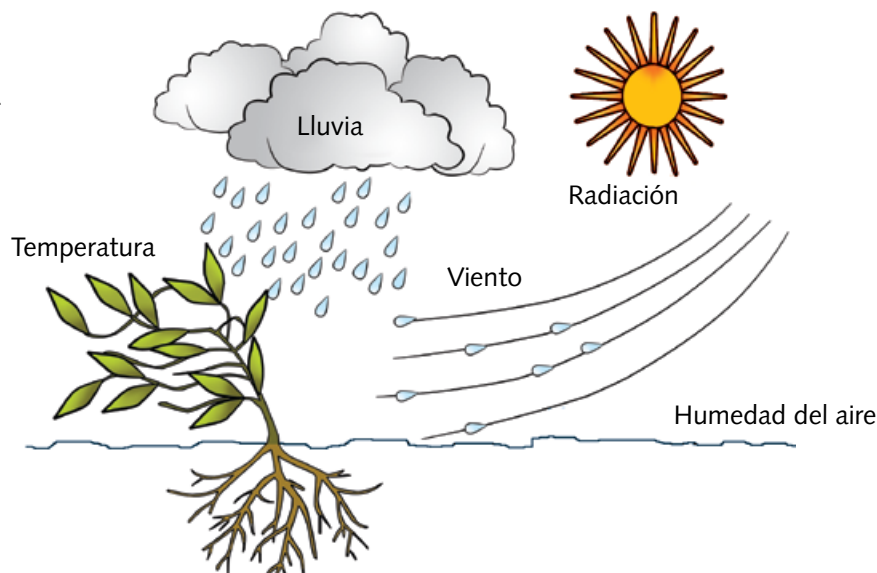
**d) Humedad del aire:** Mientras más seco es el aire, las plantas pierden más agua.

**e) Precipitaciones:** Influyen directamente entregando o devolviendo al suelo, parte del agua consumida por las plantas. Son útiles sólo lluvias sobre 10 mm.

### ¿Cuáles son las necesidades hídricas brutas de los frutales?

Las necesidades brutas corresponden a las necesidades netas afectadas por la eficiencia de los métodos de riego utilizados. En la aplicación de agua no es posible lograr un cien por ciento de eficiencia, la cual depende de la calidad del diseño, la habilidad de la persona que riega, de las características físicas del suelo o de la calidad de la estructura de distribución

FIGURA 4.  
Factores climáticos que afectan la demanda de agua de las plantas





del agua. Por estas razones, para estar seguros de aplicar la cantidad de agua requerida por un frutal es necesario aplicar una cantidad mayor para contrarrestar las pérdidas, a veces inevitables, que se producen por infiltración profunda más abajo de la zona de raíces, desuniformidad en la aplicación, escurrimiento superficial o derrames. En el Cuadro 3 se muestran los tipos de riego y su eficiencia.

A modo de referencia, los requerimientos hídricos netos de la vid *Vitis vinifera* van desde los 3000 a 4000 m<sup>3</sup>/ha y los demás frutales de los 7000 a 10000 m<sup>3</sup>/ha (paltos, cítricos, entre otros). Finalmente, se debe mencionar que estos valores varían según la localidad y el sistema de riego.

CUADRO 3. Tipos de riego y su eficiencia promedio

Tipo	Método de Riego	Eficiencia (%)
Gravitacional	Tendido	30
	Surco	60-80
	Borde	50
	Tazas	65
Presurizado	Aspersión	75
	Micro-aspersión	85
	Goteo	90
	Cinta	90

### ¿Qué es el déficit hídrico?

Las plantas se encuentran sometidas a diversos déficit ambientales, tales como los producidos por temperaturas anormales, condiciones físicas y químicas desfavorables en el suelo y la presencia de elementos patógenos. No obstante, el déficit hídrico reduce el crecimiento y la producción de los vegetales cultivados, más que los otros déficit combinados.

**Origen:** El déficit hídrico se genera cuando los riegos son insuficientes, esto quiere decir, aplicaciones de láminas de agua menores a las requeridas o frecuencias de riego no apropiadas.

**Efectos:** El déficit hídrico puede afectar negativamente un conjunto de funciones fisiológicas en la planta: la fotosíntesis, la respiración y reacciones metabólicas diversas. Además, puede repercutir en variaciones anatómicas (estomas), sobre el crecimiento, la reproducción y el desarrollo de la semilla, además de su acción sobre la absorción de elementos nutritivos minerales.

Estudios detallados sobre las relaciones entre el agua disponible para las plantas y la superficie foliar, han demostrado que el déficit hídrico afecta el número de hojas, su crecimiento, su disposición en el espacio y su senescencia. La reducción de la superficie foliar motivada por el estrés hídrico, es una causa importante en la disminución de los rendimientos de frutales puesto que se afecta la superficie fotosintetizadora.

La expansión de las células vegetales es muy sensible al estrés hídrico, esto significa que el crecimiento de los tejidos también lo es. Desde el punto de vista agronómico, lo más importante es el efecto del estrés hídrico sobre la producción.

### Importancia del agua en periodos críticos en frutales

Todo déficit de agua, independiente de su magnitud, produce una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto de un estrés hídrico es mayor. Dichos estados corresponden a una fase de crecimiento activo o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, déficits hídricos suaves que hubiesen producido una disminución leve en el rendimiento final en otros estados fenológicos del cultivo, causan grandes deterioros en la producción si ocurren en algún período crítico. En general, los períodos más sensibles o críticos, son la floración y el crecimiento del fruto, en cambio los más resistentes son el crecimiento vegetativo y la maduración. Además, se observa que a un determinado nivel de déficit hídrico, la etapa del desarrollo del cultivo que se ve más afectada es la etapa de floración, por lo tanto, en esta etapa la falta de agua provocará la mayor reducción del rendimiento.

De este modo, el resultado de numerosas investigaciones confirma que el efecto de la falta de humedad en el suelo sobre el rendimiento final de los cultivos depende del estado fenológico de la planta al momento del déficit hídrico. En Cuadro 4 se presentan los períodos críticos ante un déficit hídrico para algunos frutales.

CUADRO 4. Períodos críticos de algunos cultivos en que el agua no puede faltar

Cultivo	Período crítico
Cerezo	Período de crecimiento rápido del fruto que antecede a la madurez
Duraznero	Período de crecimiento rápido del fruto que antecede a la madurez
Cítricos	Floración y formación del fruto
Damasco	Floración y desarrollo de los botones florales
Frutilla	Desarrollo del fruto a madurez
Vid	Comienzo del crecimiento en primavera hasta pinta del fruto

La utilidad de conocer los períodos sensibles del cultivo al déficit hídrico radica en su uso como una herramienta en la toma de decisiones. De este modo, es posible administrar el recurso hídrico en períodos de escasez, asignando el agua acorde al estado fenológico de los diferentes frutales, de manera de minimizar los daños de la producción.

### 1.3. Relaciones agua-producción en frutales

#### Importancia de la relación agua-producción

El agua es un factor importante para el desarrollo y producción de un frutal, fundamentalmente porque forma la mayor parte de los tejidos vegetales, aunque en proporciones muy variables, alcanzando su máximo en los órganos jóvenes en pleno crecimiento. Además, el agua cumple funciones de primordial importancia en el tejido vegetal como constituyente, disolvente y reactante en diversos procesos químicos. El agua es también el medio de transporte de las sustancias nutritivas desde las raíces a las hojas y de éstas a los órganos de reserva.

La relación entre el desarrollo y el nivel de agua aplicada no sólo depende de su aspecto fisiológico, sino también de condiciones de manejo del frutal y del medio ambiente. La planta responde a la demanda climática a través de la transpiración, la que se efectúa principalmente a través de los estomas. La respuesta estomática generalmente actúa para minimizar el efecto de los cambios del medio ambiente, afectando la evaporación y por tanto, el potencial de agua en la hoja.

Los frutales usan enormes cantidades de agua. La mayoría de esta agua solamente pasa a través de la planta y es transferida a la atmósfera, y sólo una fracción, que aproximadamente corresponde al 1% del agua absorbida, es retenida en el tejido de la planta.

Por lo tanto, el riego tiene como finalidad suplir los requerimientos hídricos de la planta, bajo condiciones en que el agua aportada por fuentes naturales es

insuficiente para lograr un abastecimiento adecuado, requerido para la producción y desarrollo vegetativo de la planta.

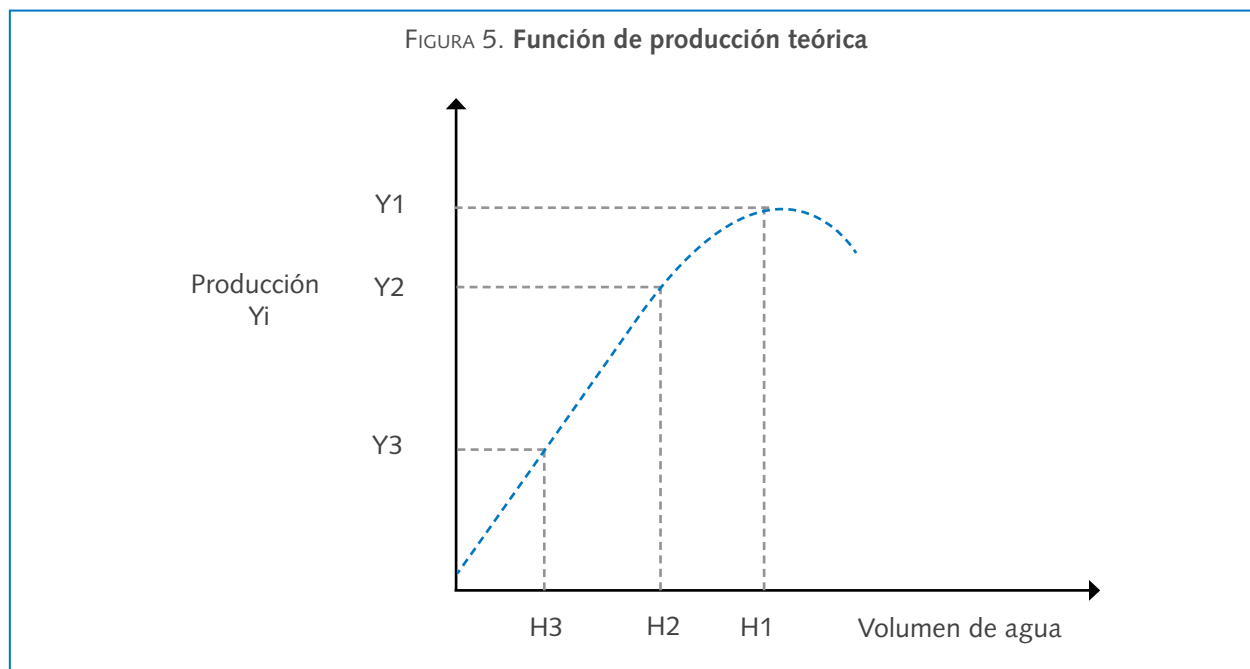
Para obtener una adecuada producción bajo condiciones de riego, el primer requisito es disponer de agua suficiente para los frutales y en el momento oportuno.

Para definir eficientemente la cantidad de agua para uso en producción agrícola es necesario conocer la relación entre el agua disponible y los rendimientos de los frutales para las condiciones climáticas de interés y diferentes niveles de otros insumos, como fertilizantes. Estas funciones de producción permiten a los planificadores pronosticar las reducciones en el rendimiento de los frutales frente a la disminución del insumo agua.

#### Funciones de producción para riego

Las funciones de producción son un elemento de decisión importante en el análisis de la producción agrícola, especialmente cuando el agua es un factor limitante, ya que se constituye desde el punto de vista de planificación para establecer los planes de desarrollo, y desde el punto de vista de operación en las áreas de riego, permitiendo tomar decisiones sobre que frutal implantar y en que área, con el objetivo de lograr los rendimientos óptimos reales con el agua disponible.

Las funciones de producción representan la relación entre el rendimiento de un frutal y la lámina de agua consumida bajo determinadas condiciones de variedad, fertilización y manejo del frutal. En la Figura 5 se muestra una función de producción teórica.





De la Figura 5, se puede mencionar que al aplicar un volumen de agua H3 se obtiene una producción Y3, si el volumen de agua es mayor (H1) la producción es mayor (Y1). Sin embargo, si el volumen de agua sobrepasa el valor de H1 la curva empieza a decrecer y por lo tanto la producción también lo hará.

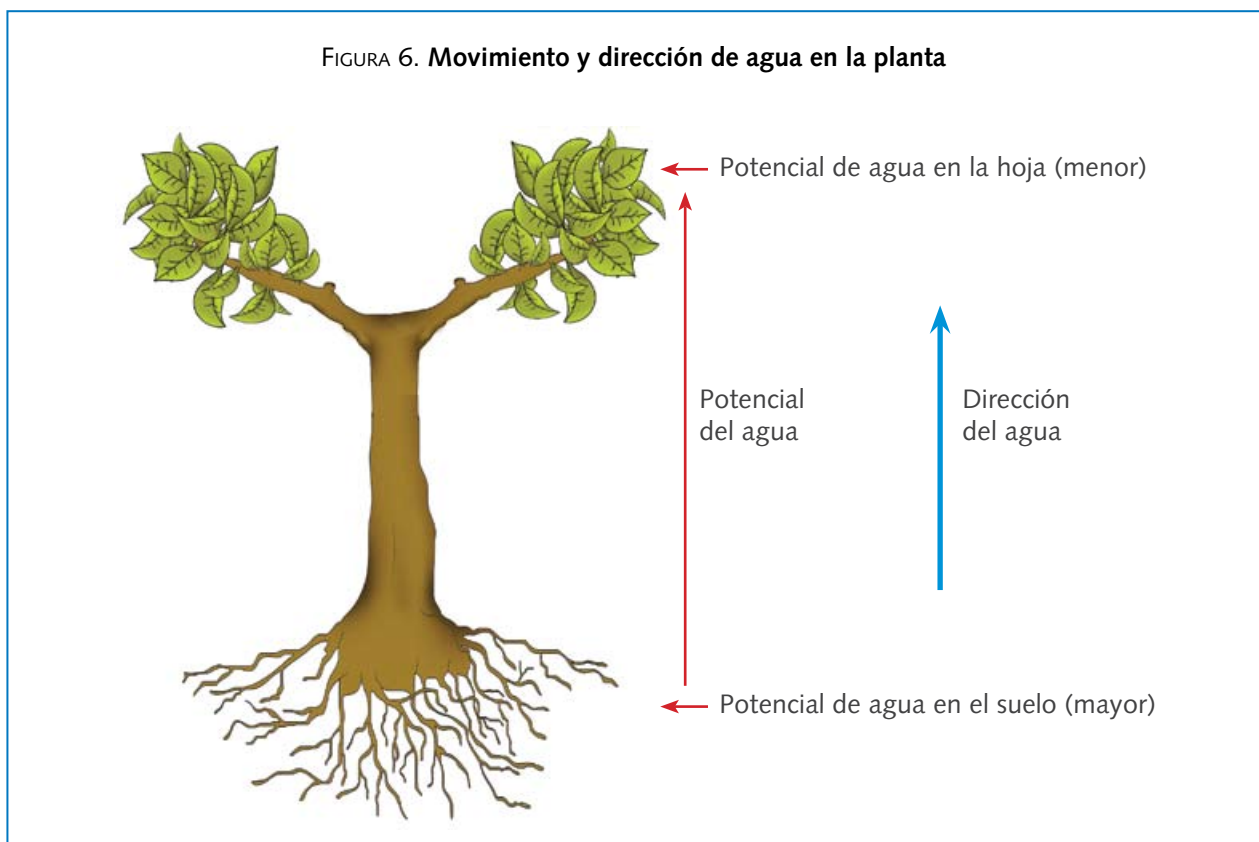
#### 1.4. Patrones de extracción de agua

##### **Movimiento y absorción de agua en la planta**

Para compensar su pérdida de agua por transpiración, la planta absorbe agua del suelo. La absorción y movimiento de agua es un proceso pasivo. El estatus de energía del agua es comúnmente expresado en términos de potencial de agua, que puede ser tomado como el contenido de energía libre o energía potencial por volumen de unidad de agua. El potencial de agua también puede ser pensado como la aptitud de un volumen de unidad de agua almacenada para hacer trabajo. Por ejemplo, el agua en un estanque abierto, a una altura de 2 metros, tiene un potencial de agua más alto que agua en un estanque abierto a una altura de 1 metro. Si el agua en el estanque superior se deja fluir hacia el estanque inferior, puede efectuar trabajo como una turbina. Por otro lado, para mover el agua desde el estanque inferior al superior se debe efectuar trabajo en éste, para subir su potencial de agua.

En el sistema suelo-planta, el movimiento de agua es pasivo, esto quiere decir, que el agua se mueve desde un potencial de agua mayor hacia un potencial de agua menor. Además mientras mayor sea la diferencia de potencial más rápido se moverá el agua. En la Figura 6 se muestra el movimiento de agua en la planta, de mayor a menor potencial.

En el ambiente natural, los niveles de absorción de agua y transpiración usualmente no son iguales en una planta. Cuando la absorción es más lenta que la transpiración, el déficit es cubierto por agua del tejido. Cuando la absorción es más rápida que la transpiración, el exceso va a constituir el contenido de agua en el tejido. En el exterior, el tejido de la planta experimenta un ciclo diario de ganancia y pérdida neta de agua. El ciclo es primeramente establecido por la radiación solar, a medida que el nivel de luz y temperatura del aire aumentan en la mañana, la transpiración de la planta se acelera. Sin embargo, la absorción de agua no aumenta hasta que la excesiva pérdida de agua reduce el potencial de agua de la hoja, aumentando así el gradiente de potencial de agua para absorción. Por tanto, la absorción se retrasa tras la transpiración desde la salida del sol al mediodía (periodo creciente de transpiración), en la tarde la transpiración se hace más lenta debido a descensos en energía radiante y temperatura del aire.



La capacidad de almacenamiento de agua de la mayoría de las plantas es muy limitada, o sea, la reserva de agua en la planta es muy pequeña en relación a los niveles de pérdida de agua y absorción. Así, se debe establecer un delicado balance entre el ingreso de agua y gasto de agua todo el tiempo, para evitar excesivas fluctuaciones en el nivel de reserva de agua de la planta (estatus de agua de la planta), para evitar niveles tan bajos que dañen el tejido. Las plantas han desarrollado varios medios para ayudar en la mantención del balance. Uno de ellos, y los más importantes, son los estomas. Los estomas son válvulas microscópicas presentes en todas las hojas y fuente principal a través de los cuales se pierde el vapor de agua. De igual importancia es el hecho que los estomas sirven de puente para el paso de dióxido de carbono; éste se mueve desde el aire hacia adentro de la hoja y es fotosintetizado dentro del material de la planta, transformándose en materia seca producida por la planta.

Durante el día y cuando no hay una severa deficiencia de agua, los estomas están abiertos y la transpiración sucede a una velocidad principalmente determinada por las condiciones atmosféricas, particularmente el abastecimiento de energía para evaporar agua.

Al mismo tiempo, los estomas abiertos aseguran una adecuada entrada del dióxido de carbono para fotosíntesis. Cuando el déficit de agua en las hojas va más allá del límite umbral y se hace excesivo, los estomas se cierran, al menos parcialmente, para disminuir la transpiración. Así los estomas operan como válvulas de seguridad, controlando la pérdida de agua cuando el estatus de agua del tejido se hace muy bajo

o desfavorable. Sin embargo, el problema es que la producción de materia seca (fotosíntesis) es simultáneamente detenida.

**¿Cuál es la distribución de raíces en el suelo?**

El desarrollo del sistema radicular varía según el tipo de suelo y sistema de riego aplicado. Sin embargo, es necesario tener presente que la distribución de las raíces en el suelo no es uniforme: la cantidad total de raíces es mayor en superficie y va disminuyendo en profundidad. (Figura 7).

Como se observa en la Figura 7, en general, en el primer cuarto de profundidad de suelo que puede alcanzar el sistema radical de un cultivo se concentra el 40% de sus raíces, por lo tanto, es de donde extrae el 40% del agua que necesita. En el último cuarto logra extraer sólo el 10% del agua.

Es importante reiterar, que la distribución de raíces puede ser alterada por el régimen de riego que se aplique al frutal, ya que las raíces estarán concentradas donde el agua esté presente. Por ejemplo, riego por goteo: bulbo de raíces; riego por micro-jet, raíces superficiales y con una extensión horizontal (dependiendo del área de mojamiento del emisor). Además, las características físicas, y en especial la textura del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad radicular. En suelos arcillosos, las raíces pueden alcanzar la mitad del desarrollo que en un suelo de textura media. El suelo arcilloso tiene la capacidad de retener mayor cantidad de agua y por más tiempo que un suelo arenoso.

**FIGURA 7. Patrón general de la distribución de raíces y de la extracción de agua de los cultivos, en un suelo sin restricción**

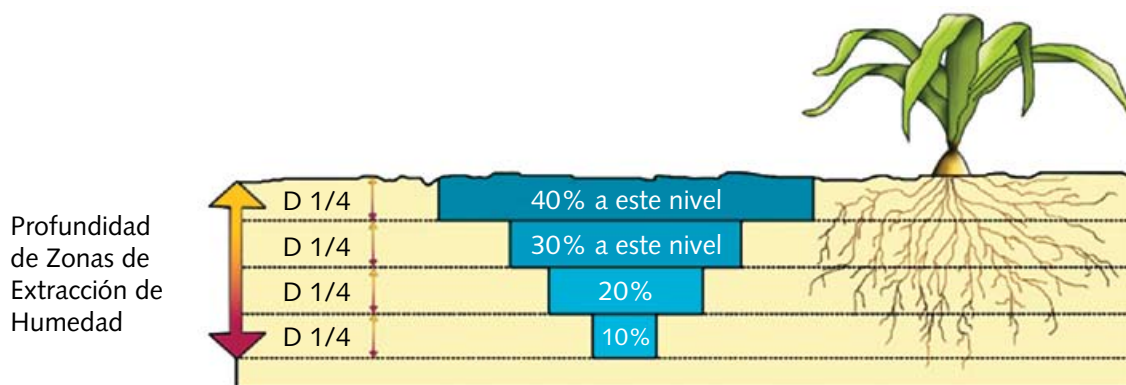




Foto 4. Distribución radicular en cítricos.

La profundidad radicular en frutales tiene directa relación con la edad del cultivo, estimándose que el máximo desarrollo coincide con el periodo de máxima producción.

En la Foto 4 se muestra el sistema radicular típico de cítricos para la zona del río Cachapoal, VI Región.

En general, se observa una gran masa radicular en los primeros 50 centímetros de profundidad con un radio de 1.0 a 1.5 metros. Esto permite deducir que la mayor zona de extracción se encuentra en esa zona y que es importante considerarlo al establecer la zona de aplicación de agua.



## CAPÍTULO II. Métodos de riego en frutales

### 2.1. Antecedentes del suelo

#### *Propiedades físico-hídricas del suelo*

La condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. Las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, están relacionadas con la productividad de los cultivos porque modifican el almacenamiento de agua en el suelo y su movimiento.

#### a) Contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo puede ser expresado en términos gravimétricos ( $\theta$  porcentaje de humedad base peso seco (%bps)) y/o volumétricos ( $\text{cm}^3$  agua/ $\text{cm}^3$  suelo). El contenido gravimétrico al igual que el volumétrico, expresa la cantidad de agua presente en una muestra y se define como el cociente entre la masa de agua y la masa de suelo seco. Así:

$$\theta \text{ \% bps} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de suelo seco}} \times 100$$

De este modo, el contenido de humedad gravimétrico de una muestra de suelo húmedo, se mide pesando una muestra de suelo húmedo, secándola posteriormente en un horno de 105°C por 24 horas y volviendo a pesar la muestra. La masa de agua corresponde a la diferencia entre la masa de suelo húmedo y suelo seco.

El contenido de humedad volumétrico del suelo ( $\theta$ ) se expresa en términos de volumen de agua por volumen de suelo. Puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico y la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ). Así:

$$\theta \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right) = \theta \text{ (\% bps)} \times \frac{D_a}{D_w}$$

La densidad aparente del suelo se determina utilizando un cilindro de acero de volumen conocido; esta muestra se deja secar en un horno por 24 horas a 105°C. Una vez obtenido el peso del suelo seco este se divide por el volumen del cilindro y así finalmente se obtiene la densidad aparente que está expresada en  $\text{g}/\text{cm}^3$  (gramos de suelo seco en un volumen conocido).

$D_w$  corresponde a la densidad del agua que tiene un valor de  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

#### b) Humedad aprovechable

El agua disponible para las plantas, o también conocido como humedad aprovechable (HA) se encuentra entre los límites de contenido de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Figura 8). Este límite variará dependiendo de la textura del suelo. En suelos arcillosos la humedad aprovechable es mayor que para suelos arenosos. Para calcular la humedad aprovechable de un suelo, en términos de una altura de agua, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$HA \text{ (mm)} = [CC - PMP] \times p$$

Donde:

HA: Altura de agua aprovechable para la planta. (Un milímetro de altura corresponde a un litro de agua por HA metro cuadro de terreno)

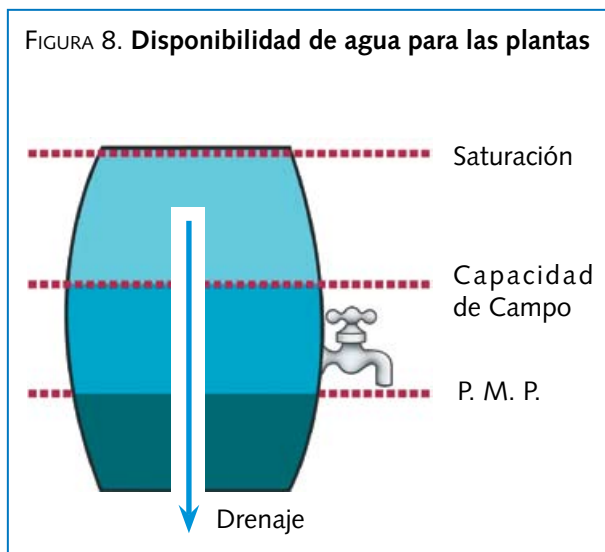
CC: Contenido volumétrico de humedad del suelo a capacidad de campo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

PMP: Contenido volumétrico de humedad del suelo a punto de marchitez permanente ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

P: Profundidad representativa de la muestra de suelo analizada (mm)



FIGURA 8. Disponibilidad de agua para las plantas



**¿Qué es punto de marchitez permanente?**

Es el contenido de agua de un suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta. La energía de retención con que queda el agua en el suelo es de aproximadamente 15 bar.

**c) Textura del suelo**

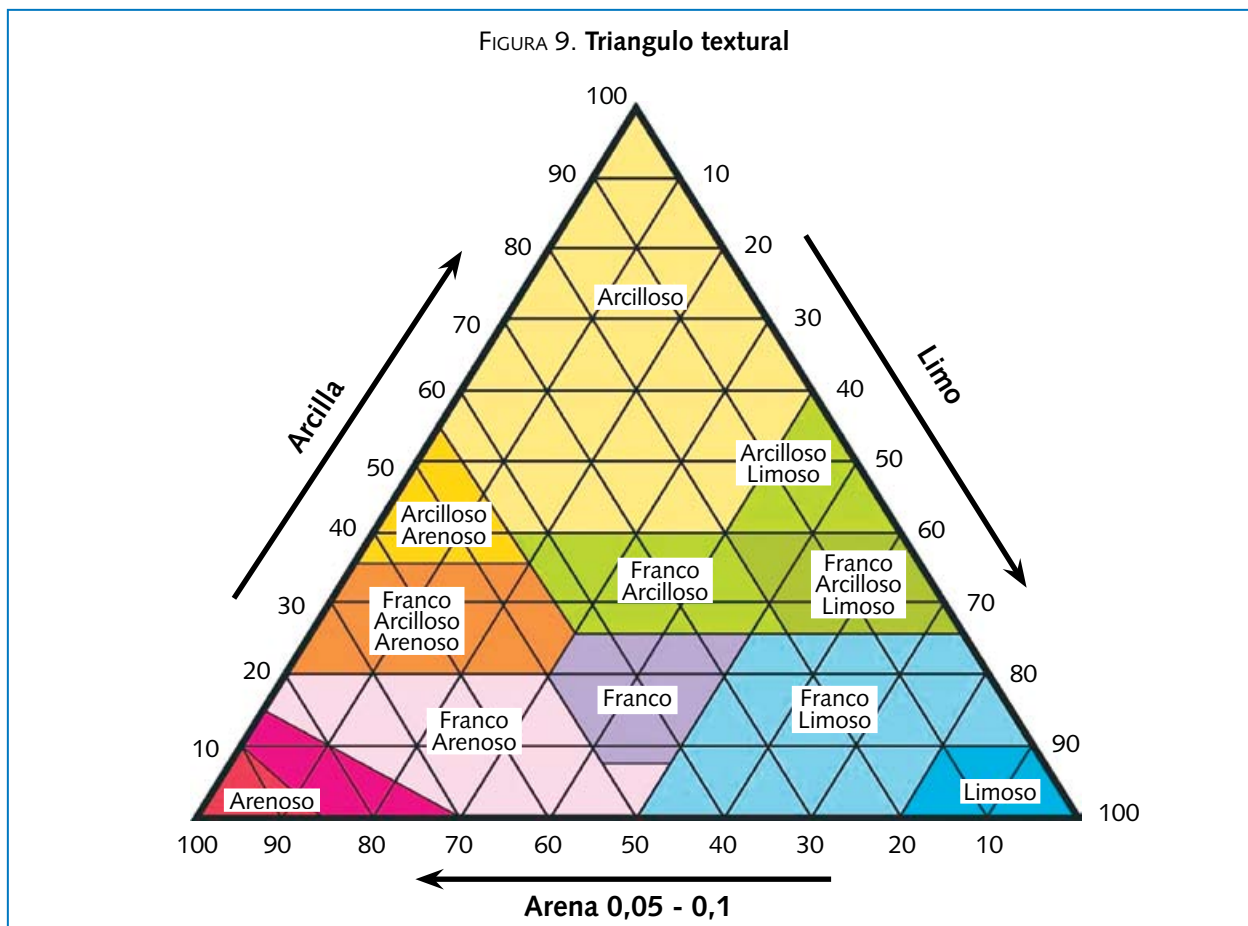
La textura del suelo se refiere a la proporción en que se encuentran diferentes partículas que lo forman. De acuerdo con ello, existen tres fracciones: arena, limo y arcilla, las que combinadas en distintas proporciones definen las diversas texturas, como se indica en la Figura 9. Suelos arenosos, suelos francos, suelos arcillosos y las posibilidades intermedias de combinación.

**¿Qué es capacidad de campo?**

Es el contenido de humedad de suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, alrededor de 24 a 48 horas después del riego o la lluvia (Figura 8). Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad o a una energía de retención de aproximadamente 0.33 bar.

Por ejemplo, se tiene una muestra de suelos que contiene 30 por ciento de arcilla, 61% de limo y 9% de arena, determinado en análisis de laboratorio. Para definir la textura de acuerdo al triángulo, se marcan los porcentajes en el lado correspondiente a cada una de las fracciones y se trazan las paralelas. Donde se crucen las tres líneas, es la textura que corresponde a ese suelo. En este caso corresponde a un suelo

FIGURA 9. Triángulo textural





franco-arcillo-limoso. En el caso que las líneas se corten en un punto límite entre dos clases de textura, se tiende a definir la más fina.

### ¿Cómo determinar la textura de un suelo en forma práctica?

Una forma de conocer la textura de un suelo es con análisis de laboratorio, pero, en la práctica, se puede estimar frotando entre las yemas de los dedos una muestra de suelo húmedo. Si la sensación al tacto es áspera, significa que el suelo posee un mayor porcentaje de arena, si es pegajosa, la que predomina es la arcilla y si es muy suave, similar a la harina o talco, es el limo el que está en mayor proporción.

Al determinar la textura por el tacto se recomienda, primero, haber experimentado con suelos de texturas ya conocidas, y luego tener a mano al triángulo como referencia. La muestra debe estar húmeda, con la cantidad justa de agua de modo que la consistencia sea semejante a una masa de cemento lista para la construcción. Se amasa la muestra entre el pulgar y los demás dedos, tratando de formar gradualmente una cinta o cilindro (lulo). Si ésta se forma, pero se rompe fácilmente, es probable que el suelo tenga arcilla, pero también bastante arena, por eso se rompe (por ejemplo un franco arcilloso). Si no se forma, se trata de un suelo con mucha arena y poca arcilla (por ejemplo un franco arenoso). Así, para saber con qué tipo de terreno se trabajará, lo primero que se debe determinar es si se trata de una textura media (franca), fina (franca-arcillosa o arcillosa) o gruesa (arenosa).

Los suelos, mientras más arenosos, si bien tienen una buena aireación, generalmente son menos fértiles y poseen poca capacidad de retención de agua, es decir, ésta se absorbe rápidamente e infiltra en profundidad lavando los nutrientes. Por el contrario, cuando el suelo es de partículas más finas, como las arcillas, la infiltración es más lenta y los suelos poseen mayor capacidad de retención de agua y de nutrientes (Fig. 10).

### ¿Qué es la velocidad de infiltración?

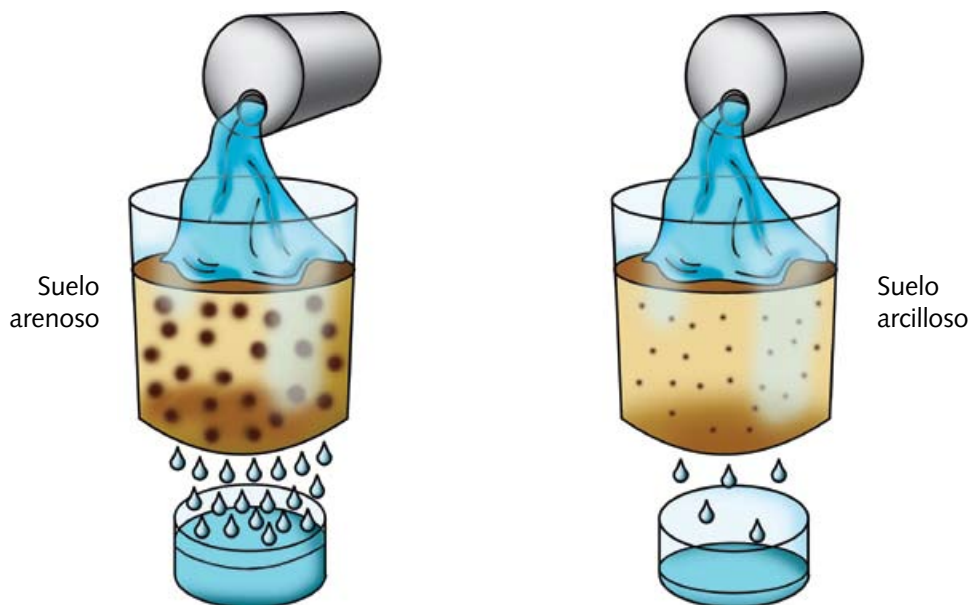
En términos generales, infiltración se refiere a la entrada vertical de agua en un suelo o cualquier otro material poroso. Al mismo tiempo, se entiende por velocidad de infiltración al volumen de agua que se mueve hacia el interior del suelo por unidad de área y por unidad de tiempo.

Se puede indicar que la velocidad de infiltración depende de varios factores: textura, estructura, contenido de humedad, altura de la lámina de agua, temperatura del agua, entre otros.

En consecuencia, cada suelo tiene una velocidad de infiltración determinada, variando desde aquellos de infiltración excesiva (suelos arenosos gruesos) hasta los de infiltración extraordinariamente lenta (suelos arcillosos densos).

La propiedad de los suelos de permitir el paso de agua a través de su superficie determina en gran parte que el riego sea eficiente y es uno de los factores determinantes en la selección del método de riego a emplear.

FIGURA 10. Representación de capacidad de retención de un suelo arenoso y uno arcilloso



## Medición de humedad a CC y PMP

La obtención del valor de la humedad aprovechable resulta de primordial interés para el diseño, planificación y manejo de sistemas de riego. Si no se dispone de los servicios de un laboratorio de suelos para la determinación de los contenidos de retención de humedad de suelo a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, una buena aproximación a estos valores puede obtenerse de la siguiente manera:

1. Inmediatamente después de un riego o lluvia intensa que haya saturado el suelo, seleccione un sector representativo del potrero y cúbralo con una lona o plástico impermeable, que evite la evaporación desde el suelo.

2. Veinticuatro a cuarenta y ocho horas después del evento extraiga muestras de suelo de entre 100 a 200 gr en cada estrata. Dépositelos en una cápsula hermética o en una bolsa plástica sellada.

3. Pese las muestras en una balanza de lectura de décimas de gramo, sin abrir o destapar la muestra. Registre la lectura como PSH + PE (Peso del suelo húmedo más Peso de envase).

4. Una vez pesada la muestra, déjela en un horno a 105°C por 24 horas y pese la muestra seca. Si utilizó bolsas plásticas previamente, asegúrese de extraer la totalidad de la muestra de suelo de la bolsa antes de ponerla en el horno, pesando el envase plástico (PE) y el envase nuevo utilizado en el horno de secado. En cualquier caso, debe existir absoluta certeza del peso del envase, debido a que este valor se debe restar al peso de suelo.

5. Obtenga el valor de contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo ( $\theta_{cc}$ ), aplicando la siguiente expresión:

$$\theta_{cc} = \frac{(PSH + PE) - (PSS + PE) \times 100}{PSS}$$

De este modo, la ecuación anterior indica la relación porcentual en el contenido de agua en una muestra de suelo, quedando expresada como:

$$\theta_{cc} = \frac{\text{Peso agua en la muestra} \times 100}{PSS}$$

Donde:

PSH = Peso del suelo húmedo (g)

PE = Peso del envase al momento de pesar (g)

PSS = Peso del suelo seco (g)

Así, si la muestra de suelo y envase recién extraída pesaba 250 g (PSH + PE), y una vez seca era de 200 g (PSS + PE), pesando el envase 20 g (PE), entonces el contenido de humedad sería:

$$\theta_{cc} = \frac{250 - 200 \times 100}{200 - 20} = 27,8\%$$

6. Para obtener el contenido de humedad de una muestra de suelo a Punto de Marchitez Permanente, es necesario someterla a un plato de presión a 15 bares y luego determinar su contenido de humedad.

Otra forma de obtener el contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente sería multiplicando el valor de humedad a Capacidad de Campo por 0,55, es decir:

$$\theta_{PMP} = 0,55 \times \theta_{cc}$$

De este modo, en el ejemplo anterior, el valor aproximado de  $\theta_{PMP}$  sería de un 15,3%.

## 2.2. Selección de métodos de riego para frutales

### Métodos de riego

El riego tiene como objetivo básico reponer el déficit de humedad producto de un desbalance entre la evapotranspiración de los cultivos y la precipitación.

La tecnología de riego ha logrado avances significativos en el último tiempo. Se han desarrollado criterios y procedimientos para mejorar y racionalizar las prácticas de reposición de agua al suelo, mediante nivelación de suelo, diseño de métodos de riego, regulación de caudales, estructuras de aducción, equipos de control y manejo adecuado del agua.

Implementar a nivel predial una tecnificación de riego adecuado, permite un uso más eficiente de los recursos hídricos disponibles, un aumento del área susceptible de ser regada, mejor aprovechamiento de los fertilizantes y mano de obra, incrementos en la producción y uso eficiente de los recursos.

El método de riego es la técnica a través de la cual se aplica el agua al suelo. Su clasificación puede realizarse de acuerdo a la manera en que se aplica el agua en, superficial, sub-superficial y presurizado. Para este caso, sólo se mencionan los métodos de riego superficial y presurizado.

a) Riego superficial: Es el método de riego más antiguo y el más comúnmente usado. En el último tiempo ha adquirido una gran importancia debido a los elevados costos de energía involucrados en los métodos de riego presurizados y en la incorporación de distintos niveles de automatización en los métodos superficiales. Su principio básico es que el agua es ingresada al campo en el punto más alto, fluyendo hacia los sectores más bajos en la medida que se infiltra en el suelo a través del avance.

El riego superficial se puede realizar de varias maneras. Los tres tipos de métodos de riego superficial más recomendados para frutales son: (1) regueras en contorno, (2) riego por bordes, y (3) riego por surcos.

A continuación se describirá el riego por surco, que es el más utilizado en la actualidad.

**Riego por surco:** consiste en la entrega de agua a través de pequeños canales o surcos, trazados en la misma dirección de la siembra o plantación, a los que se ingresa el agua desde una acequia o tubería madre. (Foto 5) En la mayoría de los casos, el surco de riego es una consecuencia de las labores culturales, razón por la cual este método se adapta muy bien a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, chacras y frutales en general.

A diferencia del riego por tendido, en el riego por surcos se moja sólo una parte de la superficie del suelo (normalmente entre un quinto y un medio). Por este motivo, el riego por surcos se presta especialmente para aquellos suelos que tienen tendencia a formar costra al secarse, situación que daña a las plantas que recién germinan.

En cuanto a la pendiente, el riego por surcos funciona más eficientemente en terrenos planos, con pendientes de menos del 0,2%. Sin embargo, este método puede emplearse también con pendientes de hasta un 3%, dependiendo de la textura del suelo.

#### Ventajas del riego por surco

- Comparado con otros métodos de riego superficial, la eficiencia de aplicación del riego por surco está entre un 60 y un 80%, pudiendo calificarse de buena.
- Además, es posible utilizar implementos de control de bajo costo como tubos, sifones y compuertas que permiten tener un buen control sobre el agua de riego.

#### Limitaciones

- Una de las principales limitaciones del riego por surco es el peligro de erosión y arrastre de partículas bajo condiciones de pendientes fuertes (> 1 por mil).
- Generalmente se producen pérdidas por escurrimiento para uniformar la aplicación de agua.

Foto 5. Riego por surco.





b. Riego presurizado: Los métodos de riego presurizado se caracterizan por tener un sistema de distribución bajo presión. Entre los métodos presurizados tenemos, goteo, aspersión y microaspersión.

A continuación se describirá el riego por goteo y microaspersión, que son los más utilizados en frutales.

**Consideraciones generales del riego por goteo y microaspersión**

El riego mediante goteo o microjet (Fotos 6) se puede definir como la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominados emisores, ubicados a lo largo de la línea de distribución. De esta manera el agua es conducida desde la fuente a cada planta, eliminando totalmente las pérdidas por conducción y minimizando aquellas por evaporación y percolación. Con este método se pretende además controlar, bajo adecuadas condiciones de diseño, operación y manejo, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo generando en la zona radicular del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos.(Figura 11)

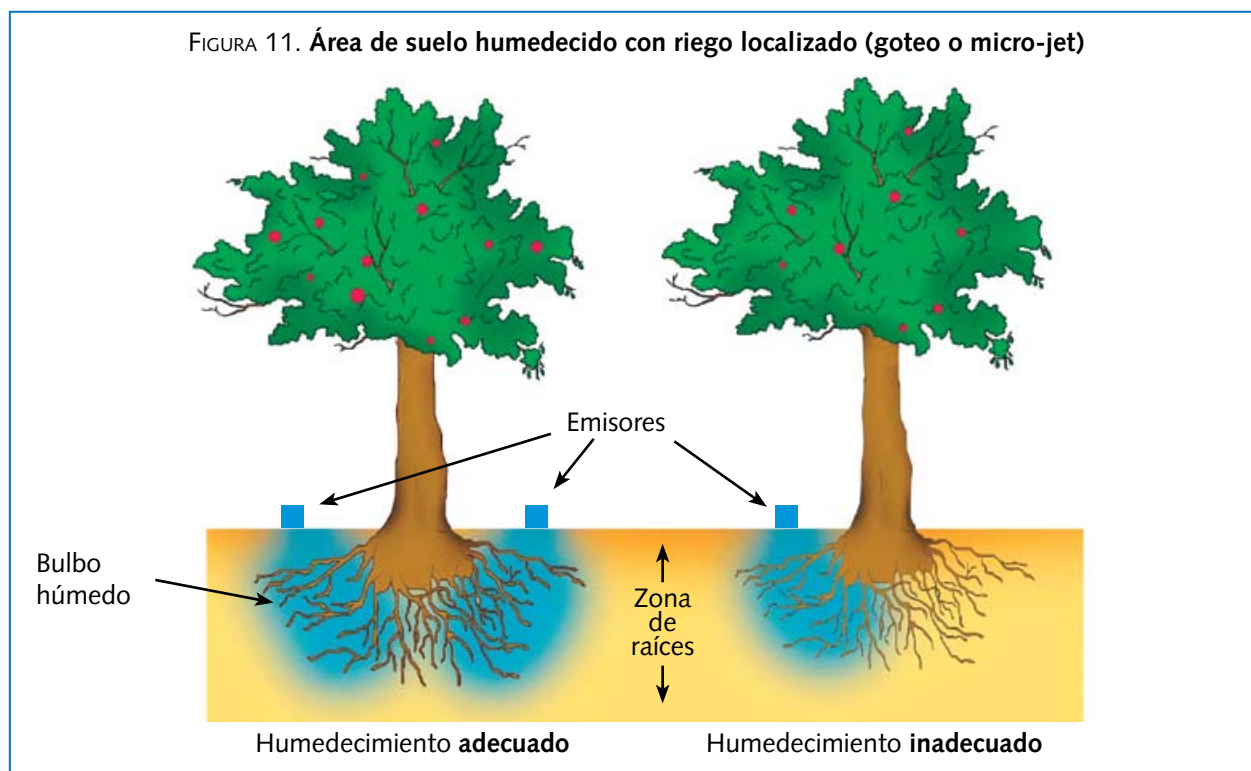
Algunas de las ventajas que presenta el riego por goteo y microjet son: la eficiencia en el uso del agua, se minimiza las pérdidas por conducción, se reduce la evaporación desde el suelo y la percolación es casi nula. Con estos métodos la zona radicular del cultivo permanece la mayor cantidad del tiempo bajo condi-

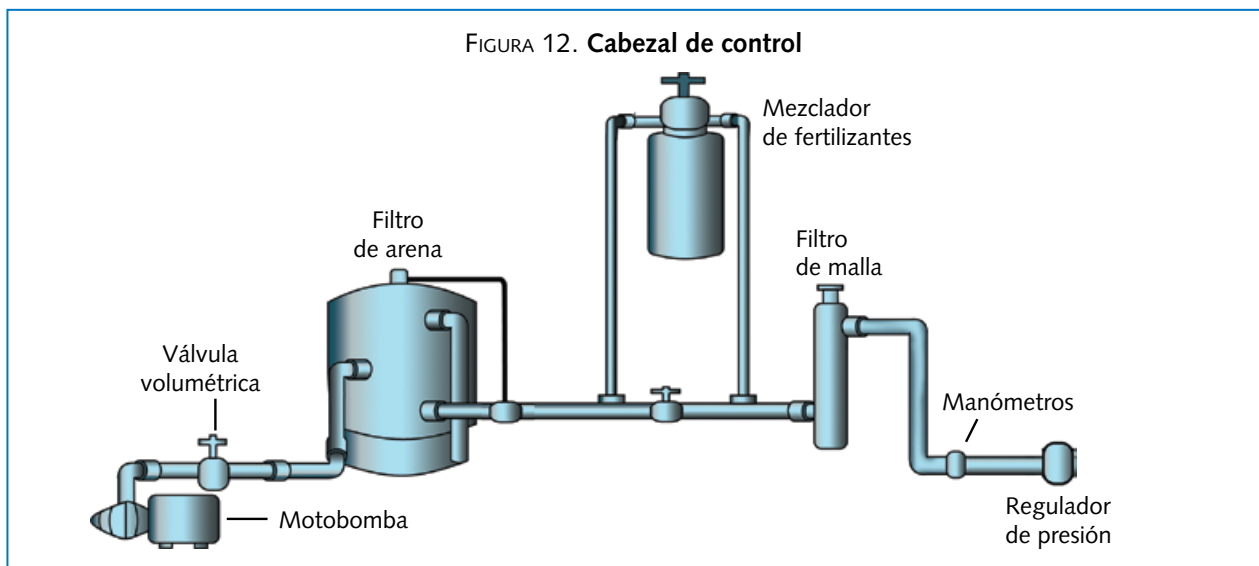


Foto 6a. Microaspersión



Foto 6b. Goteo





ciones óptimas de humedad. Topografía y suelo, estos sistemas se pueden utilizar en áreas con topografía muy heterogénea y con pendientes pronunciadas, además un correcto manejo permite una buena relación agua-aire en el suelo para que el sistema radicular extraiga el agua y nutrientes necesarios, por lo que el suelo debe estar correctamente humedecido. Producción y calidad del producto, en general se obtienen mayores producciones y un incremento en la calidad del fruto con estos sistemas de riego. Condiciones agronómicas, estos sistemas permiten aplicar fertilizantes y otros productos químicos en forma efectiva y en base a las necesidades parciales del cultivo.

Los sistemas de goteo y microjet pueden presentar serios problemas en su operación y manejo si el diseño es inadecuado y no se consideran todos los antecedentes de calidad de agua, tipo de suelo y características de los emisores. Las desventajas con un mal manejo son: taponamiento de los emisores, salinización de la zona radicular, inadecuada distribución de la humedad. Estos sistemas presentan un alto costo inicial en comparación a otros, pero si se considera su vida útil el costo anual es insignificante con respecto a los demás.

Los componentes del método de riego por goteo y microjet corresponden en primer lugar al cabezal de control (Fig. 12), el cual se compone de medidores de flujo, válvulas de control, inyector de productos químicos, filtros, manómetros, sensores especiales, controles automáticos o programadores y equipo de bombeo.

El sistema de filtro debe tener la capacidad para transportar el caudal requerido y remover las partículas finas, de tamaño varias veces menores que el diámetro del elemento dentro del emisor. La mayoría de las instalaciones incluyen dos tipos de filtros: de arena y de malla, que evitan las obturaciones de los emisores con material extraño.

En segundo lugar están las tuberías de conducción, que deben ser capaces de transportar el caudal requerido a una presión adecuada. En tercer lugar se encuentran los emisores, que es el elemento más importante dentro del sistema. Los emisores son dispositivos que reducen la presión prácticamente a cero, aplicando de esta manera el agua a la forma de una gota en la superficie del suelo o asperjada en finas gotas con microjet y microaspersores. Los emisores varían en tipo y modelo, desde tubos perforados, microtubos y bandas perforadas, a complicados diseños. Los microaspersores son de tipo rotativo o de jet.

### Selección de métodos de riego

El éxito o fracaso de una agricultura de riego dependen en gran medida del método de aplicación de agua utilizado.

En la selección de un método de riego inciden parámetros como: disponibilidad de agua, tipo de suelo, topografía, clima, cultivo, disponibilidad de mano de obra, energía y costo relativo de cada recurso.

La selección debe considerar aspectos técnicos y económicos. En el aspecto técnico, se consideran factores asociados al recurso agua, el predio y recursos humanos. Desde el punto de vista económico, se deben analizar aquellos los costos asociados a los métodos de riego adaptablemente técnicamente. Para llevar a efecto el estudio económico y comparar los resultados, es necesario que cada método de riego sea óptimamente diseñado para las condiciones preestablecidas de distribución de agua. En base a los resultados de ambas etapas, se selecciona él o los métodos de riego más recomendables para la decisión final del empresario agrícola.

Los aspectos técnicos de mayor relevancia que deben tomarse en consideración para la selección de los métodos de riego son los siguientes:

**Disponibilidad de agua:** Se refiere a la cantidad de agua disponible que existe en el predio para regar. Para seleccionar un sistema de riego, ya sea superficial o presurizado, se debe considerar la eficiencia de riego del sistema. Así por ejemplo, si pensamos en riego por surco la eficiencia de aplicación puede estar entre el 50 al 80%, en cambio con un sistema por goteo o aspersión podemos llegar a un 90% de eficiencia. Además se debe considerar la calidad del agua desde el punto de vista químico y físico (sedimentos).

**Tipo de suelo:** Un aspecto relevante en la selección es la topografía del terreno, si se desea utilizar un método superficial es importante determinar la pendiente del terreno para que el agua escurra adecuadamente y no provoque apozamiento o excesiva velocidad de flujo, por ejemplo el sistema de riego por surco, funciona en forma más eficiente en terrenos planos (pendiente entre al 0,1% a 0,5%), sin embargo, este método se puede emplear con pendientes de hasta el 3%, dependiendo de la textura del suelo. Si la topografía es muy heterogénea y con pendientes pronunciadas los sistemas de riego que se pueden utilizar son los presurizados.

Un factor importante asociado al tipo de suelo es la capacidad de infiltración que ést presente, ya que suelos con una alta velocidad de infiltración (arenoso) no se adecuan bien a riego superficial, y sí para métodos de riego presurizado.

Otro aspectos importante de considerar es la profundidad efectiva del suelo, dependiendo de esto se puede decidir qué cultivo plantar (desarrollo radicular). Actualmente en frutales se utilizan "los camellones", que es una forma de aumentar la profundidad efectiva y también mejoran la relación agua-aire del suelo.

**Cultivo:** En general los frutales son plantados en forma hilerada, por lo tanto, pueden ser regados tanto por un método de riego superficial como presurizado. Es relevante para establecer la forma de aplicación la ubicación de la zona de extracción de agua por las raíces de manera de mantener en dicha área una buena relación agua-aire para lograr una buena producción y de alta calidad.

Otros aspectos que se deben tomar en cuenta son la disponibilidad de mano de obra, la energía y por supuesto el costo de implementar uno u otro sistema de riego.

## 2.3. Eficiencia o calidad del riego

### Modelos de calidad de riego

La calidad del riego es una forma de evaluar si el riego ha cubierto los requerimientos de agua y qué tan bien es distribuida el agua a través del campo.

El agua aplicada durante el riego debe cumplir, entre otros, con los siguientes requisitos:

- Suministrar a la planta el agua requerida.
- Estar distribuida uniformemente sobre el área de riego.
- No exceder la capacidad de almacenamiento de agua del perfil del suelo para impedir la percolación profunda.
- Evitar la lixiviación en el suelo más de lo requerido para prevenir la salinización
- Minimizar la erosión y el deterioro de la estructura del suelo.

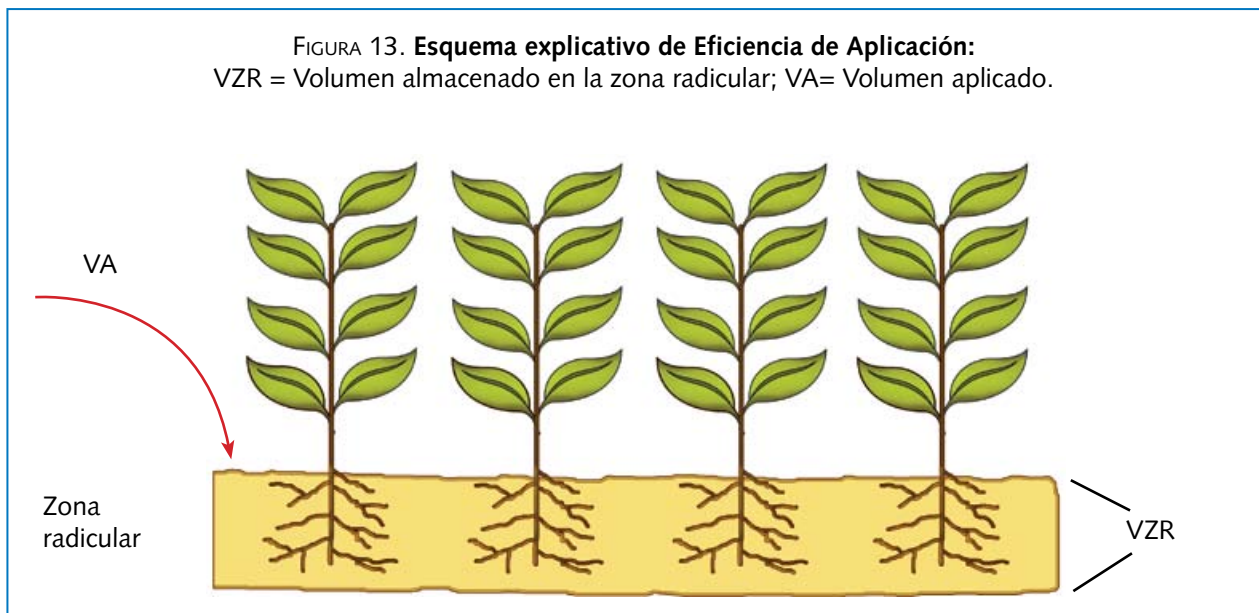
En general se puede establecer que la calidad del riego es afectada por:

- La velocidad de avance del frente de agua en riego superficial.
- La velocidad de infiltración del agua en el suelo.
- El caudal de entrada.
- El tiempo de riego.
- El tiempo de recesión del agua desde la superficie del suelo.
- La humedad del suelo antes del riego.
- La variabilidad estructural del suelo (distintos tipos).
- Las condiciones climáticas, especialmente en riego por aspersión.
- Presión y espaciamiento entre los aspersores o emisores en sistemas de riego presurizado.

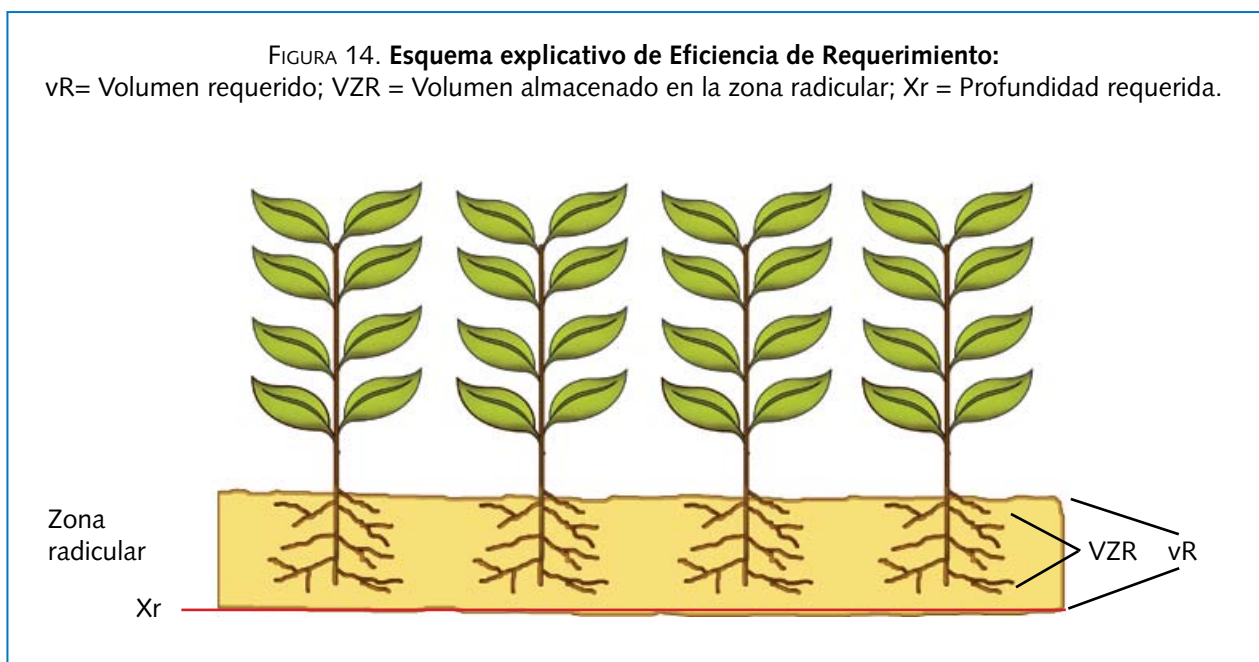
La calidad del riego sólo puede ser determinada usando varios modelos, pues uno solo no es capaz de entregar un análisis total de un riego. Para el presente documento se analizarán sólo cuatro modelos para medir la calidad de un riego: eficiencia de aplicación del agua (EA), eficiencia de requerimiento o eficiencia de almacenamiento de agua (ER), eficiencia de distribución de requerimiento (EDR), y eficiencia de distribución total (EDT).



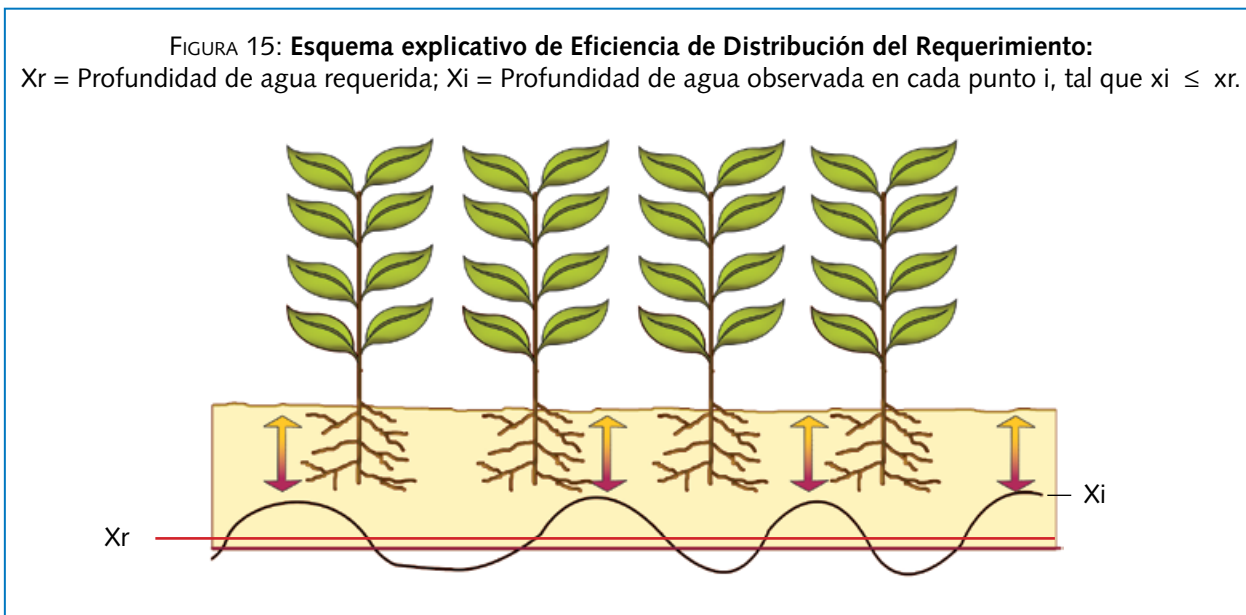
**a) Eficiencia de aplicación:** Se define como la razón entre el volumen de agua retenida en la zona radicular después del riego y el volumen total de agua aplicada en un riego. Ésta describe sólo la fracción de agua aplicada almacenada dentro de la zona radicular que es potencialmente accesible para el proceso de evapotranspiración. (Figura 13)



**b) Eficiencia de requerimiento:** Se define como la razón entre el volumen de agua almacenada en la zona radicular y el volumen de agua requerida por la planta. La eficiencia de requerimiento es importante cuando el agua almacenada en la zona radicular es insuficiente para cubrir los requerimientos del cultivo (Figura 14).

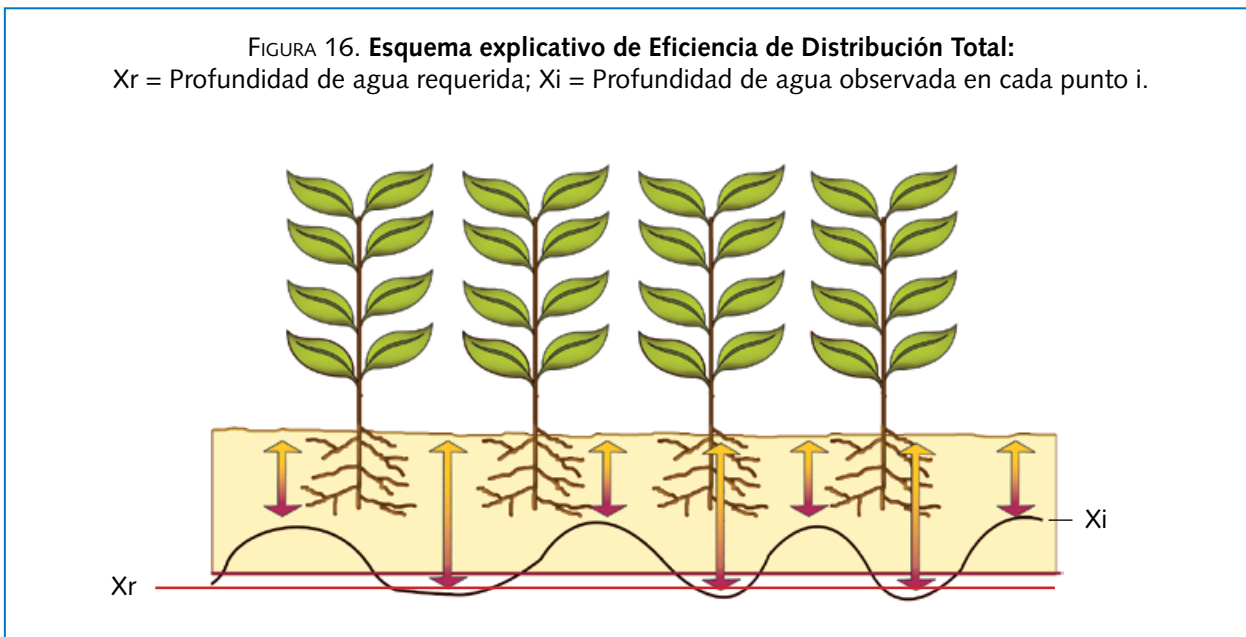


**c) Eficiencia de distribución del requerimiento:** La eficiencia de distribución del requerimiento (EDR) muestra cómo ha sido la distribución del agua en los puntos con déficit respecto al agua requerida (Figura 15). Su valor nos indica el porcentaje del área o superficie irrigada que ha recibido la cantidad de agua requerida por el cultivo.



**d) Eficiencia de distribución total:** Describe la distribución del agua en relación al requerimiento, incorporando tanto los puntos con déficit como con exceso. La eficiencia de distribución total muestra cómo ha sido la distribución del agua en el total de los puntos respecto al agua requerida (Figura 16). Analiza la variación de la altura de agua infiltrada respecto a

la altura requerida. De esta manera, cuando el riego es adecuado y se registran pequeñas variaciones de altura de agua infiltrada, el valor de EDT es alto. Por el contrario, cuando el riego es de mala calidad y se observan grandes variaciones de altura de agua infiltrada, el valor de EDT es bajo.



## 2.4. Fertirrigación para frutales

### ¿Qué es la Fertirrigación?

Fertirrigación es el proceso mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. (Figura 17). Cuando además de fertilizante se aplica otro tipo de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo (enmiendas) y compuestos que permiten el buen funcionamiento de los sistemas de riego presurizados (goteo, microjet y microaspersión), se usa el termino "quemigación".

### ¿Cuáles son las ventajas de la fertirrigación?

Entre las ventajas que presenta la aplicación de fertilizantes a los cultivos, por medio de un sistema de riego, se encuentran las siguientes:

**Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes:** Una mayor cantidad de fertilizante es utilizado por la planta en relación al total del fertilizante aplicado. Existe una mejor distribución y uniformidad, mejor penetración en el suelo y menores pérdidas por volatilización debido a que penetra en el suelo disuelto en el agua de riego.

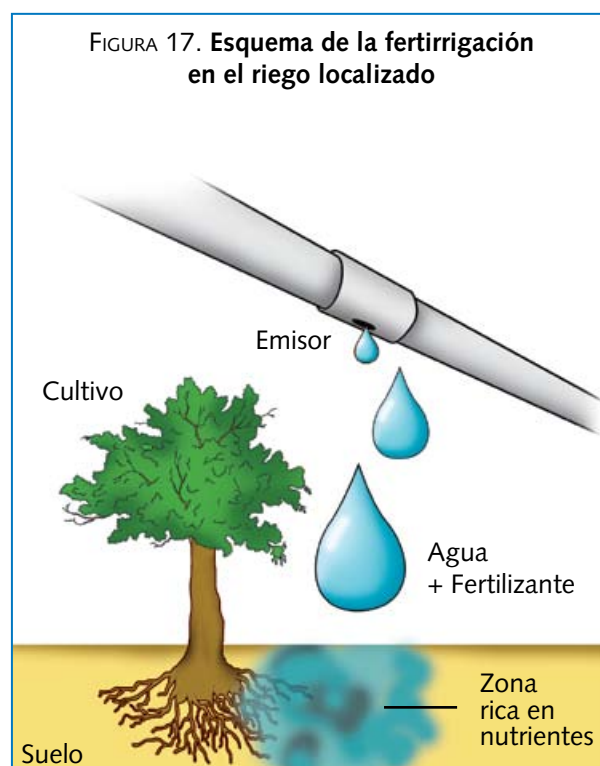
**Adaptación del programa de fertilización a diferentes etapas de desarrollo del cultivo:** Las aplicaciones de fertilizante pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo, floración, cuajado y postcosecha. Los fertilizantes pueden ser aplicados a través de mecanismos automáticos que permiten un alto control del agua y de los fertilizantes.

**Uso de suelos marginales:** Suelos pedregosos o muy arenosos que se caracterizan por una baja fertilidad natural, pueden ser cultivados sin problema y obtenerse de ellos altas producciones.

**Ahorro de trabajo y comodidad:** Se requiere menor mano de obra en la aplicación de fertilizantes y la aplicación es independiente de la hora del día y estado de ánimo del trabajador.

**Reducción del daño mecánico al cultivo:** Existe una baja probabilidad de daño mecánico al cultivo tales como poda de raíces, rotura de hojas o quiebre de ramillas.

**Posibilidad de utilizar fertilizantes líquidos y gaseosos:** La fertilización tradicional requiere de productos formulados en forma sólida para facilitar su manejo.



Hay productos como amoníaco anhidro ( $\text{NH}_3$ ) que se comercializa en forma de gas. El amoníaco reacciona en forma instantánea con el agua formando el Ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que es retenido por el complejo de intercambio. También es posible utilizar soluciones líquidas formuladas especialmente para diferentes fases de desarrollo del cultivo.

### ¿Cuáles son las desventajas e inconvenientes de la fertirrigación?

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método en sí, sino más bien a un manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas.

Los principales inconvenientes son:

**Obturaciones:** Obturaciones por precipitados causados por incompatibilidad de los distintos fertilizantes entre sí o con el agua de riego o bien debidas a una dilución insuficiente.

**Dosificación:** Las aplicaciones de fertilizantes y otros productos deben ser bien dosificadas para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede inducir toxicidad afectando los futuros rendimientos.

### ¿Cuáles son los sistemas de riego aptos para la fertirrigación?

Desde el punto de vista del abastecimiento de agua a las plantas, todos los métodos de riego son buenos si el agua es aplicada en el volumen y la frecuencia que las plantas requieren.

La diferencia fundamental entre los diversos métodos de riego es su eficiencia, es decir, la cantidad de agua utilizada directamente por la planta en relación al total de agua aplicada al predio.

Los métodos de riego gravitacionales son menos eficientes y en promedio, por cada 100 litros de agua aplicados al predio, alrededor de 40 a 50 son efectivamente utilizados por la planta, el resto se pierde por escurrimiento superficial y/o percolación profunda. Por el contrario, los métodos de riego presurizados son más eficientes y se aprovecha casi la totalidad del agua aplicada.

Los fertilizantes tienen un costo importante y perder la mitad de lo que se aplica es un despilfarro de dinero. En lo que a uso y aplicación de fertilizantes se refiere, se debe ser muy eficiente y ojalá no desperdiciar nada. Es por este motivo que la fertirrigación sólo se practica comercialmente en métodos de riego presurizados en donde existe la seguridad de aprovechar al máximo todo el insumo.

El riego localizado o presurizado, ya sea goteo, cinta, micro-aspersión o micro-jet brinda la oportunidad óptima para la aplicación de fertilizantes y agroquí-

micos a través del sistema de riego. Las raíces se desarrollan intensivamente en un volumen reducido de suelo, en donde el agua y los nutrientes se encuentran fácilmente. Este es el mejor escenario que puede tener el cultivo para expresar todo su potencial, lo que más tarde se traducirá en altas producciones, ya sea por planta individual así como en todo el predio.

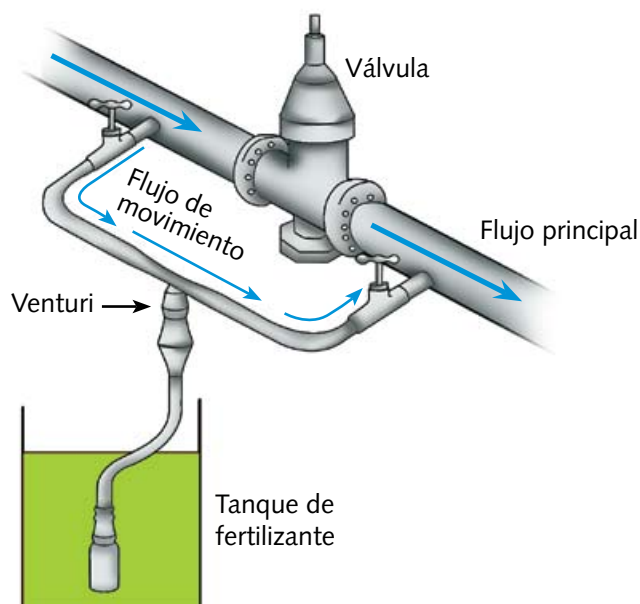
### ¿Cómo funciona un sistema de fertirriego?

La solución formada por agua y algún fertilizante se preparan en un balde o tambor, esta recibe el nombre de "solución madre" que es inyectada al sistema de riego. La mezcla de agua y solución madre recibe el nombre de "solución fertilizante" y es la que circula por las tuberías. Posteriormente la solución es localizada en el suelo muy cerca de las raíces, la cual da lugar a otra solución (solución suelo), que alimenta la planta.

Existen dos clases de aparatos para la incorporación de abonos al agua: los tanques de fertilización y los inyector de abono. En este documento se hará mención sólo al tanque de fertilización tipo Venturi.

**Tipo Venturi:** Son dispositivos muy sencillos que consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. El mecanismo venturi aprovecha un efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha gradualmente (Figura 18). El Venturi funciona cuando hay diferencia entre la presión del agua entrante y la de la combinación de agua y fertilizante saliente al sistema de riego.

FIGURA 18. Funcionamiento del Venturi para la inyección de fertilizante





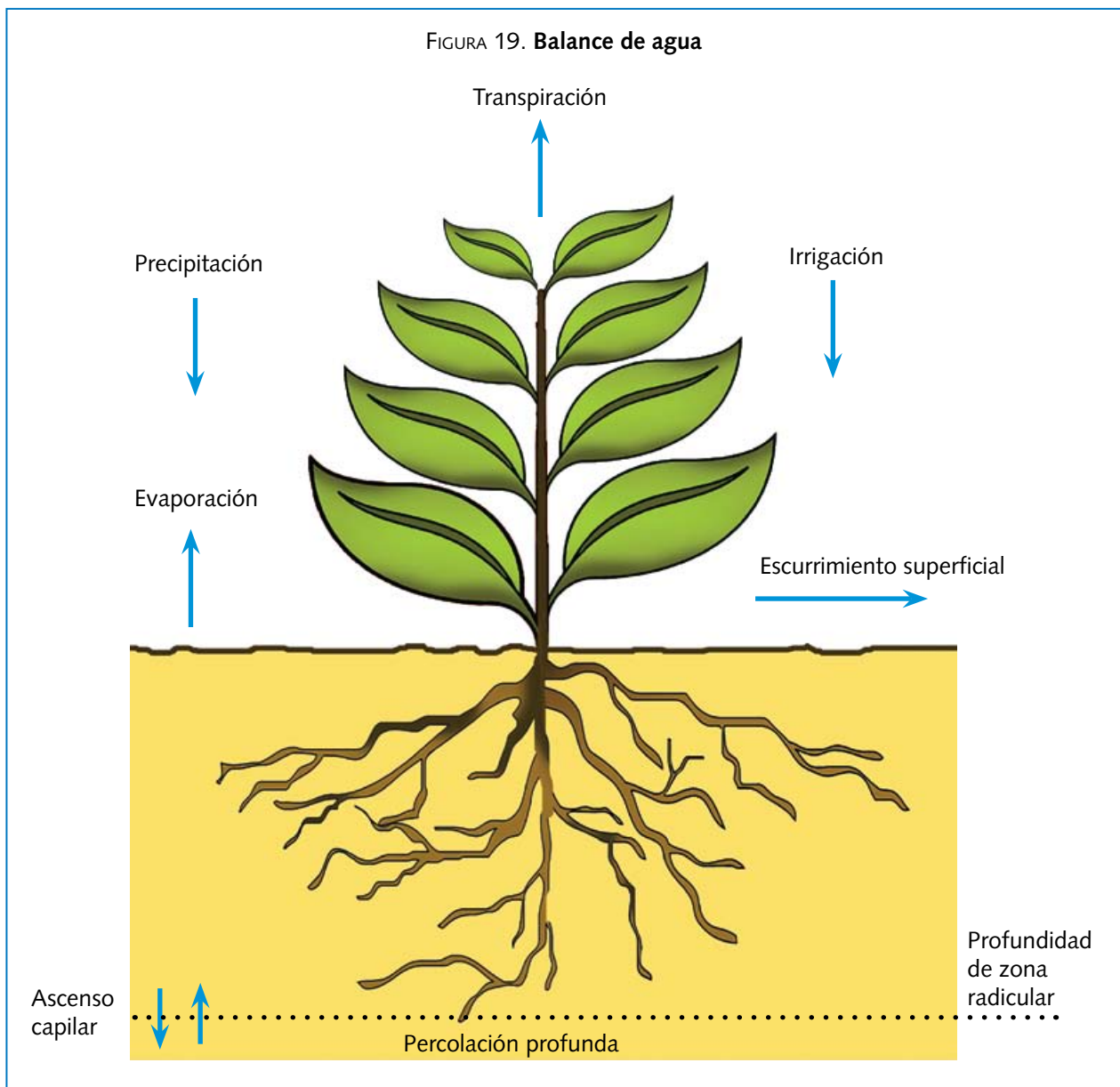
## 2.5. Programación del riego

### ¿Cómo programar el riego?

La programación de riego es una metodología que nos permite determinar el nivel óptimo de riego a aplicar a los cultivos. Esta consiste en establecer la frecuencia (¿Cuándo regar?) y tiempo de riego (¿Cuánto regar?) de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del predio. Una apropiada programación del riego permite optimizar el uso del agua y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas.

Para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo explorado por las raíces del cultivo.

Uno de los métodos más extendidos para la programación del riego es el balance de agua (Figura 19), que implica la determinación de todas las entradas y salidas de agua del predio, y está basado en el mantenimiento de un contenido de agua en el suelo adecuado para el cultivo o frutal. Para utilizar este método es especialmente importante conocer con exactitud el consumo de agua por el cultivo. Otros parámetros que son necesarios para la programación del riego son la humedad aprovechable del suelo (porcentaje de humedecimiento, sistema de riego), datos climáticos e información necesaria sobre el cultivo (evapotranspiración del cultivo, profundidad radicular, marco de plantación, porcentaje de cobertura).





### Determinación de los requerimientos hídricos de la planta

Existen varias aproximaciones para determinar los requerimientos de huertos frutales u otro cultivo regado por goteo y microjet. Sin embargo, recientes resultados demuestran que la relación que mejor predice los requerimientos es la que sigue:

$$ETc = Eb \times 0.8 \times Fc$$

$$Fc = 1.28 \times P + 0.1125$$

Donde:

- ETc: Evapotranspiración de cultivo o frutal (mm/día)
- Eb: Evaporación de bandeja (mm/día)
- Fc: Factor de cobertura (0-1).
- P: Fracción de cobertura de sombreado (0.1 < P < 0.7)

Si la fracción de cobertura es mayor a 0.7 (P > 0.7) el factor Fc se considera igual a 1.

### ¿Cómo estimar el porcentaje de cobertura?

El porcentaje de cobertura se estima a partir de:

$$P = \frac{\text{superficie sombreada}}{\text{superficie de plantación}} = \frac{\pi \times Ds^2}{4 \times E_{eh} \times E_{sh}}$$

Donde:

- Ds: Diámetro de la sombra proyectada en el suelo por el follaje del árbol al medio día solar (m)
- E<sub>eh</sub>: Espaciamiento del frutal entre hilera (m).
- E<sub>sh</sub>: Espaciamiento del frutal sobre la hilera (m).

Si existen antecedentes de función de producción del lugar, es mejor tomar los requerimientos entregados por ellos ya que son más precisos.

De esta manera para establecer el volumen de agua que requieren los cultivos o frutales podemos utilizar la siguiente relación:

$$Vr = ETc \times E_{eh} \times E_{sh}$$

Donde:

- Vr: Requerimiento de agua en Litros por día árbol. (L/día-árbol)

ETc: Evapotranspiración del cultivo o frutal (mm/día)

Eeh : Espaciamiento del frutal entre hilera (m).

Esh : Espaciamiento del frutal sobre la hilera (m).

El volumen total (Vt) de agua a aplicar será:

$$Vt = \frac{Vr}{Ea}$$

Donde:

- Vr: Requerimiento de agua en litros por día árbol.
- Ea: Eficiencia de aplicación como factor.

Es de alta conveniencia determinar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo en la zona de extracción radicular. Esto es importante porque si el volumen aplicado es superior a la capacidad de almacenamiento del suelo se producirán grandes pérdidas por percolación y se afectará la producción del frutal, ya que no se estaría cumpliendo con los requerimientos. De esta manera se determinará la frecuencia máxima del riego que es un parámetro importante para el diseño del sistema.

### ¿Cómo controlar la programación del riego?

La programación del riego realizada en base a parámetros climáticos y del frutal es una buena aproximación para determinar los requerimientos hídricos de los frutales y el momento de su aplicación. Sin embargo para comprobarlo y asegurarse que el riego en el predio es oportuno y efectivo, es posible monitorear la humedad del suelo explorado por las raíces de los frutales. Lo anterior requiere de instrumentos sencillos para su evaluación.

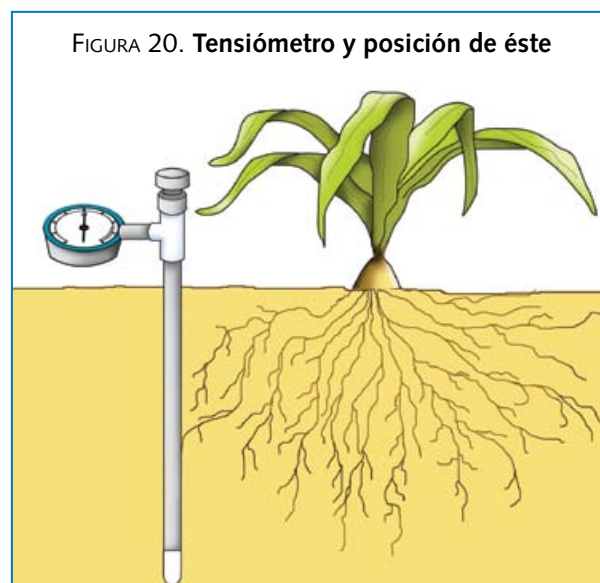
Para el caso de frutales regados por métodos tradicionales, como surco y tendido, es conveniente comprobar si el riego humedeció la zona radicular. Para ello se muestrea el suelo con un barreno hasta la profundidad máxima de raíces y se hace una apreciación visual del grado de mojamiento del suelo. Si el riego no humedeció la zona de raíces significa que se debe aumentar el tiempo de riego. Si el riego mojó hasta una profundidad mayor significa que el tiempo de riego debe disminuirse (pérdidas).

Para comprobar el momento de aplicación se puede utilizar el tensiómetro (Figura 20) que es un instrumento que mide la fuerza con que el agua es retenida en el suelo. Este instrumento está graduado entre 0 y 100 centibares. Cuando el instrumento marca 0, significa que el suelo está saturado (recién regado).

Valores entre 10 y 30 indican que el suelo está a capacidad de campo y todavía no requiere de riego. Valores mayores indicarán que el agua está retenida en el suelo fuertemente y que dependiendo del frutal habrá que regar o no.

En el caso del riego por goteo donde la aplicación de agua es en general diaria, el tensiómetro sirve para corroborar en forma cualitativa si la programación del riego realizada con la bandeja de evaporación es correcta. En este caso el tensiómetro debe marcar valores cercanos a capacidad de campo antes de aplicar el riego, es decir, entre 15 y 30 centibares. La instalación del tensiómetro debe ser en la zona del bulbo húmedo, cercano a la tubería portagoteros.

Para una mejor comprensión de cómo programar el riego, pueden recurrir a la página de la Comisión Nacional de Riego, biblioteca virtual, al documento número 4, "Programación del Riego".





## CAPÍTULO III. Drenaje

### 3. Aspectos básicos del drenaje y su impacto en la producción agrícola

La producción de frutales o de cualquier otro cultivo en condiciones económicamente rentables requiere de la existencia de un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radicular. Dicho ambiente depende del régimen térmico e hídrico imperante, así como de su aireación y del nivel de salinidad y fertilidad. Por tanto, la habilitación de suelos con drenaje restringido es una tecnología que tiene como objetivo fundamental disminuir el exceso de agua acumulada, tanto en la superficie como en el interior del suelo, con el fin de mantener las condiciones óptimas de aireación y actividad biológica indispensables para los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo radicular, como se muestra en la Figura 21:

#### ¿Qué significa drenaje inadecuado?

Si el drenaje de un suelo es o no inadecuado depende de una serie de factores que se interrelacionan entre sí, tales como: cantidad de agua caída, duración e intensidad de la lluvia, cantidad de agua de riego aplicada, frecuencia de los riegos, eficiencia de los métodos de riego, propiedades físicas del suelo, temperatura del suelo y el aire, especie, variedad y estado de desarrollo, entre otros.

El drenaje inadecuado (Foto 7) se caracteriza por un exceso de agua en el interior o la superficie del suelo, el cual elimina el aire presente en el espacio poroso y limita la actividad biológica. El impacto del exceso de agua en el suelo afecta el microambiente alrededor de las raíces y consecuentemente el desarrollo, supervivencia y rendimiento de las plantas.

FIGURA 21. Diferencia de crecimiento radicular y vigor de la planta bajo condiciones de mal y buen drenaje

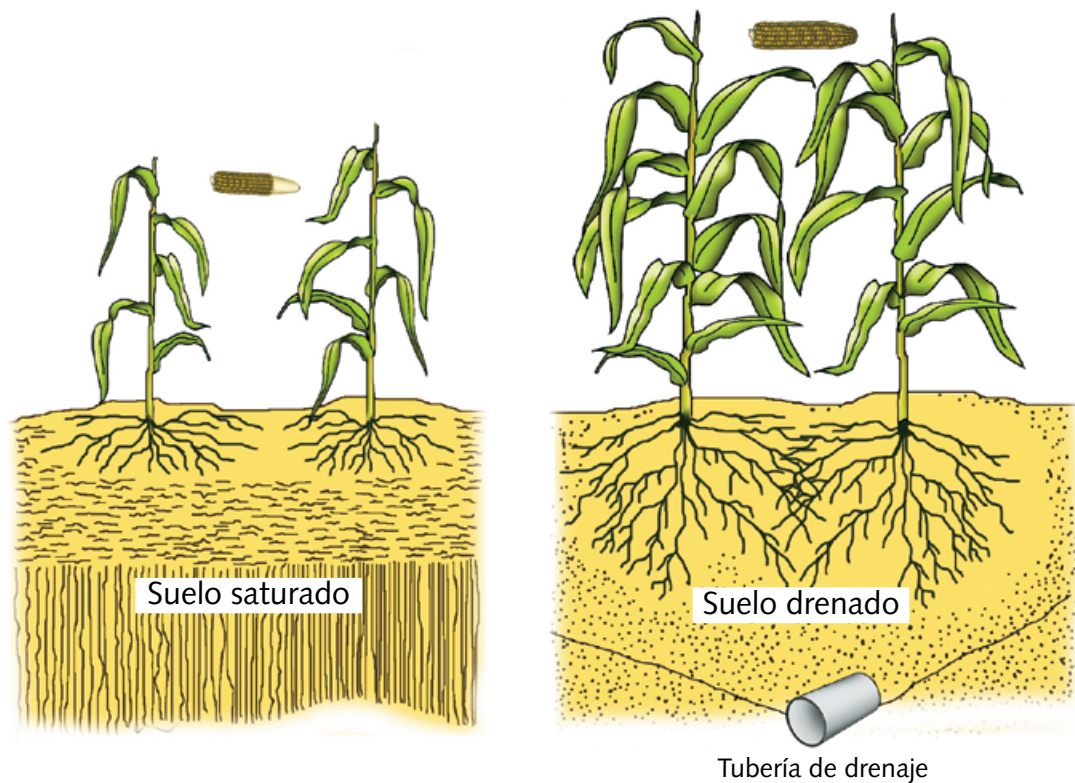




FOTO 7. Drenaje inadecuado en una zona agrícola

### **Causas del mal drenaje**

El exceso de agua sobre el suelo o en el interior del mismo puede ser ocasionado principalmente por la conjunción de uno o más de los siguientes factores: precipitaciones, inundaciones, riegos, suelo, topografía y filtraciones.

**Precipitaciones:** Cuando ésta excede la evaporación, en zonas húmedas, el suelo se satura y al ocurrir nuevas lluvias, el agua no puede ser absorbida, aumentando el escurrimiento y produciendo acumulación en los terrenos ubicados en posición más baja.

**Inundaciones:** Son una causa frecuente de problemas de drenaje, particularmente en los terrenos adyacentes a los ríos y esteros. Por ejemplo, al haber una lluvia de gran intensidad éstos pueden desbordarse a lo largo del plano de inundación ("vegas").

**Riegos:** El uso de prácticas inapropiadas tales como: riego tendido, riego nocturno, tiempos excesivos y volúmenes incontrolables, provocan pérdidas excesivas por escurrimiento superficial y por percolación profunda. El primero se acumula en las depresiones del terreno, y el segundo contribuye a una rápida elevación de la napa freática.

**Suelos:** Las características de textura, estructura y de estratificación son determinantes en la formación de problemas de mal drenaje. Los casos más importantes al respecto son los siguientes:

a) Suelos de texturas finas (arcillosas), y de estructura masiva en la estrata superficial, tienen una baja velocidad de infiltración.

b) Ocurrencia de depósitos de limo en la superficie de los suelos, formando costras que impiden la infiltración.

c) Suelos estratificados, particularmente aquellos que se encuentran en planos depositacionales de ríos ("vegas") o de cenizas volcánicas, presentan estratos que se comportan como impermeables e impiden el movimiento vertical del agua.

**Topografía:** Se distinguen tres casos característicos, en que la topografía es causante del problema de drenaje.

a) Topografías muy planas (< 0,5%) que impiden el libre escurrimiento de las aguas y con frecuencia causan acumulación superficial.

b) Suelos de lomaje, de topografía ondulada, tienen un alto escurrimiento superficial y los excesos se acumulan en las depresiones.

c) Microrrelieve con depresiones pequeñas y medianas, que dificultan el movimiento superficial del agua.

**Filtraciones:** La red extra e intrapredial de canales de riego, construidos casi en su totalidad directamente en tierra, presentan filtraciones laterales de mayor o menor grado, que van a abastecer la napa freática, o afloran a la superficie en sectores de posición más baja.



## Consecuencias del mal drenaje

### a) Relación exceso de agua y aireación del suelo:

Para la respiración y otras actividades metabólicas las raíces requieren oxígeno. Ellas absorben agua y nutrientes disueltos desde el suelo y producen dióxido de carbono el cual se intercambia con el oxígeno de la atmósfera. Este proceso de aireación requiere que en el suelo existan poros grandes ya que los poros pequeños contribuyen al almacenamiento de agua en el suelo. Los poros no capilares, los cuales son grandes y fácilmente vaciables en forma natural o mediante una obra de drenaje, funcionan como canales para el intercambio de los gases.

Además de agua para su desarrollo las plantas requieren calor, luz, oxígeno y nutrientes. El exceso de agua en el suelo interfiere con la aireación y por lo tanto, controla la disponibilidad de estos factores esenciales.

La escasez de oxígeno en el suelo trae como consecuencia la asfixia radicular. Inicialmente mueren las raíces más finas pero si las condiciones de anaerobiosis (falta de oxígeno) persisten, mueren también las raíces fibrosas y aún las más gruesas con lo que la absorción y la traslocación radicular quedan seriamente afectadas. La asfixia puede dañar parte del sistema radical o su totalidad. En el primer caso, si los daños no son demasiados severos, puede producirse una regeneración, sobre todo si las condiciones del suelo mejoran a través de un sistema de drenaje, pero si el porcentaje de sistema radicular dañado es alto, los daños son irreversibles y el árbol muere irremediamente.

**b) Efecto sobre la función radical, su crecimiento y desarrollo:** el sistema radical de un árbol adulto lo forman el conjunto de todas sus raíces. En dicho sistema se encuentran raíces pivotantes, superficiales, fibrosas, leñosas, primarias y de otros órdenes, pelos radicales, raíces absorbentes y en crecimiento activo y raíces de anclaje. Este sistema cumple una función mecánica de anclaje al suelo; funciones fisiológicas de absorción de agua y nutrientes, circulación a través de los mismos y acumulación y almacenamiento de reservas en sus tejidos y funciones biológicas de respiración y crecimiento tanto como grosor y por ramificación.

Al estar el sistema radical de un árbol inmerso en el suelo, la naturaleza de éste va a influir en el cumplimiento de esas funciones y marcadamente en su crecimiento y desarrollo. Además de las características genéticas propias de la especie, las características del suelo que más condicionan el crecimiento y desarrollo radical son la aireación y contenido de oxígeno; la temperatura del suelo y sus variaciones; la humedad y sus variaciones; el contenido de nutrientes y la estructura y textura. En el Cuadro 5 se muestra la profundidad de arraigamiento para algunos frutales.

### CUADRO 5. Profundidad de arraigamiento de algunas especies frutales.

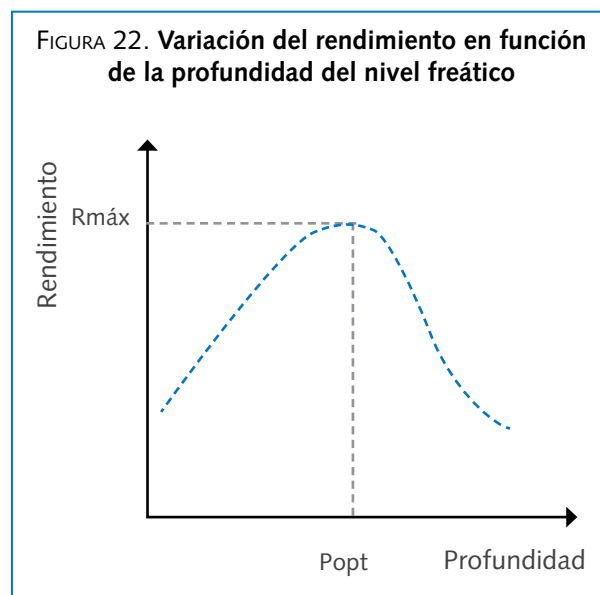
(Encuesta a especialistas. Se considera que ninguna otra propiedad del suelo es limitante).

Especie	Umbral limitante % (*)	Requerimiento óptimo %
Cítricos	40	80
Ciruelo	50	100
Vid	30	60
Vid	45	80
Peral	50	100
Manzano	40	100

(\*) Bajo el umbral el rendimiento sería afectado al menos en 30%.  
Fuente: Honorato, R. 1993

**c) Efecto sobre la producción frutícola:** A pesar que la literatura es escasa en cuanto al efecto que tiene el mal drenaje en la producción de los frutales, es posible afirmar que debido al sistema radical relativamente inflexible que tiene la mayoría de los frutales, con raíces activas desarrollándose a escasa profundidad, parece ser fácilmente afectado por la presencia de una napa freática no muy profunda. Sin embargo, la susceptibilidad de un frutal a un drenaje interno pobre dependerá, además de la especie y variedad, de su edad y la estación climática. Así, por ejemplo, las raíces del manzano sufrirán un daño mayor por exceso de agua en verano que en invierno ya que en este último periodo la planta se encuentra en estado de dormancia.

En general, la extensión y profundidad de las raíces aumentan con la profundidad de la napa freática. Rendimientos adecuados son obtenidos sólo desde árboles que crecen en terrenos con napas a profundidades mayores a 1 m. En la Figura 22 se muestra la variación del rendimiento en función de la profundidad del nivel freático (curva teórica).



Las plantaciones de frutales en suelos con alto contenido de materia orgánica pueden sufrir severos daños cuando tales suelos son drenados y ocurre subsidencia. Por otro lado, si el árbol crece bajo condiciones de nivel freático alto, tiende a desarrollar un sistema radicular muy superficial, tipo platiforme, que no le provee la sustentación necesaria.

Además del efecto de la disminución de los rendimientos, es necesario señalar que la presencia de un nivel freático alto puede eventualmente crear las condiciones más adecuadas para el desarrollo de algunas enfermedades. Ejemplo: Phytophthora.

### Obras de drenaje

Se considera que el principal efecto del mal drenaje es el daño a la productividad agrícola. Sin embargo, se debe incluir en primer lugar el efecto del mal drenaje por acumulación superficial. Esto provoca pérdida de trabajabilidad, problemas de mecanización, problemas sanitarios y daños a infraestructura, con la consiguiente disminución de los rendimientos y por supuesto pérdidas económicas.

En segundo lugar se debe incluir el efecto del mal del drenaje al interior del suelo. Esto provoca una menor aireación y temperaturas más bajas, por lo tanto, hay un menor desarrollo radicular, menor abastecimiento de nutrientes lo que se traduce a una disminución de rendimientos y finalmente pérdidas económicas. El Cuadro 6 muestra los requerimientos de drenaje de algunos frutales.

Según la localización de los excesos de agua, el problema de drenaje se clasifica en subsuperficial y superficial.

**CUADRO 6: Requerimientos de drenaje de algunos frutales**

Grupo*	Frutales
I	Almendros Durazneros Palto Chirimoya
II	Damasco Nogal Manzano Cerezo Olivo
III	Higuera Cítricos Ciruelos Peral
IV	Vid
V	Membrillo

\* El grado de exigencia de buen drenaje aumenta de V a I.

**Sistema de drenaje superficial:** se entiende por drenaje superficial, la remoción de los excesos de agua que se acumulan sobre la superficie del suelo. Dependiendo de la fuente de exceso de agua, los tipos de drenaje superficial que más se pueden adaptar a frutales son:

1. Control de inundaciones
  - Tranques de detención.
  - Diques de contención.
  - Rectificación de cauces.
2. Control de escurrimiento
  - Drenes interceptores.
  - Diques de contención.
3. Drenaje superficial local
  - Drenaje suelos planos (al azar y paralelos).
  - Drenes de suelos con pendiente (zanjas transversales a la pendiente y terrazas).

**Sistema de drenaje subsuperficial:** se entiende por drenaje subsuperficial la remoción de los excesos de agua que se acumulan en el interior del suelo y que no pueden ser eliminados en forma natural debido a algún tipo de restricción que ofrece el suelo a la percolación profunda. Para remover artificialmente estos excedentes es necesario construir una red de drenaje en la cual es posible distinguir los siguientes componentes:

1. Drenes laterales (o de campo): Son los drenes encargados de drenar el suelo propiamente tal. Los drenes laterales pueden ser zanjas abiertas o tuberías enterradas.
2. Drenes colectores: Drenes encargados de coleccionar el agua de drenaje proveniente de los laterales y transportarla fuera del área problema.
3. Dren principal: Son aquellos que reciben el aporte de todos los colectores de un área determinada. Por lo general el dren principal corresponde a un río o un estero.

### **Obras de drenaje más utilizadas**

Entre los sistemas de drenaje más utilizados están los drenes zanja, drenes topo, drenes en V, y drenes entubados de diferentes materiales y formas. El uso de uno u otro dependerá del problema a resolver y de las condiciones del productor.

**Drenes zanja:** Corresponden a colectores que se trazan en terreno conformando una red de drenaje. (Foto 8)

**Drenes topo:** Galerías subterráneas construidas en el interior del suelo, de aproximadamente 7,5 cm de diámetro, que están rodeadas de fisuras periféricas para lograr la recolección de los excedentes hídricos que se acumulan en la zona radicular.

**Drenes en V:** Zanjas que se caracterizan por poseer taludes amplios que fluctúan entre 8:1 y 10:1, lo cual permite el libre tránsito de maquinaria y ganado. Son soluciones adecuadas en sectores que presentan topografía ondulada, ya que permiten mantener la continuidad de los potreros y adecuarse a la topografía natural.

**Drenes de tubería:** Consisten en una tubería de drenaje enterrada en una zanja y revestida por un material filtrante.



Foto 8. Preparación de un dren tipo zanja.



## CAPÍTULO IV.

# Sustentabilidad de la calidad del recurso hídrico

### 4. Riego y Contaminación

#### *Contaminación de las aguas*

Se dice que el agua está contaminada cuando existe una pérdida parcial o total de su calidad natural (química, física y biológica) como resultado de la incorporación (directa o indirecta, voluntaria o involuntaria) de materias sólidas, líquidas, gaseosas, o energía (calor u otros) en cantidad tal que sobrepasa sus capacidades naturales de absorción y auto depuración.

**Contaminación puntual:** Es la contaminación como consecuencia de la incorporación de sustancias líquidas, sólidas o gaseosas desde fuentes estacionarias e identificables. Por ejemplo, las descargas de aguas servidas. (Foto 9)

**Contaminación difusa:** Es la contaminación como consecuencia de la recepción de múltiples descargas desde diversas fuentes no identificables que tienen los siguientes factores comunes:

- No ocurren desde un mismo sitio;
- Son de distinto tipo y no actúan de manera continua ni periódica;
- Son de baja magnitud, por lo que no es el aporte individual, si no la sumatoria de ellos el que altera la calidad de las aguas.

Un ejemplo de contaminación es la aplicación de plaguicidas.

#### a) Principales contaminantes en el agua de riego

Los principales contaminantes del agua de riego (Foto 10) son:

- Aguas residuales con alto contenido de elementos orgánicos y microorganismos;
- Basura doméstica e industrial;
- Nutrientes estimulantes del crecimiento de plantas acuáticas (nitratos y fosfatos);
- Productos químicos (metales pesados, pesticidas, detergentes y productos resultantes de la descomposición de compuestos orgánicos);
- Aceites, grasas y otros derivados del petróleo;
- Minerales orgánicos;
- Partículas de suelo arrastradas por escurrimiento superficial, desde suelos erosionados.

Foto 9. Descarga de aguas servidas



Foto 10. Contaminación del agua de riego





## b. Manejo agrícola que contribuye a la mala calidad del agua de riego

Las prácticas agrícolas que más contribuyen a la contaminación difusa son:

- Fertilización excesiva al suelo;
- Exceso de insumos y aplicación descuidada para el control de plagas;
- Pastoreo en suelos con cuerpos de agua vulnerable (con posibilidad de contaminarse).
- Exceso de labranza y preparación del suelo (erosión);
- Mal diseño del sistema de riego y aplicación deficiente de agua.

### **Contaminación de agua por aplicación de fertilizantes**

En Chile, los fertilizantes empleados en mayor cantidad son los nitrogenados y los fosforados. Los fertilizantes potásicos y los que aportan micronutrientes son menos utilizados.

Los fertilizantes nitrogenados inciden fuertemente en la contaminación difusa debido a las características del nitrógeno, que son las siguientes:

- Es el nutriente que los cultivos requieren en mayor cantidad, por lo que se aplica abundantemente.
- Es el nutriente más móvil, ya que tiene gran solubilidad (por lo tanto, las plantas no lo aprovechan bien).
- Su exceso genera restricciones al consumo humano, debido a que es un elemento definido como cancerígeno - por la Organización Mundial de la Salud.
- Es extremadamente sensible: cambia de forma química y de estado físico (sólido y gaseoso).

La contaminación de las aguas por fertilizantes se debe principalmente a la sobredosificación por un mal o inexistente programa de fertilización, y al mal manejo de los suelos que provoca la erosión del suelo, con partículas de fertilizantes adheridas que escurren con el agua de lluvia o derrames.

### **Recomendaciones para disminuir la contaminación del agua por fertilizantes**

- Calcular la dosis de fertilizantes según la capacidad de uso del suelo, las necesidades del cultivo y las producciones esperadas.
- Realizar la fertilización en la época más recomendable para el cultivo.
- Evitar la aplicación de fertilizantes si hay pronóstico de lluvia las próximas 72 horas.
- Evitar fertilizantes de alta solubilidad (nitrogena-

dos) en sitios con napa freática alta (es decir, a 1 m de profundidad o menos)

- Aplicar uniformemente el fertilizante en el suelo.
- Mantener el suelo cubierto con vegetación a fin de capturar el exceso de nitratos.
- Evitar el riego excesivo, ya que favorece la lixiviación (lavado del suelo).
- Aplicar el riego de manera uniforme, considerando las depresiones y la pendiente del terreno.
- Almacenar el fertilizante de manera que no sea alcanzado por las aguas, animales domésticos o animales-plagas.
- En caso de fertirrigación con riego presurizado, usar concentraciones adecuadas al cultivo.

### **¿Qué son las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)?**

El sistema de reglas que dio origen al concepto BPA es el que se gestó en Europa y son conocidas como EUREPGAP.

En Chile, la Subsecretaría de Agricultura definió las BPA en enero de 2003, como:

“Todas las acciones involucradas en la producción, procesamiento y transporte de productos alimenticios de origen agrícola y pecuario, orientadas a asegurar la protección de la higiene y salud humana y del medio ambiente, mediante métodos ecológicamente más seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles”.

### **¿Qué es EUREPGAP?**

Es la sigla en inglés de *Euro-Retailer Produce Working Group* (EUREP), y de *Good Agricultural Practices* (GAP), que representa el protocolo de buenas prácticas agrícolas desarrollado por un conjunto de grandes cadenas de distribución europeas del rubro alimentario, logístico, certificación, agroquímicos y también por productores.

El protocolo EUREPGAP para frutas y hortalizas frescas define un marco para el establecimiento de Buenas Prácticas Agrícolas en los predios, determinando los elementos principales para el desarrollo de las mejores prácticas dentro del esquema global de producción. Este documento define los estándares mínimos aceptables por los principales grupos de comercialización minorista en Europa.

Los objetivos de estos estándares son:

- Responder al interés del consumidor por el impacto medioambiental.
- La sanidad y seguridad en los alimentos, y

- Reflejar el deseo de mejorar constantemente los estándares de producción en cooperación con los productores.

**Los documentos principales de EUREPGAP son los siguientes:**

1. Protocolo EUREPGAP, documento normativo con los estándares que los agricultores deben cumplir.
2. Puntos de Control y Criterios de Cumplimiento EUREPGAP, el cual entrega detalles de cómo el agricultor cumple con cada uno de los requerimientos del sistema.
3. Lista de Chequeo EUREPGAP, que sirve de base para la auditoría externa al agricultor y es usada por éste para cumplir con el requerimiento anual de auditoría interna.
4. Regulaciones Generales EUREPGAP, el cual establece las reglas por las cuales el sistema será administrado.
5. Procedimientos de Evaluación Comparativa (Benchmarking)

Como se encuentra descrito en Regulaciones Generales de EUREPGAP, el esquema está dividido en Requisitos mayores (color rojo), Requisitos menores (color amarillo) y Recomendaciones (color verde).

A continuación se presenta el Protocolo, Lista de Chequeo y Puntos de Control y Criterios de Cumplimiento de EUREPGAP relacionados con el riego y la calidad del agua. Estos documentos deben tomarse como una guía general mínima, entendiendo que para acceder a una certificación, se deben cumplir además de lo referente al riego, todos los otros requerimientos de EUREPGAP:

1. Trazabilidad.
2. Mantenimiento de Registros.
3. Variedades y Patrones.

4. Historial de manejo del predio.
5. Gestión del suelo y de los sustratos.
6. Fertilización.
7. Riego.
8. Protección de Cultivos.
9. Recolección.
10. Tratamiento.
11. Contaminación y gestión de residuos.
12. Salud, seguridad y bienestar laboral.
13. Medioambiente.
14. Reclamaciones.
15. Auditoría interna.

El cumplimiento de las normas EUREPGAP implica una serie de cambios a nivel predial, entre los cuales se encuentra el riego y la gestión del agua. Estos elementos no están separados del resto de las prácticas agrícolas y deben tratarse siempre de manera integral. Un riego de calidad, además de cumplir con las necesidades hídricas de los cultivos de manera eficiente, no debe provocar daños en el medio ambiente como la erosión y debe conservar la calidad del recurso hídrico.

Al considerar la calidad del agua, el problema adquiere una dimensión espacial mayor, en la cual están involucradas una serie de actividades agrícolas y no agrícolas circunscritas a un territorio y, por lo tanto, la solución ya no depende tan sólo de las prácticas intraprediales, se debe buscar los mecanismos de coordinación y acuerdos para preservar la calidad del agua con los otros usuarios de este recurso y evitar así los problemas de contaminación puntual y difusa. Además, se debe promover la conservación de los recursos naturales a través del establecimiento de sistemas productivos limpios que puedan optar a una certificación.

Finalmente, es necesario adoptar estrategias en la gestión del agua que siempre tomen en cuenta la dimensión productiva, ambiental y social.

## Bibliografía

- COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. Manual de Manejo de Agua para la Agricultura Limpia.
- HOLZAPFEL E., JARA J., MONTES L., JOUBLAN J. y MATTA R. 2001. Efecto del Nivel de Agua Aplicada en la Producción y Desarrollo de Naranjos Cultivar Thompson Navel, *Agrociencia* 17(1): pp. 69-78.
- HOLZAPFEL H. EDUARDO. Riego por Goteo y Microjet. Departamento de Recursos Hídricos Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
- HSIAO T. 1990. Fisiología General, absorción de agua por las plantas, Curso internacional Manejo de Agua en Frutales. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
- JARA J., HOLZAPFEL E. y VALENZUELA A. 1987. Diseño de Métodos de Riego: Información básica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Departamento de Ingeniería Agrícola. *Boletín de Extensión* N° 25.
- JARA R. J. y VALENZUELA A. A. 1998. Necesidades de agua en los cultivos. Comisión Nacional de Riego. Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
- MARTÍNEZ B. LEONCIO. 1998. Manual de Fertirrigación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación INTIHUASI.
- MARTÍNEZ B. LEONCIO. 2000. Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego para Pequeños Agricultores. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación INTIHUASI. *Boletín Técnico*.
- MILLAR, AGUSTÍN A. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Oficina en Chile. 556p.
- ORTEGA C. L. y SALGADO S. L. 2001. Drenaje en Suelos Agrícolas. Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-CARILLANCA.
- ORTEGA F. S. y ACEVEDO O. C. 1999. Programación del Riego. Comisión Nacional de Riego. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias.
- SALGADO L. 1991. Drenaje en Frutales. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Departamento de Ingeniería Agrícola. *Boletín de Extensión* N° 49.
- SALGADO L. 2000. Manual de Estándares Técnicos y Económicos para Obras de Drenaje. Comisión Nacional de Riego. Chillán 314 p.
- SILVA C.P., ACEVEDO H.E. y SILVA R.H. 2000. Manual de Estudios y Ejercicios. Laboratorio Relación-Suelo-Agua-Planta, Facultad de Cs. Agronómicas, Universidad de Chile. ANTUMAPU.
- VILLALOBOS F., MATEOS L., ORGAZ F. y FERERES E. 2002. Fitotecnia "Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.







GOBIERNO DE CHILE  
FUNDACIÓN PARA LA  
INNOVACIÓN AGRARIA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA

**Fundación para la Innovación Agraria**

Loreley 1582, La Reina, Santiago  
Fono (2) 431 30 00 - Fax (2) 431 30 64  
[www.fia.gob.cl](http://www.fia.gob.cl)

**Centro de Documentación en Santiago**

Loreley 1582, La Reina, Santiago  
Fono (2) 431 30 96

**Centro de Documentación en Talca**

6 Norte 770, Talca  
Fonofax (71) 218 408

**Centro de Documentación en Temuco**

Bilbao 931, Temuco  
Fonofax (45) 743348