



**CRHIAM**

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015



Manuales  
FIA  
CRHIAM

# Riego y Drenaje en frutales



Manual  
**Riego y Drenaje en frutales.**  
Edición Diciembre 2021

ISBN 978-956-227-502-6  
Editorial Universidad de Concepción

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM)  
Universidad de Concepción - Fundación para la Innovación Agraria.

**Autores:**

**Eduardo Holzapfel, Ximena Orrego, Jorge Jara, Luis Salgado y Camilo Souto.**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción, Campus Chillán.

**Diseño Editorial**

Okey Comunicaciones

**Impresión**

Trama Impresores S.A.

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

**Agradecimientos:**

Centro de Recursos Hídricos  
para la Agricultura y la Minería  
(CRHIAM)  
ANID/FONDAP/15130015

Victoria 1295, Barrio Universitario,  
Concepción, Chile  
Teléfono +56-41-2661570

[www.crhiam.cl](http://www.crhiam.cl)



# Contenidos

	Prólogo	03
	Introducción	05
<b>CAPÍTULO</b>	<b>Relaciones hídricas en frutales</b>	<b>06</b>
<b>01</b>	1.1 Necesidades hídricas en frutales	
	1.2 Evapotranspiración en frutales	
	1.3 Agua en el suelo y estado hídrico de la planta	
	1.4 Patrones de extracción de agua	
<b>CAPÍTULO</b>	<b>Métodos de riego en frutales</b>	<b>23</b>
<b>02</b>	2.1 Antecedentes del suelo	
	2.2 Métodos de riego para frutales	
	2.3 Selección de métodos de riego	
	2.4 Eficiencia o calidad del riego	
	2.5 Fertirrigación y quemigación para frutales	
	2.6 Programación del riego	
<b>CAPÍTULO</b>	<b>Drenaje</b>	<b>45</b>
<b>03</b>	3.1 Aspectos básicos del drenaje y su impacto en la producción agrícola	
	3.2 Consecuencias del mal drenaje	
	3.3 Sistemas de drenaje	
<b>CAPÍTULO</b>	<b>Sustentabilidad en la calidad de los recursos hídricos</b>	<b>55</b>
<b>04</b>	4.1 Agricultura sustentable	
	4.2 Sistemas de riego y contaminación	
	4.3 Buenas prácticas agrícolas para la sustentabilidad	
	Bibliografía	62



## Prólogo

Impulsar la innovación en las distintas actividades agrícolas del país es fundamental para dar respuesta a la creciente demanda de alimentos. Sin embargo, el escenario actual de disponibilidad hídrica también supone desafíos que se vinculan con la protección de los ecosistemas, el cuidado del medio ambiente, el desarrollo social y la viabilidad económica; aspectos necesarios para garantizar una agricultura sustentable.

Es por ello, que esta necesidad de fortalecer la agricultura del país como una actividad fundamental ha tomado una importancia creciente en las políticas sectoriales y en la gestión del Ministerio de Agricultura. En este sentido, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), en su objetivo de impulsar la innovación en las distintas actividades de la agricultura del país, ha entendido que el fortalecimiento de los procesos de innovación tecnológica requiere potenciar también las capacidades de todas las personas que intervienen en dicho proceso.

En esta misma línea, el Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), proyecto ANID/FONDAP/15130015, es un Centro de investigación de excelencia financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), a través de su programa Fondap, que busca establecer conexiones con diversos actores, haciendo una bajada del lenguaje científico con el fin de llegar a todo el espectro de la sociedad. De esta manera, parte de sus labores se enfocan en generar material útil para ser llevado a la práctica tanto del sector agrícola, minero y para las comunidades.

Por ello, ambas entidades han aunado esfuerzos para diseñar este manual de tan importante tópico como es el recurso hídrico para el desarrollo de la agricultura. La Fundación para la Innovación Agraria ha elaborado diversos manuales en temas tan variados como producción ovina, compostaje, elaboración de queso, producción de flores y manejo de agua en frutales.

En el presente texto, se ha relevado el estándar internacional de seguridad hídrica, término que fue acuñado por la ONU en 2013, y que aboga por garantizar el acceso al agua en cantidad y calidad para las comunidades y sectores productivos. De esta forma, este manual es un insumo actualizado y práctico que busca contribuir a una mejor gestión del agua, a través de experiencias prácticas e investigación científica de primer nivel realizada por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y el Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM).



## 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 Riego y Drenaje en Frutales es presentar y desarrollar los conceptos relacionados con el uso sustentable y manejo óptimo de los recursos hídricos.



## CAPÍTULO

# 01

# Relaciones hídricas en frutales

Dr. Jorge Jara Ramírez.  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

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 desde éstas a los órganos de reserva. La relación entre el desarrollo, crecimiento y el nivel de agua aplicada no sólo dependen del 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 transpiración y, por tanto, el potencial (capacidad de realizar trabajo) de agua en la hoja.

Los frutales usan cantidades significativas de agua. La mayoría de esta agua 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.

## 1.1. 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 la planta. Para lograr el máximo aprovechamiento del agua es esencial conocer algunos factores ambientales, como el suelo y el clima, donde la planta se desarrolla.

### 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 ( $\text{mm día}^{-1}$ ,  $\text{mm mes}^{-1}$ ). También se puede expresar en  $\text{m}^3$  por superficie de plantación ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

Las necesidades netas de agua de un frutal dependen de su edad, nivel de crecimiento y cantidad de área foliar, estado fenológico, tipo de frutal y localidad (clima). En general, el estado fenológico que va desde plena flor hasta maduración del fruto son las más demandantes de agua, y es donde mayor cuidado se debe poner en el riego. Además, en la medida que avanza la temporada de crecimiento va aumentando el área foliar y, por lo tanto, el número de estomas y en consecuencia la transpiración. Esto implica que la cantidad de agua que se debe aplicar también aumenta, debiendo regarse con mayor frecuencia y/o por más tiempo, en la medida que el frutal está más desarrollado.

Los factores que determinan el consumo de agua de los árboles están definidos por el árbol en sí (edad, tipo de frutal y su variedad, estado de desarrollo, volumen del sistema radical extractante) y por el clima.

### Factores de la planta

**a) Variedad:** pueden existir diferencias en los requerimientos hídricos entre los diversos frutales y sus variedades. El conocimiento de los requerimientos de cada variedad, la carga frutal, el manejo agronómico y el comportamiento o requerimientos en postcosecha 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 verde (hojas) con relación al área del marco de plantación. Varía a lo largo de la temporada de acuerdo con el tipo de frutal (hoja caduca o perenne), manejo de la cubierta vegetal y a su estado de desarrollo. A mayor desarrollo del frutal, mayor es el porcentaje de cobertura y mayores son sus necesidades hídricas.

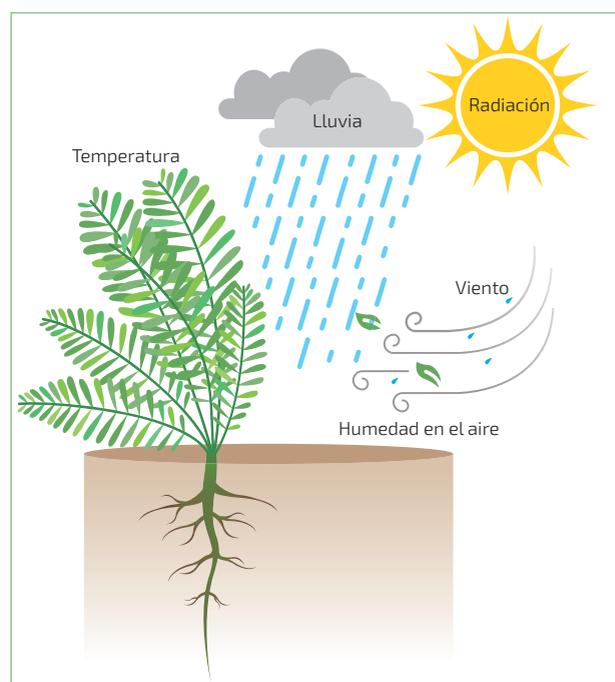
**c) Desarrollo del sistema radical del frutal:** la distribución y profundidad del sistema radical de un frutal determinan el volumen o cubo de suelo desde el cual puede extraer agua. El crecimiento que alcanza el sistema radical en un suelo depende de varios factores:

- Patrón de injerto (enanizante, semi-enanizante, vigorizante, franco)
- Características de la planta y de su estado de desarrollo.
- 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 de agua) cercanas a la superficie del suelo.
- 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, con una mayor disponibilidad de agua que la existente en un volumen de suelo menor. Todo esto condicionado por el potencial de crecimiento de las raíces.

### Factores climáticos

Los factores de clima que afectan la cantidad de agua que requieren las plantas son la radiación solar, temperatura, humedad del aire, el viento y las precipitaciones.

En la Figura 1.1 se esquematizan los factores climáticos que afectan la demanda de agua de las plantas.



**Figura 1.1**

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. Es la principal fuente de energía para evaporar agua (se necesitan 2450 Joules para evaporar un gramo de agua). En condiciones de día despejado, esta fuente de energía es la responsable del 60 a 80% de la transferencia de agua hacia la atmósfera.

**b) Vientos:** a mayor velocidad del viento se remueve más rápido el vapor de agua en la atmósfera que envuelve al frutal, por lo que 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. Físicamente se explica por su efecto en el aumento del déficit de presión de vapor de agua en la atmósfera a medida que aumenta la temperatura.

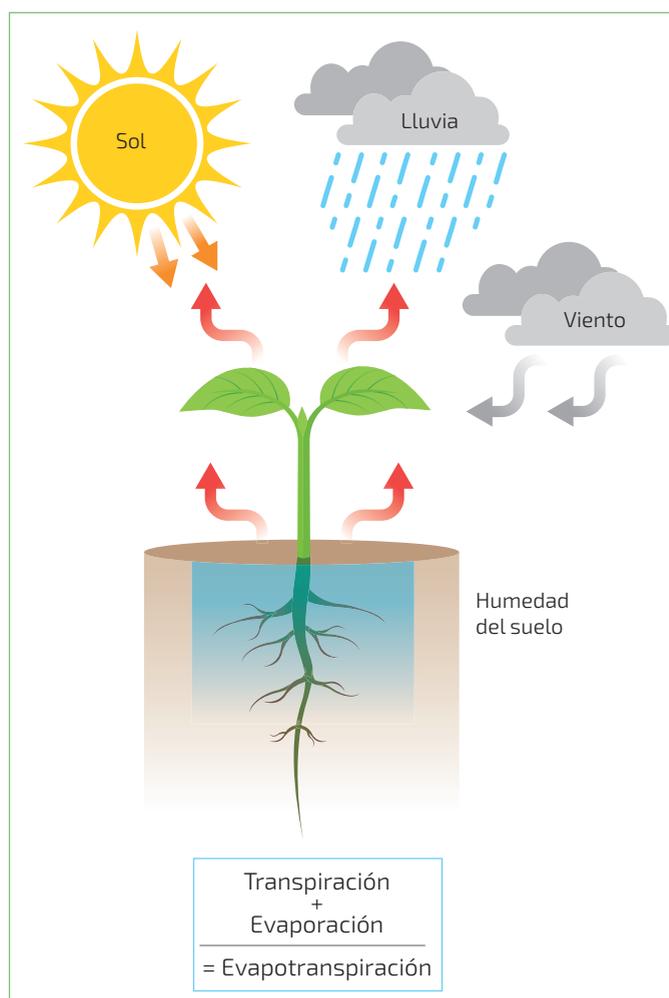
**d) Humedad del aire:** mientras más seco es el aire (menor humedad relativa y mayor déficit de presión de vapor), las plantas pierden más agua al aumentar la capacidad de demanda de agua por la atmósfera.

**e) Precipitaciones:** Influyen directamente entregando o devolviendo al suelo parte del agua consumida por las plantas. Considerando que la presencia de cobertura vegetal intercepta las gotas de agua, se ha medido que en primavera-verano resultan útiles o efectivas como aporte sólo lluvias sobre 10 mm. Así, una lluvia primaveral de 25 mm podría aportar con seguridad el equivalente a 15 mm de altura de agua o 15 litros de agua por metro cuadrado ( $L\ m^{-2}$ ) a la zona de raíces.

## 1.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN EN FRUTALES

### Evapotranspiración

La planta absorbe el agua desde el suelo por sus raíces y la conduce hacia las hojas, desde donde sale a la forma de vapor a la atmósfera. Ambos, suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, los que generan un mayor o menor grado de transpiración de las plantas y de evaporación desde el suelo. Este proceso se conoce como evapotranspiración (Figura 1.2).



**Figura 1.2**  
 Esquema de la evapotranspiración.

La transpiración de las plantas es la pérdida de vapor de agua a través de los estomas (poros minúsculos que se encuentran principalmente en la epidermis de las hojas de las plantas) y la cutícula. La radiación solar (forma de energía radiante proveniente del sol) actúa sobre la apertura y cierre de los estomas. Cuando la luz desapa-

rece éstos se cierran, y la transpiración se detiene o reduce considerablemente. De las fuentes de energía para que la evaporación se produzca, la radiación solar juega el rol más importante, siendo responsable del 60 a 80% de la evapotranspiración.

Con relación a la humedad relativa (que se relaciona con la cantidad de vapor de agua o presión de vapor en la atmósfera), mientras más alta sea menor será la evapotranspiración y a menor humedad relativa habrá una tendencia a mayor transpiración. Por otra parte, el viento remueve el aire y el vapor de agua en la atmósfera que envuelve a la planta y, en consecuencia, hace aumentar la transpiración. Se debe considerar que el efecto de la temperatura del aire es indirecto, ya que se asocia su efecto en el déficit de presión de vapor en la atmósfera.

Todo lo anterior implica una pérdida de agua desde la planta y para que realmente esta pérdida ocurra, 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 el agua depositada por el rocío y la lluvia, ocurre simultáneamente con la transpiración.

La evaporación se define como el proceso físico que ocurre cuando existe la energía necesaria para cambiar el agua desde fase líquida a gaseosa y transferirla a la atmósfera, la cual es capaz de albergar el vapor liberado de la superficie de la hoja o del suelo.

**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, un frutal 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 estándar de referencia (ET<sub>o</sub>) o evapotranspiración potencial como se conocía antiguamente. Se mide o expresa normalmente en mm día<sup>-1</sup> o mm mes<sup>-1</sup>. Un mm de altura de agua (lluvia o evapotranspiración) equivale a un volumen de un litro de agua caído o evaporado desde un metro cuadrado de suelo (L m<sup>-2</sup>).

### Estimación de la evapotranspiración estándar de referencia (o potencial)

La ET<sub>o</sub> corresponde a la demanda de agua máxima o potencial de una pradera de trébol blanco-ballica, en una localidad en un momento determinado. Esta pradera cubre totalmente el suelo, nunca falta de agua, y está en óptimas condiciones fitosanitarias. Para estimarla, una manera sencilla es recurrir a la información estadística recopilada y/o generada para una determinada localidad.

La evapotranspiración estándar de referencia ha sido estimada para diversas localidades del país. En la Tabla 1.1 se entrega la ET<sub>o</sub> promedio diaria en el mes para algunas localidades, valores que son promedios de varias temporadas y deben, por lo tanto, ser utilizadas en ese contexto. Así, en condiciones de manejo y programación del día a día, para un periodo determinado del mes que está presentando condiciones meteorológicas de mayor (o menor) temperatura, humedad relativa o velocidad de viento que lo habitual, entonces aumentos (o disminuciones) de un 10 a 15% del valor promedio deberían considerarse en la toma de decisiones. Especial atención se debe tener con las condiciones de nubosidad de un día determinado. De este modo, por ejemplo, si en enero para una localidad en la zona central la Tabla 1.1 entrega valores de 6 mm día<sup>-1</sup>, pero en dicho día hubo nubosidad total durante las horas luz (lo normal en enero es que los días sean absolutamente despejados), entonces se puede asumir con una alta seguridad que ET<sub>o</sub> debiera alcanzar un valor de alrededor de 3 mm día<sup>-1</sup> (50% de la ET<sub>o</sub> de un día despejado). Esto porque la reducción en la cantidad de radiación solar que llega a nivel de la planta se reduce significativamente con la presencia de nubes.

**Tabla 1.1.** Evapotranspiración de referencia diaria promedio para cada mes ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) y anual ( $\text{mm año}^{-1}$ ) para diversas localidades del país (\*).

Localidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Arica	5,0	4,7	4,0	3,3	2,6	2,3	2,2	2,5	3,1	3,8	4,5	4,9	1301
Camarones	5,9	5,6	5,2	4,5	4,1	3,8	3,8	4,1	4,6	5,2	5,6	5,9	1771
Pica	7,2	6,9	6,3	5,7	5,1	4,7	4,9	5,1	5,6	6,2	6,9	7,1	2178
Copiapó	6,3	5,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,9	3,3	4,0	4,9	5,7	6,2	1660
Tierra Amarilla	6,8	6,3	5,5	4,4	3,7	3,2	3,2	3,7	4,3	5,3	6,1	6,7	1794
Huasco	4,8	4,4	3,7	2,9	2,2	1,8	1,8	2,1	2,7	3,5	4,2	4,7	1176
Vallenar	6,0	5,5	4,7	3,7	2,9	2,4	2,4	2,8	3,6	4,5	5,4	5,9	1510
La Serena	4,6	4,2	3,5	2,7	2,1	1,7	1,7	2,0	2,6	3,4	4,1	4,6	1128
Vicuña	7,9	7,2	5,6	4,0	2,7	2,0	2,2	3,0	4,2	5,6	6,9	8,0	1800
Monte Patria	6,7	6,1	5,0	3,9	2,8	2,4	2,3	2,7	3,6	4,7	5,9	6,6	1600
Ovalle	6,1	5,6	4,6	3,5	2,7	2,2	2,0	2,5	3,3	4,3	5,3	6,0	1465
Illapel	5,8	5,3	4,4	3,5	2,5	2,2	2,1	2,4	3,2	4,2	5,1	5,7	1408
San Felipe	6,1	5,3	4,4	3,3	2,3	1,8	1,7	2,1	3,0	4,1	5,2	5,9	1378
Los Andes	6,1	5,6	4,5	3,3	2,3	1,8	1,7	2,1	3,0	4,1	5,2	6,0	1385
Casablanca	4,9	4,4	3,6	2,6	1,8	1,4	1,4	1,8	2,5	3,4	4,2	4,8	1121
Quillota	4,9	4,5	3,6	2,7	1,9	1,5	1,4	1,8	2,5	3,4	4,2	4,8	1129
Melipilla	5,5	5,0	4,0	2,9	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,7	4,7	5,4	1246
Pirque	6,1	5,5	4,4	3,1	2,2	1,6	1,6	2,0	2,8	4,0	5,1	5,9	1342
Buín	5,8	5,2	4,2	3,0	2,1	1,6	1,5	1,9	2,8	3,8	4,9	5,7	1294
Rancagua	5,9	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2,0	2,8	3,9	5,0	5,8	1322
Peumo	6,0	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2,0	2,8	3,9	5,0	5,8	1328
San Fernando	6,1	5,5	4,4	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1335
Santa Cruz	6,0	5,4	4,3	3,1	2,1	1,7	1,5	1,9	2,7	3,9	5,0	5,8	1322
Curicó	5,9	5,3	4,2	3,0	2,0	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	4,9	5,8	1283
San Clemente	6,2	5,6	4,4	3,1	2,1	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	5,1	6,0	1326
Cauquenes	5,7	5,1	4,0	2,9	1,9	1,4	1,4	1,7	2,5	3,5	4,7	5,5	1219
Parral	6,2	5,5	4,3	3,1	2,0	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	5,0	5,9	1313
San Carlos	6,1	5,4	4,2	2,9	1,9	1,4	1,3	1,7	2,5	3,7	5,0	5,9	1277
Chillán	6,0	5,4	4,2	2,9	1,9	1,4	1,4	1,7	2,6	3,7	5,0	5,8	1271
Los Ángeles	5,4	4,8	3,8	2,6	1,7	1,3	1,2	1,5	2,3	3,3	4,4	5,2	1139
Nacimiento	5,4	4,8	3,7	2,6	1,6	1,2	1,1	1,5	2,3	3,3	4,4	5,2	1127
Angol	5,1	4,6	3,6	2,5	1,6	1,1	1,1	1,4	2,2	3,2	4,2	5,0	1077
Mulchén	5,2	4,6	3,5	2,4	1,5	1,1	1,1	1,4	2,1	3,1	4,2	5,0	1069
Victoria	4,8	4,3	3,4	2,3	1,5	1,1	1,1	1,4	2,0	3,0	4,0	4,7	1018
Temuco	4,7	4,2	3,3	2,2	1,4	1,0	1,0	1,3	2,0	2,9	3,9	4,6	981
Villarrica	4,4	4,0	3,1	2,2	1,5	1,2	1,2	1,5	1,9	2,8	3,7	4,3	966
Osorno	4,0	3,6	2,8	1,9	1,2	0,9	0,9	1,2	1,7	2,6	3,4	3,9	855
Frutillar	3,8	3,5	2,7	1,9	1,2	1,0	0,9	1,2	1,7	2,4	3,2	3,7	825
Puerto Montt	3,8	3,4	2,6	1,9	1,2	0,9	0,9	1,1	1,6	2,4	3,1	3,7	809

(\*) Valores derivados del Sistema Nacional de Referencia Demandas de Agua por la Agricultura. AGRIMED. Corfo-U. de Chile-CNR. 2016. [http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/9473/Informe\\_final\\_4.pdf?sequence=4](http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/9473/Informe_final_4.pdf?sequence=4)  
[https://esiir.cnr.gob.cl/tmp/obj\\_257728/2613\\_sistema\\_referencia\\_demandas\\_de\\_agua\\_agricultura\\_chile\\_Evapotranspiración.pdf](https://esiir.cnr.gob.cl/tmp/obj_257728/2613_sistema_referencia_demandas_de_agua_agricultura_chile_Evapotranspiración.pdf)

### Estimación de la evapotranspiración en frutal

Una vez definida la evapotranspiración estándar de referencia (ET<sub>o</sub>) de una localidad, corresponde determinar los requerimientos del frutal que interesa regar, denominado técnicamente como evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>). Para estimar ET<sub>c</sub> debe considerarse que su valor dependerá, entre otros aspectos, del tipo y estado de desarrollo vegetativo y fenológico del cultivo, y de la disponibilidad de agua en el suelo.

Asumiendo que no hay restricción de humedad en el suelo, ET<sub>c</sub> puede determinarse a partir de ET<sub>o</sub> según la Ecuación 1.1:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (1.1)$$

donde:

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiración de cultivo en mm día<sup>-1</sup>, mm mes<sup>-1</sup> o mm temporada<sup>-1</sup>.

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración estándar de referencia en mm día<sup>-1</sup>, mm mes<sup>-1</sup> o mm temporada<sup>-1</sup>.

K<sub>c</sub>: Coeficiente de cultivo, que varía con el tipo de frutal y su desarrollo vegetativo (adimensional).

En Tabla 1.2 se presentan los coeficientes de cultivo de las especies frutales adultas de mayor presencia en el país, durante su respectiva época de máxima demanda.

**Tabla 1.2. Coeficientes de cultivo para el periodo de máxima demanda.**

Frutal	Coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> )
Cerezo	1,25
Peral	1,15
Duraznero	1,15
Ciruelo	1,15

Los valores de K<sub>c</sub> de Tabla 1.2 se utilizan en condiciones de máximo desarrollo vegetativo del frutal en la temporada de riego (usualmente diciembre-enero-febrero en el Valle Central), y con una cobertura vegetal de plantación adulta, que corresponde a cuando hay un mínimo de 70% de vegetación del árbol que cubre el suelo.

Aún y cuando el valor de K<sub>c</sub> varía acorde al estado fenológico del árbol, para especies de hoja caduca el K<sub>c</sub> debiera adoptar valores menores a los indicados en Tabla 1.2 en la época de menor desarrollo vegetativo. Sin embargo, considerando las condiciones de clima mediterráneo imperantes en gran parte de las zonas frutícolas del país, el suelo normalmente contiene suficiente humedad en los primeros estados de desarrollo vegetativo a inicios de primavera, por lo que la mayoría de las veces el riego no es necesario en dicho periodo. Así, cuando se hace necesario regar avanzada la primavera, normalmente el frutal ya ha alcanzado una masa área cercana al máximo desarrollo vegetativo (máximo Índice de Área Foliar), por lo que modificaciones al valor de K<sub>c</sub> de la Tabla 1.2 no serían necesarios. Semejante consideración se puede adoptar con especies frutales siempre verdes, rebajando en un 20% el valor del K<sub>c</sub> máximo si es necesario regar previo a la normal temporada de riego.

En la determinación de ET<sub>c</sub> para huertos en formación (1er a 5to año en terreno, aproximadamente) se debe considerar un factor de cobertura del huerto (F<sub>c</sub>), el que toma valores de 0.1 para el primer año y se incrementa gradualmente hasta alcanzar el valor de 1.0 para un huerto adulto. Para Frutales que no aparecen en la Tabla 2.1 perteneciente al capítulo 2, utilice la aproximación que se presenta en la Tabla 1.2. En caso de no encontrar valores de frutales en la tabla 1.2 se recomienda buscar los valores de K<sub>c</sub> de literatura.

En general, se puede afirmar que cuando la vegetación de un huerto ocupa un 70% o más del marco de plantación estamos en presencia de una plantación adulta.

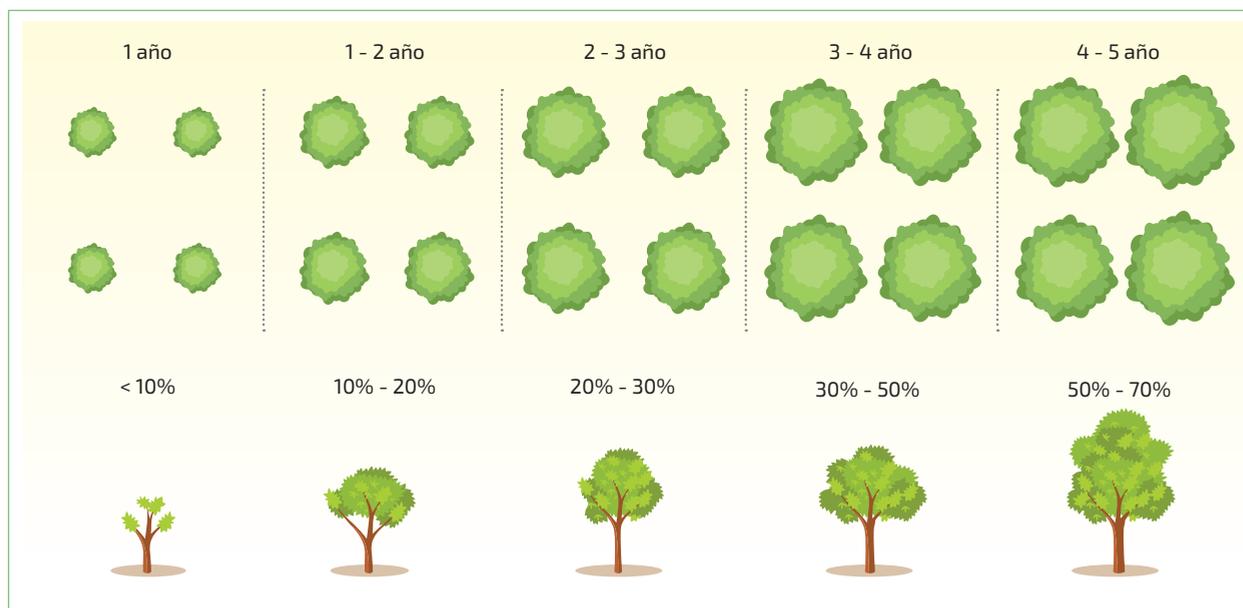
De este modo, la expresión a utilizar que considera la edad del huerto y/o el tamaño de la cobertura vegetal se expresa como (Ecuación 1.2):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot F_c \quad (1.2)$$

donde el criterio que puede servir como guía indicativa para seleccionar los valores de F<sub>c</sub> se entregan en la Tabla 1.3 y la Figura 1.3.

**Tabla 1.3.** Valores sugeridos del factor de cobertura ( $F_c$ ) en función de la edad del huerto y/o del porcentaje de cobertura (% cobertura) de la cubierta vegetal.

Rango edad huerto (años)	% Cobertura	$F_c$
1	< 10	0.1
1-2	10 a 20	0.1 a 0.3
2-3	20 a 30	0.3 a 0.5
3-4	30 a 50	0.5 a 0.8
4-5	50 a 70	0.8 a 1.0
> 5	70 a 100	1.0



**Figura 1.3** Guía indicativa del % de cobertura de un huerto frutal y su relación para la elección del factor de cobertura ( $F_c$ ).

La incorporación de  $F_c$  en la determinación de la evapotranspiración del huerto frutal se relaciona con la micro advección que se produce en el microambiente de la planta. En efecto, al ser la cobertura vegetal escasa (bajo Índice de Área Foliar, escaso desarrollo en tamaño del árbol), un gran porcentaje de la radiación solar incide directamente en el suelo. De este modo, se produce un incremento de la temperatura del suelo y del aire en dicho microambiente, lo que disminuye la humedad relativa (incremento del déficit de presión de vapor), junto a un aumento de la radiación solar reflejada. Todos estos factores producen condiciones de una mayor demanda transpirativa para los árboles aún pequeños, lo que se traduce en un mayor consumo de agua de lo que indicaría el tamaño del árbol.

Así, un árbol de 3 a 4 años en terreno, con un 50% de cobertura, consumiría el equivalente a un 70% ( $F_c = 0.7$ ) de un huerto adulto.

A manera de ejemplo, si se considera un cerezo de segundo año de plantación en la zona central en enero,  $E_{To}$  sería 6.0 mm día<sup>-1</sup> (Tabla 1.1), el coeficiente de cultivo  $K_c$  se asume 1.25 (Tabla 1.2) con un porcentaje de cobertura vegetal del marco de plantación de alrededor de un 20% (observación que debe verificarse en terreno, Fig. 1.3), lo que conllevaría un valor del factor de cobertura  $F_c$  de 0.3 (Tabla 1.3). De este modo, aplicando la ecuación 1.2:

$$ET_c = 6.0 \cdot 1.25 \cdot 0.3 = 2,25 \text{ mm día}^{-1}$$

Este valor significa que el árbol evapotranspiraría 2.25 L de agua por metro cuadrado en un día. Considerando que el árbol está en un marco de plantación de 2 por 4 m, entonces el área evapotranspirativa alcanza los 8 m<sup>2</sup>. Desde esta información, se deduce que el consumo diario de agua de un cerezo de segundo año sería:

$$\text{Consumo de agua} = 2.25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{árbol} \cdot \text{día} \cdot 8 \text{ m}^2 = 18 \text{ L/árbol} \cdot \text{día}$$

Al comparar con una plantación adulta ( $F_c = 1$ ) para el mismo mes y localidad, con la misma demanda de 6.0 mm día<sup>-1</sup>, la  $ET_c$  sería 7.5 mm día<sup>-1</sup> (Ecuación 1.2), el consumo de agua alcanzaría los 60 L árbol<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. De esta manera, con la metodología propuesta, el efecto micro advectivo es capturado en la estimación del consumo de agua del árbol joven, que a pesar de tener 1/5 de área foliar de un árbol adulto, su consumo de agua alcanza a ser alrededor de un 26% de una plantación adulta.

### 1.3. AGUA EN EL SUELO Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

Al esperar que se manifiesten síntomas visuales de falta de agua en la planta para tomar la decisión de regar, se corren 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 producirse daños en forma irreversible.

Existen diversas técnicas para determinar el estatus hídrico de la planta. Lo ideal sería monitorear directamente el árbol, pero razones de tecnología, 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).

#### El déficit hídrico en las plantas

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

El déficit hídrico se genera cuando disminuye excesivamente la humedad del suelo en la zona de raíces, o bien los riegos son insuficientes producto de aplicaciones de láminas de agua menores a las requeridas o frecuencias de riego no apropiadas.

El déficit hídrico puede afectar negativamente un conjunto de funciones fisiológicas en la planta (fotosíntesis, respiración y reacciones metabólicas diversas). Además, puede repercutir en variaciones anatómicas sobre el crecimiento, la reproducción y el desarrollo del fruto y la semilla, al disminuir la absorción de elementos nutritivos minerales que transporta el agua.

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, lo que 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 y la calidad.

### 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, pueden causar 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 activo del fruto; en cambio, los períodos menos sensibles corresponden a las etapas de crecimiento vegetativo y 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 y frutales dependerá del estado fenológico de la planta al momento del déficit hídrico. En Tabla 1.4 se presentan los períodos críticos ante un déficit hídrico para algunos frutales.

**Tabla 1.4. Períodos críticos de algunos cultivos en que el agua no puede faltar.**

Frutal	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 en la producción. También se ha observado que riegos deficitarios controlados en algunas etapas específicas del crecimiento y madurez del fruto, pueden incidir positivamente en el comportamiento del fruto en la etapa de postcosecha. Este tipo de respuesta ha mostrado ser específica para algunas variedades de kiwi, arándanos, nectarinos entre otros frutales.

### Humedad del suelo

Una forma indirecta de estimar el estado hídrico de la planta es midiendo el contenido de humedad del suelo. De este modo, si hay una adecuada humedad en el suelo en la zona donde las raíces extractantes del frutal están presentes, habrá una adecuada condición hídrica en el árbol.

El monitoreo del agua en el suelo exige hacer mediciones u observaciones frecuentes, a intervalos regulares de tiempo, justo antes y después 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 en la zona de raíces. 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 (Fotografía 1.1), y con apoyo de una pauta (Tabla 1.5), que define las sensaciones a las distintas texturas, estimándose su contenido de humedad. Este método no es exacto, pero con experiencia y conocimiento del suelo del huerto por parte del operador, se pueden obtener estimaciones confiables.

**Tabla 1.5. Pauta para estimar por sensaciones visuales y de tacto la humedad del suelo.**

Humedad aprovechable	Textura gruesa	Textura gruesa moderada	Textura media	Textura fina o muy fina
100% (Capacidad de Campo)	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.
75 a 100%	Tiende a pegarse ligeramente. Permite formar una masa que se disgrega fácilmente.	Permite formar una masa que se disgrega fácilmente. No se adhiere a la mano.	Permite formar una masa 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 masa, 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. Fácilmente desmenuzable.	Algo desmenuzable, pero se une al someterlo a presión.	Relativamente moldeable, forma una masa al presionarla con fuerza.
0 a 25% (0% Punto de Marchitez Permanente)	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.

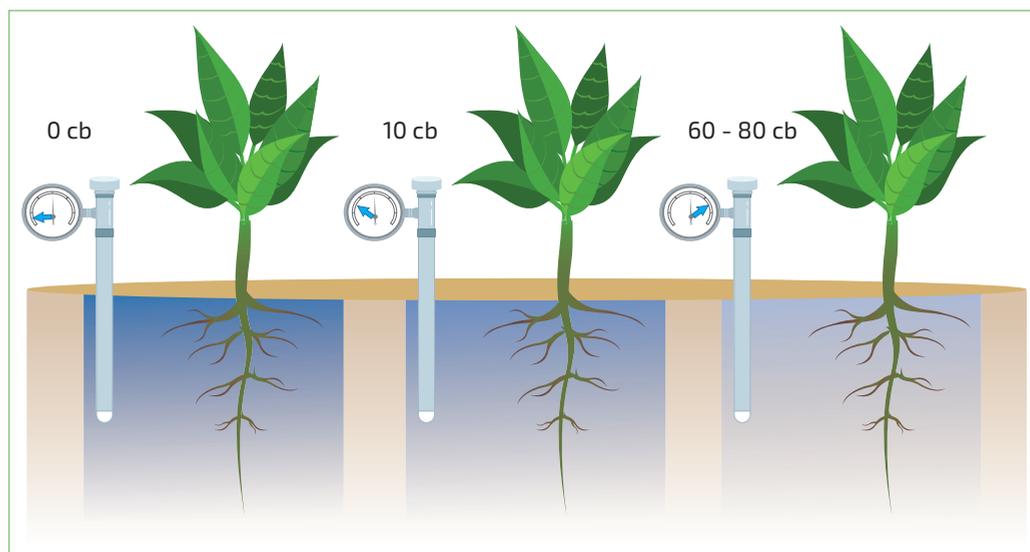


**Fotografía 1.1**  
Muestreo de suelo a través de un barreno.

A medida que los cultivos son más rentables, se recomienda utilizar métodos más precisos. Por ejemplo, emplear tensiómetros, que son instrumentos que dan una medida de la disponibilidad de humedad del suelo más confiable. Las mediciones se toman en unidades de presión denominadas centibares (cb). El vacuómetro del tensiómetro está graduado entre 0 y 100 cb (Figura 1.4). Una lectura de "0" indica que el suelo está cercano a la saturación y que las plantas pueden sufrir daño por asfixia radical.

Si el riego ha sido bien realizado, la lectura debe ser cercana a 10 cb después de aproximadamente 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. En general, el tensiómetro tiene buen desempeño en suelos de textura liviana, en donde lecturas de 50-80 cb indican una disminución significativa de humedad en el suelo, siendo recomendable el riego de inmediato.



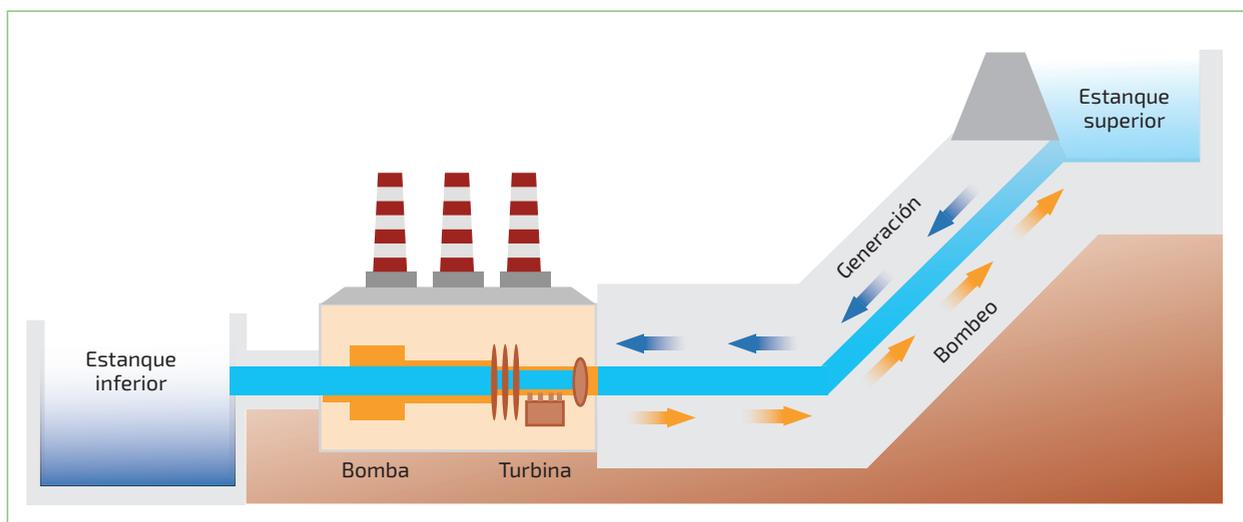
**Figura 1.4**  
Tensiómetro.

## 1.4. PATRONES DE EXTRACCIÓN DE AGUA

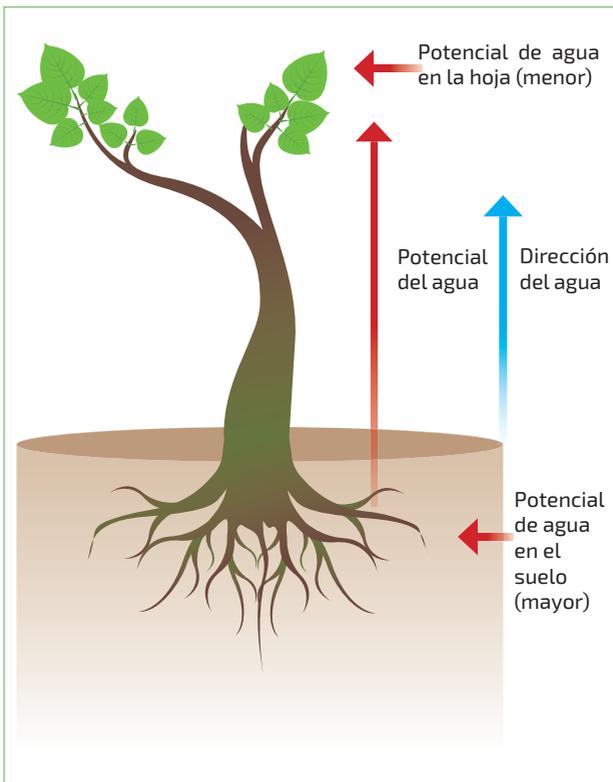
### Movimiento y absorción de agua en la planta

Para compensar la 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 mencionado en términos de "Potencial de agua", que puede ser expresado 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 o capacidad de un volumen de agua almacenada para realizar trabajo. Por ejemplo, tiene 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 realizar trabajo como mover una turbina (Figura 1.5). Por otro lado, para mover el agua desde el estanque inferior al superior se debe efectuar trabajo sobre el líquido (utilizar una bomba) para subir su potencial de agua.

En el sistema suelo-planta-atmósfera, el movimiento de agua es pasivo; esto quiere decir que el agua se mueve naturalmente desde un potencial de agua mayor (suelo húmedo) hacia un potencial de agua menor (suelo seco). Además, mientras mayor sea la diferencia de potencial más rápido se moverá el agua. En la Figura 1.6 se muestra el movimiento de agua en la planta desde mayor a menor potencial.

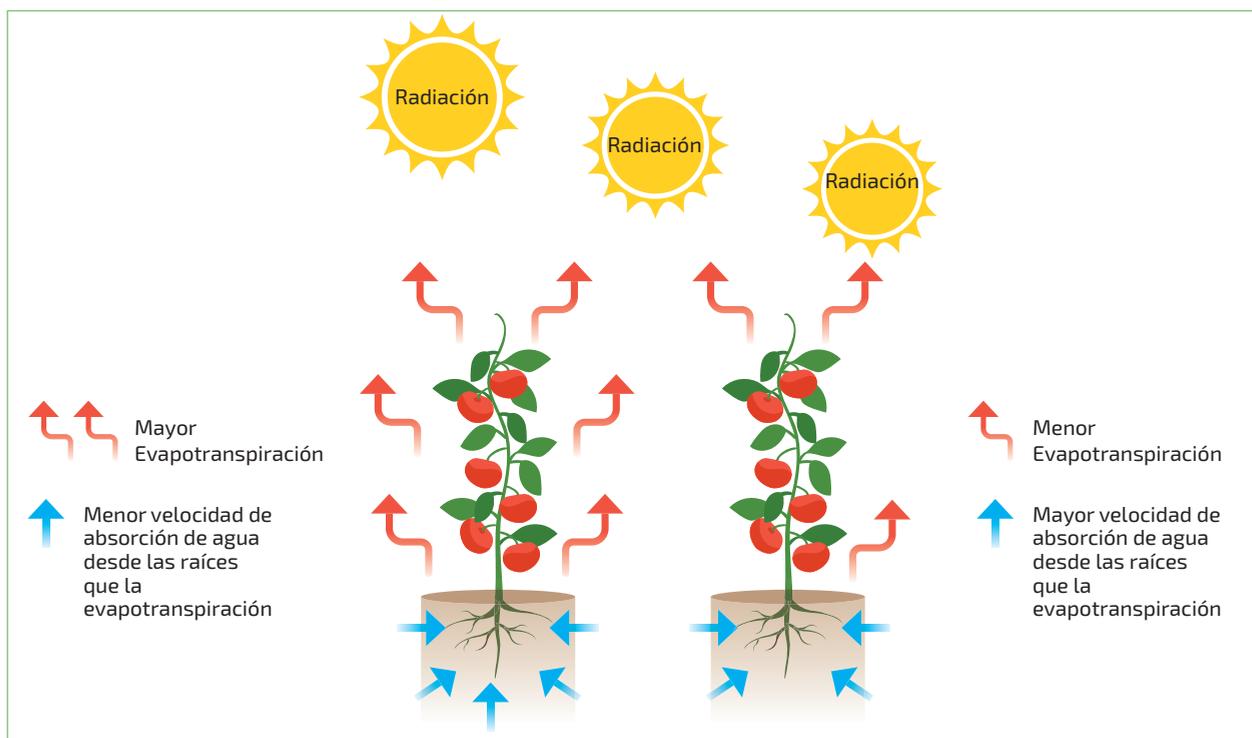


**Figura 1.5**  
Esquema de potencial de agua y flujo de agua.



**Figura 1.6**  
Movimiento y dirección del agua en el sistema suelo-planta atmósfera.

En el ambiente natural, los niveles instantáneos 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 se incorpora al contenido de agua del tejido. De este modo, el tejido de la planta experimenta un ciclo diario de ganancia y pérdida neta de agua. El ciclo es primariamente determinado por la radiación solar, en donde 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 sino hasta que la excesiva pérdida de agua reduce el potencial de agua de la hoja, aumentando así el gradiente (diferencia) de potencial de agua entre la hoja y el suelo. Por tanto, la absorción de agua se retrasa después de la transpiración desde la salida del sol hasta poco después del mediodía (periodo creciente de transpiración). En la tarde, la transpiración se hace más lenta debido a descensos en energía radiante y temperatura del aire, lo que permite a la planta recuperar su estatus hídrico si hay agua disponible en el suelo (Figura 1.7).



**Figura 1.7**

Velocidad de absorción de agua por las raíces y evapotranspiración en dos instantes del día.

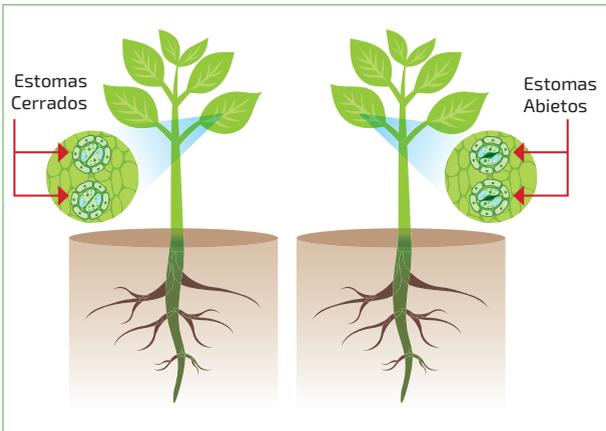
La capacidad de almacenamiento de agua de la mayoría de las plantas es muy limitada; o sea, la reserva de agua en la planta es muy pequeña en relación con los niveles de pérdida y absorción de agua. Así, se debe establecer un delicado balance entre el ingreso y gasto de agua todo el tiempo, para reducir excesivas fluctuaciones en el nivel de reserva de agua de la planta (estatus de agua de la planta), y así evitar niveles tan bajos que dañen el tejido. Las plantas han desarrollado varios medios para ayudarse en la mantención del balance. Uno de ellos, y los más importantes, son los estomas, que son válvulas microscópicas presentes en todas las hojas y fuente principal a través de los cuales se pierde el vapor de agua (Figura 1.8). 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 fo-

tosintetizado dentro de la planta, transformándose en fotosintatos que se distribuyen en los diferentes órganos de la planta.

Durante el día y cuando no hay una severa deficiencia de agua, los estomas permanecen 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 de un 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, este mecanismo trae como consecuencia que el proceso de fotosíntesis es simultáneamente reducido o detenido.

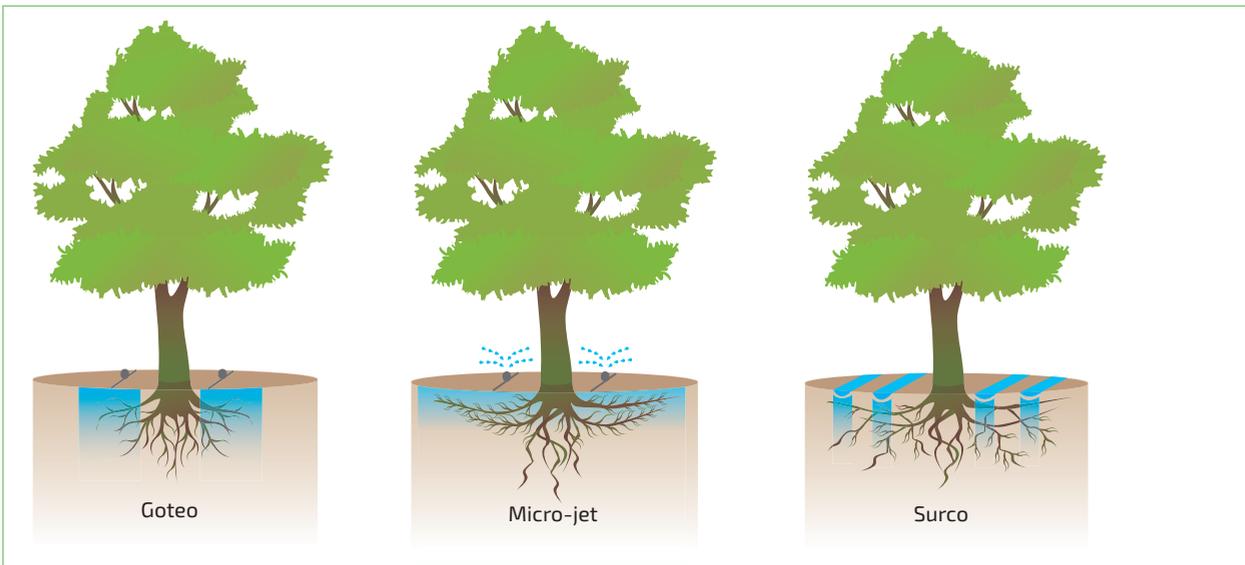


**Figura 1.8**  
 Estomas en plantas.

### Distribución de raíces en el suelo

El desarrollo del sistema radical en frutales, además de las características del patrón de injerto, varía según el tipo de suelo y método de riego aplicado. Sin embargo, es necesario tener presente que la distribución de las raíces en el suelo no es uniforme y que éstas tenderán a tener mayor presencia en superficie, disminuyendo en profundidad.

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, en riego por goteo habrá una tendencia a formar un bulbo de raíces en la zona de humedecimiento del gotero; en riego por micro-jet las raíces tenderán a ser superficiales y con una extensión horizontal que dependerá de la distancia de mojamiento del emisor (Figura 1.9). Además, las características físicas, y en especial la textura del suelo y presencia de gravas, tienen una gran influencia en la profundidad radical. En suelos arcillosos, las raíces pueden alcanzar la mitad del desarrollo que en un suelo de textura media.



**Figura 1.9**  
 Esquema de distribución de raíces según método de riego.

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

En general, la densidad de raíces de los frutales es menor que la de cultivos anuales. La proliferación de raíces activas en las estratas superficiales de suelo es común, tanto en cultivos anuales como en especies frutales, siempre que el suelo no tenga restricciones de humedad. Las raíces crecerán de buena manera en un suelo con adecuada humedad, ocurriendo crecimientos compensatorios bajo los emisores, en la zona del bulbo húmedo regado por goteo, cinta o micro-jet. Así, una raíz presente en una zona abundante en elementos nutritivos y adecuadas condiciones de humedad y aireación se ramificará y desarrollará de manera activa, aumentando su densidad radical en dicha zona.

Las raíces de los frutales tienen diferentes grados de adaptabilidad a los excesos de humedad del suelo, siendo el pecano uno de los más tolerantes a la anaerobiosis, seguido de membrillo, peral, manzano y cítricos. Por otra parte, el ciruelo, cerezo, damasco, duraznero, palto, almendro y olivo, son muy sensibles o extremadamente sensibles a contenidos altos de humedad o a la existencia de problemas de drenaje en el suelo, especialmente durante el crecimiento activo de las raíces (salidas de invierno-comienzos de primavera).

Es necesario tener en cuenta que, en condiciones de déficit de humedad del suelo, las raíces de los frutales tienden a detener su crecimiento y a suberizar los extremos, no recuperando de manera expedita su capacidad de absorber agua cuando el suelo vuelve a humedecerse.

Algunas especies como el kiwi tienen raíces que se desarrollan en las estratas superficiales de suelo, pudiendo alcanzar los 40 a 60 cm de profundidad en terrenos bien drenados, y lateralmente crecer hasta 2,4 m desde el tronco. En presencia de suelos arcillosos y/o mal drenados, las raíces se desarrollarán sólo en los primeros cm de suelo, siendo posible observarlas a simple vista.

Otras especies como la vid tienen un sistema radical que puede alcanzar una gran extensión en superficie y en profundidad. Las raíces superficiales que se desarrollan entre los 10 y 30 cm de profundidad están muy ramifi-

cadadas, pudiendo alcanzar longitudes laterales mayores a los 3 m, mientras que la raíz pivotante principal puede alcanzar profundidades de hasta 6 m, con escasas ramificaciones. El efecto del método de riego y la presencia de un nivel freático pueden condicionar de gran manera el desarrollo de raíces en la vid, por lo que una caracterización del sistema radical mediante calicatas contribuirá a la toma de decisiones en el manejo del riego.

En frutales, el efecto del tipo de patrón de injerto en la exploración radical del suelo debe ser objeto de un cuidadoso análisis, por lo que se recomienda confeccionar calicatas para una adecuada determinación del esquema de distribución radical a lo largo de la temporada de riego. Además de la genética y la influencia de las características del suelo, la disposición y distribución de las raíces en los frutales es determinada por la frecuencia de riego, el tiempo de aplicación del agua, el método de riego y/o número de emisores, por el uso del riego deficitario controlado (se concentran los déficits de agua en periodos fenológicos de la planta menos sensibles al estrés hídrico) o riego deficitario sostenido (se aplica permanente una fracción constante de la evapotranspiración del cultivo a través de todo el desarrollo de la planta).

Las raíces no se desarrollan en aquellas estratas de suelo que permanecen saturadas - el crecimiento radical requiere de condiciones de aireación -, así como tampoco exploran un volumen de suelo que no es regado o que mantiene bajos contenidos de humedad. Finalmente, se debe considerar el grado de compactación que puede tener el suelo - habida consideración del alto tráfico de personas y maquinaria que tienen los huertos- y que puede restringir considerablemente la profundidad y extensión de exploración de las raíces.



# CAPÍTULO 02

# Métodos de riego en frutales

Dr. Eduardo Holzapfel. *Ingeniero Agrónomo, Ph. D.*  
Dr. Camilo Souto. *Ingeniero Civil Agrícola, Dr.*  
Ximena Orrego. *Ingeniero Civil Agrícola.*

## 2.1. ANTECEDENTES DEL SUELO

### Propiedades físico-hídricas del suelo

La condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido de agua y la energía con la que retenida, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. Las propiedades del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, están relacionadas con la productividad de los cultivos porque afectan 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 (H porcentaje de humedad base peso seco (%bps)) y/o volumétricos ( $\text{cm}^3_{\text{agua}} \text{cm}^{-3}_{\text{suelo}}$ ). El contenido gravimétrico o 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 (Ecuación 2.1):

$$H\% \text{ bps} = \left( \frac{m_{\text{agua}}}{m_{\text{suelo}}} \right) \cdot 100 \quad (2.1)$$

Donde:

H% bps es la humedad en base suelo seco (%),  $m_{\text{agua}}$  y  $m_{\text{suelo}}$  es la masa de agua y suelo (g), respectivamente.

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 entonces a la diferencia entre la masa de suelo húmedo y suelo seco. El contenido de humedad volumétrico del suelo (H) se expresa en términos de volumen de agua por volumen de suelo (Ecuación 2.2).

$$H \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right) = \frac{H\% \text{ bps}}{100} \cdot \frac{D_a}{D_w} \quad (2.2)$$

Donde:

H% bps es el contenido de humedad del suelo en base suelo seco (%),  $D_a$  es la densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) y  $D_w$  es la densidad del agua ( $\text{g cm}^{-3}$ ) que tiene un valor igual a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ .

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 se expresa en  $\text{g/cm}^3$  (gramos de suelo seco en un volumen conocido).

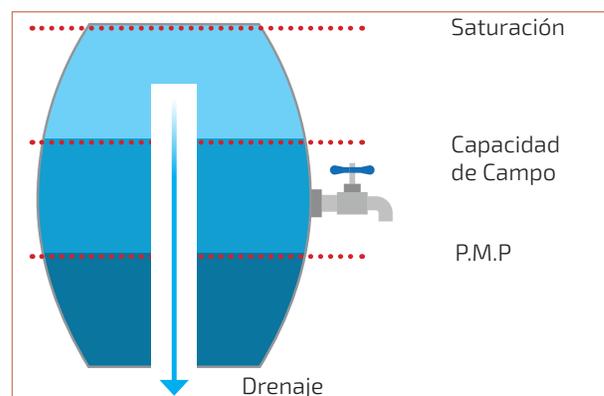
#### b) Humedad aprovechable

El agua que está disponible para las plantas, se define como humedad aprovechable (HA) se encuentra entre los límites de contenido de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (Figura 2.1). 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 (Ecuación 2.3):

$$H = (CC - PMP) \cdot P \quad (2.3)$$

Donde:

HA: Altura de agua aprovechable para la planta. (Como referencia se puede relacionar que 1 milímetro de altura de agua corresponde a un litro por metro cuadrado 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 2.1**  
Disponibilidad de agua para las plantas.

### Capacidad de campo

La capacidad de campo es el contenido de humedad de suelo, después que se ha aplicado agua en cantidad abundante y se ha dejado drenar libremente, alrededor de 24 a 48 horas después del riego o la lluvia. 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.

### Punto de marchitez permanente

El 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 que se asocia a la máxima capacidad que tiene la planta para extraer agua desde el sue-

lo. La energía con que queda retenida el agua en el suelo para la mayoría de los cultivos 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 2.2. Suelos arenosos, suelos francos, suelos arcillosos y las posibilidades intermedias de combinación.

Por ejemplo, se tiene una muestra de suelos que contiene 30% de arcilla, 61% de limo y 9% de arena, determinado en análisis de laboratorio. Para definir la textura de acuerdo al triángulo textural, 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,

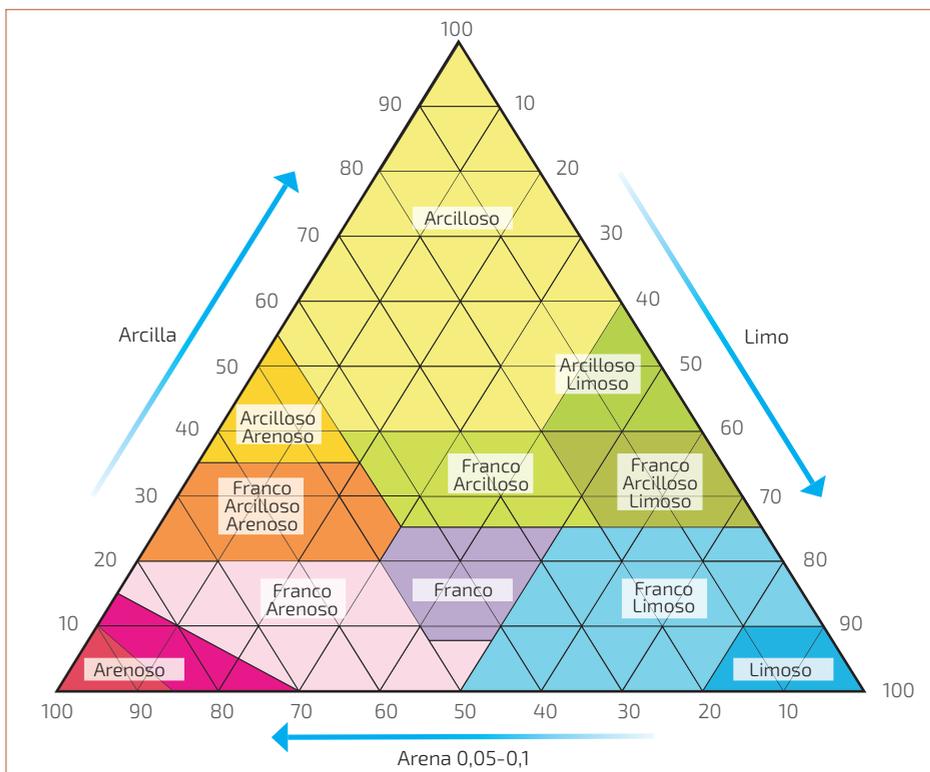


Figura 2.2  
 Triángulo textural.

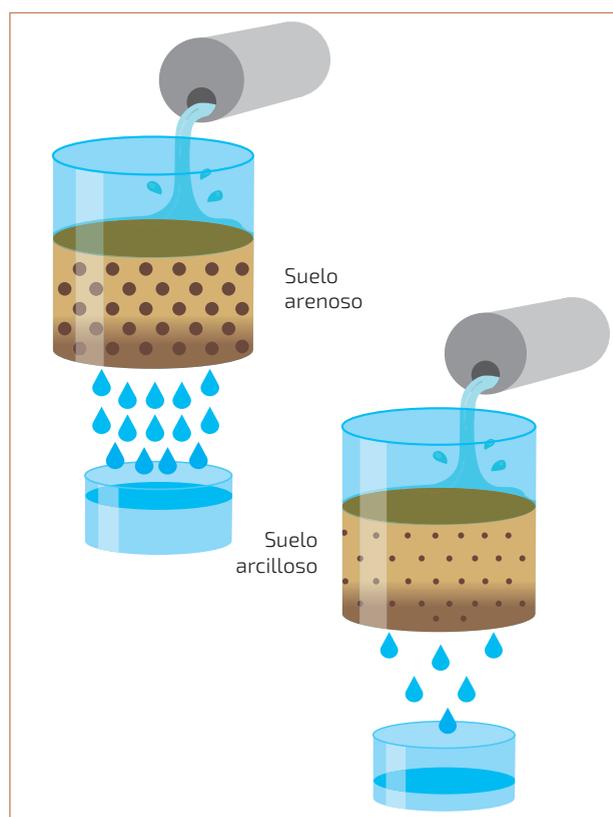
es la textura que corresponde a ese suelo. En este caso corresponde a un suelo franco-arcillo-limoso. En el caso que las líneas se corten en un punto límite entre dos clases de textura, se tiende a definir la más fina.

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

Una forma de conocer la textura de un suelo a través de un análisis de laboratorio, pero, en forma 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 (Figura 2.2). 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 se forma el cilindro, pero se rompe fácilmente, es probable que el suelo tenga arcilla, pero también bastante arena, por eso se rompe (por ejemplo un suelo franco arcillosos). 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. 2.3).



**Figura 2.3**  
Representación de capacidad de retención de un suelo arenoso y uno arcilloso.

### Medición de humedad a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente

La obtención del valor de la humedad aprovechable resulta de primordial interés para el diseño, planificación y manejo de los 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, que hoy están bastante al alcance de los agricultores, una aproximación razonable a estos valores puede obtenerse a través de la siguiente metodología:

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. Dépositelo 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 posteriormente 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 del contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo (H cc), aplicando la siguiente expresión (ecuación 2.4):

$$H CC = \left( \frac{(PSH + PE) - (PSS + PE)}{PSS} \right) \cdot 100 \quad (2.4)$$

Donde:

- PSH: Peso del suelo húmedo (g)  
 PE: Peso del envase al momento de pesar (g)  
 PSS: Peso del suelo seco (g)

De este modo, la ecuación 2.4 anterior indica la relación porcentual en el contenido de agua en una muestra de suelo.

Así por ejemplo, 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:

$$H CC = \left( \frac{(250) - (200)}{200 - 20} \right) \cdot 100 = 27,8\%$$

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 que es un equipo que tienen los laboratorios. Otra forma de estimar el contenido de humedad del suelo a Punto de Marchitez Permanente sería multiplicando el valor de humedad a Capacidad de Campo por 0,55, es decir:

$$H PMP = 0,55 \cdot H CC \quad (2.5)$$

De este modo, en el ejemplo anterior, el valor aproximado de H PMP sería de un 15,3%.

#### Velocidad de infiltración de un suelo

En términos generales, infiltración se refiere a la entrada de agua en un suelo o cualquier otro material poroso. Al mismo tiempo, se entiende por velocidad de infiltración la cantidad de agua que ingresa al 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 del suelo, altura de la lámina de agua, temperatura del agua, entre los más destacados.

En consecuencia, cada suelo tiene una velocidad de infiltración específica, variando desde aquellos de infiltración muy rápida (suelos de arena gruesa) hasta los de infiltración extraordinariamente lenta (suelos de arcilla densa). La propiedad de los suelos de permitir el paso de agua a través de su superficie determina en gran medida los tiempos de riego y es uno de los factores determinantes en la selección del método de riego a emplear que permita una buena eficiencia.

## 2.2. MÉTODOS DE RIEGO PARA FRUTALES

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 los sistemas 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 la energía que requieren 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 en la a fase de avance, almacenamiento, vaciado y receso como se muestra en la Figura 2.4. El tiempo de riego en una determinada distancia es la diferencia entre las curva de receso y avance.

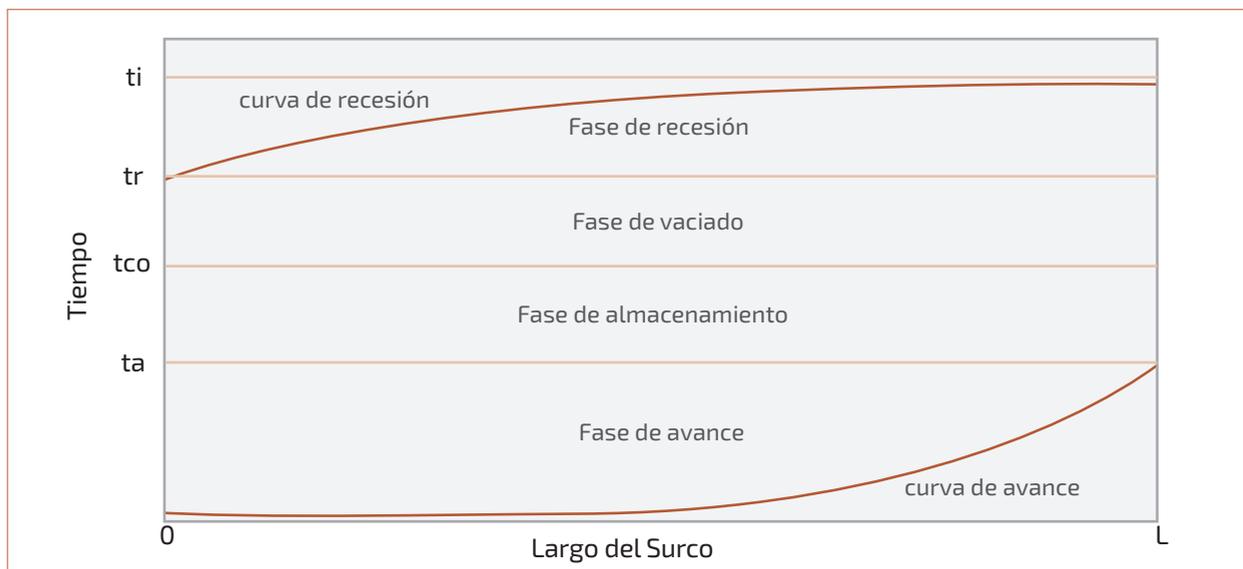


Figura 2.4

Diagrama esquemático de fases de riego; ta: tiempo de avance, tc: tiempo de corte, tr: tiempo de comienzo de recesión, ti: tiempo final del riego.

El riego superficial se puede realizar de varias maneras. Los tipos de métodos de riego superficial más recomendados para frutales son: riego por bordes y riego por surcos.

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

### RIEGO POR SURCO

El riego por surco consiste en la entrega de agua a través de pequeños canales o surcos, trazados en la misma dirección de la plantación, a los que se ingresa el agua desde una acequia o sistema de aducción específico (sifones, tubos rectos, mangas plásticas o sistema de baja presión llamado también californiano) (Fotografía 2.1). 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 hilerados como hortalizas 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 es además adecuado para aquellos suelos que tienen tendencia a formar costra al secarse, situación que daña a las plantas que recién germinan. Si hay que tener especial precaución en condiciones en suelos salinos o agua con alta cantidad de sales por la movilidad de las sales a la zona de raíces de los frutales o cultivos. En cuanto a la pendiente, el riego por surcos funciona más eficientemente en terrenos planos, con pendientes de alrededor del 0,2%. Sin embargo, este método puede emplearse también con precaución en pendientes de hasta un 2%, 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 85%, pudiendo calificarse de buena. Esto con sistemas de aducción adecuado con un cierto grado de automatización, utilizando implementos de control de bajo costo como tubos, sifones, sistema californiano con válvulas que permiten tener un buen control sobre el agua de riego. En la actualidad hay un importante avance para automatizar los sistemas de

aducción que lo hacen bastante competitivo en su manejo con los sistema presurizados

#### Limitaciones

- Una de las principales limitaciones del riego por surco es el peligro de erosión y arrastre de partículas bajo condiciones de pendientes fuertes (> 1,5%).
- Generalmente se producen pérdidas por escurrimiento para uniformar la aplicación de agua, cuando no hay un importante sistema de control o automatización.

Fotografía 2.1. Riego por surco.



### Sistemas de aducción en riego por surcos

En riego superficial se requiere la utilización de estructuras de aducción que permitan derivar el agua a los surcos o platabandas. Dichas estructuras permiten un adecuado control del caudal, uniformidad en los caudales aplicados al surco o platabanda y una mejor utilización de los recursos humanos.

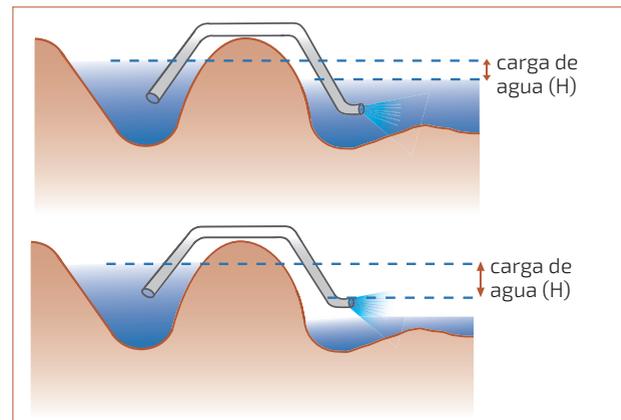
Entre las estructuras de aducción tenemos: (i) sifones, (ii) tubos rectos, (iii) mangas plásticas, (iv) sistema de baja presión o californiano. Todas estas aducciones requieren de cierta carga hidráulica para derivar una cierta cantidad de aguas siendo el caudal función de dicha carga y del área por donde escurrirá el agua.

### Sifones

El sifón es un tubo con una longitud que varía entre 1.0 y 2.0 metros, de forma semicircular que permiten derivar el agua desde los canales a los surcos o platabandas por sobre el borde del canal (Fotografía 2.2).



**Fotografía 2.2.** Riego por surco con sistema de aducción por sifones.



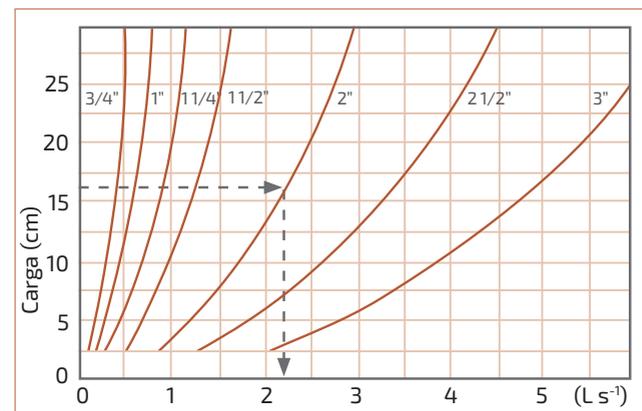
**Figura 2.5.** Carga hidráulica en riego por surco con sistema de aducción por sifones.

El caudal de dicha estructura se calcula:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.6)$$

donde Q es el caudal en  $m^3 s^{-1}$ , A el área del tubo en  $m^2$ , g la aceleración de gravedad que es  $9,86 m \text{ seg}^{-2}$ , h la altura efectiva de agua en m y C coeficiente de descarga que tiene un valor de 0.65.

En la Figura 2.6, se entregan curvas de descarga para sifones de diferentes diámetros, en función de la altura efectiva. Dicha altura efectiva se obtiene con retenciones en el canal.



**Figura 2.6.** Flujo del agua a través de sifones.

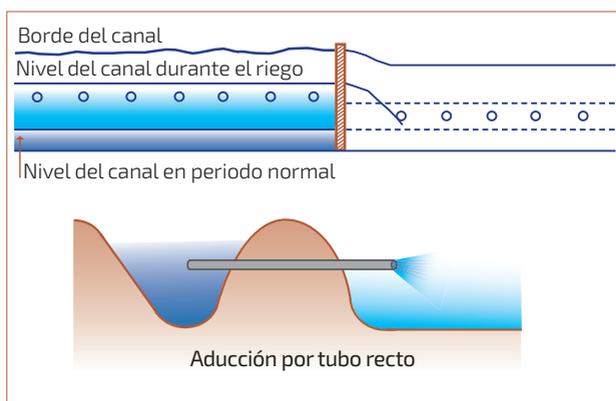
### Tubos rectos

El tubo recto es una estructura que se emplaza en el borde del canal o reguera en forma permanente (Fotografía 2.3 y Figura 2.7). Cada sector de tubos que funcionan a la vez, tienen una retención y su número está relacionado con la disponibilidad de agua y la pendiente transversal del terreno (pendiente en el sentido de la reguera).



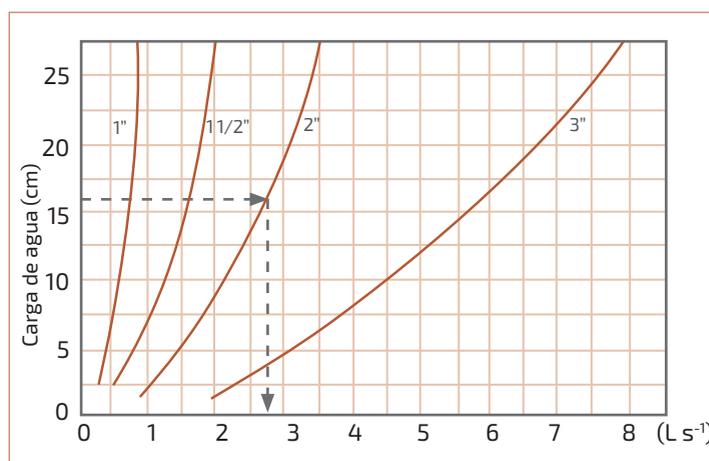
**Fotografía 2.3.** Riego por surco con sistema de aducción por tubos rectos.

Fuente: Comisión Nacional de Riego (CNR). 2019. Manual Sistemas de Riego y Manejo Hídrico de Cultivos. Programa de Capacitación y Transferencia en Riego para pequeños agricultores en las regiones del Biobío y la Araucanía.



**Figura 2.7.** Esquema de un sistema de aducción en riego por surcos con tubos rectos.

El caudal se calcula con la misma ecuación que para sifones, variando el valor del coeficiente  $C = 0,78$ . En la Figura 2.8 se entregan curvas de descarga versus altura efectiva.



**Figura 2.8.** Flujo del agua a través de tubos.

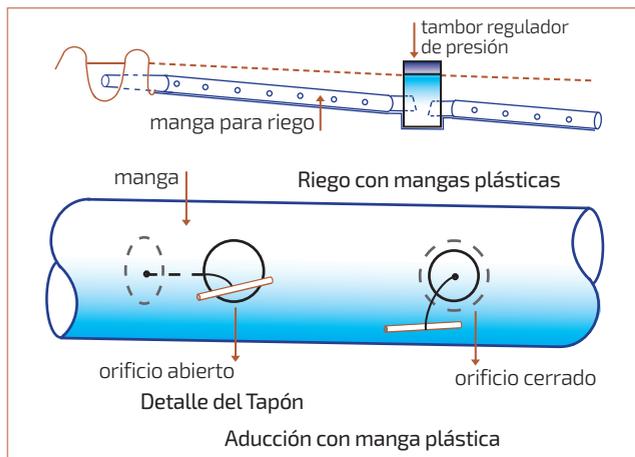
### Mangas de polietileno

La manga de polietileno es una estructura a la cual se le confeccionan perforaciones, y se deriva el agua desde un canal principal o alimentador. Esta estructura para que funcione debe tener carga hidráulica en todo su recorrido, lo que obliga a que el canal alimentador esté a una cota superior al sector a regar con la manga, como se muestra en la figura 2.9. La descarga se calcula con la ecuación:

$$Q = 0.78 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.7)$$

donde  $h$  es la altura efectiva de agua con el nivel del canal o la estructura de compensación (Figura 2.9).  $A$  es el área de abertura del orificio en la manga en  $m^2$ .

Las ventajas que presenta este tipo de estructuras es la mejor utilización del terreno y una menor interferencia en las labores culturales.



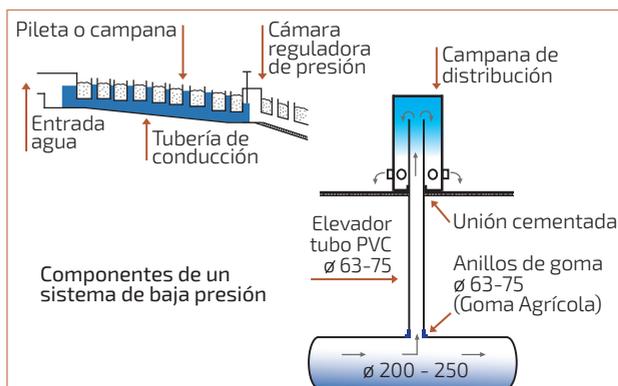
**Figura 2.9.** Esquema de sistemas de aducción por mangas plásticas para riego por surcos.



**Fotografía 2.4.** Vista de un sistema de aducción por mangas plásticas.

### Sistema de baja presión o californiano

El sistema de aducción de baja presión o californiano está conformado por un set de tuberías enterradas que se localizan en la cabecera de la plantación. Por dichas tuberías se conduce el agua, la que aduce a los surcos o platabandas a través de tubos elevadores que deben tener una altura tal que, permita un caudal homogéneo en cada posición de riego, tomando en cuenta pérdidas de carga en tuberías y topografía del terreno. En la Figura 2.10 se muestra este sistema en forma esquemática.



**Figura 2.10.** Sistema de aducción de baja presión o californiano para riego por surcos.



**Fotografía 2.5.** Vista de un sistema de aducción de baja presión o californiano.

El sistema de baja presión permite una buena utilización del terreno y una gran facilidad de manejo. Es importante antes de implementarlo estudiar la cantidad de sedimentos del agua, para aumentar su vida útil.

### Automatización del riego por surcos

La automatización de riego por surcos consiste en un sistema de control automático de baja presión, que permita mejorar la eficiencia de uso del agua y la energía. La automatización del riego por surcos es una respuesta a la reducción de la disponibilidad instantánea de agua para la agricultura debido al cambio climático y a los crecientes costos de la energía.

El sistema está compuesto por tres módulos: a) el primero es una plataforma de diseño de sistemas de riego por

surcos que genere los parámetros óptimos de diseño y de operación del sistema. b) el segundo es una solución de automatización, hardware/software, que permite el control automático de la operación del sistema de riego por surcos con aducción de baja presión. c) Tercero una plataforma de gestión del riego por surcos que permite la operación remota, el monitoreo en tiempo real y el seguimiento histórico de los riegos realizados. Estos módulos o caracterización de la automatización se pueden visualizar en la Figura 2.11.

La interacción de estos tres módulos permite implementar sistemas de riegos por surcos tan eficientes y autónomos como los sistemas de riego presurizados, a la vez que con un costo energético significativamente menor al fluir el agua solo producto del influjo de la gravedad.

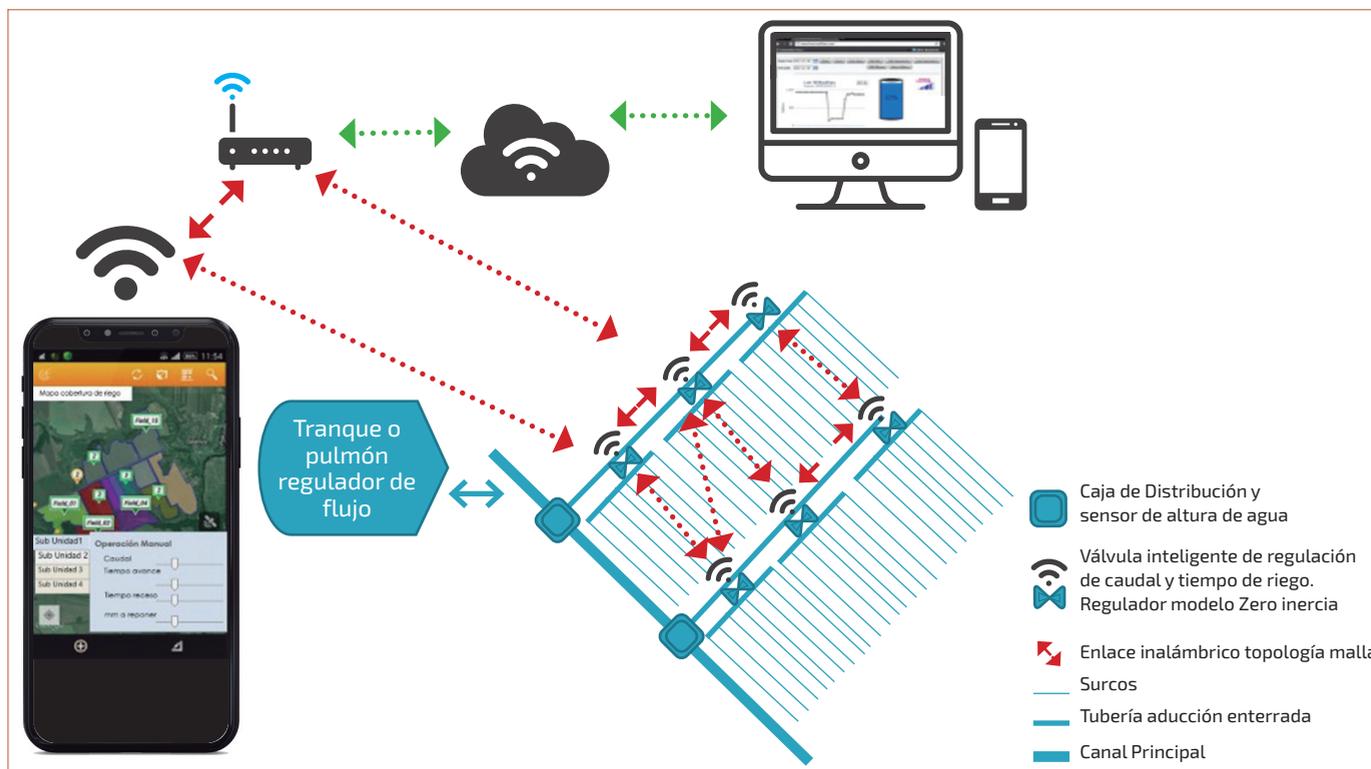


Figura 2.11. Esquema de la automatización de riego por surco para frutales.

A muchos les sorprenderá saber que un sistema de riego por superficie alimentado por gravedad bien diseñado y gestionado tiene el potencial de suministrar eficiencias de aplicación en las explotaciones agrarias por encima de un 85% y hasta un 95% en condiciones de suelos y topografía adecuados, niveles que son tan buenos como los sistemas presurizados de riego por goteo y aspersión.

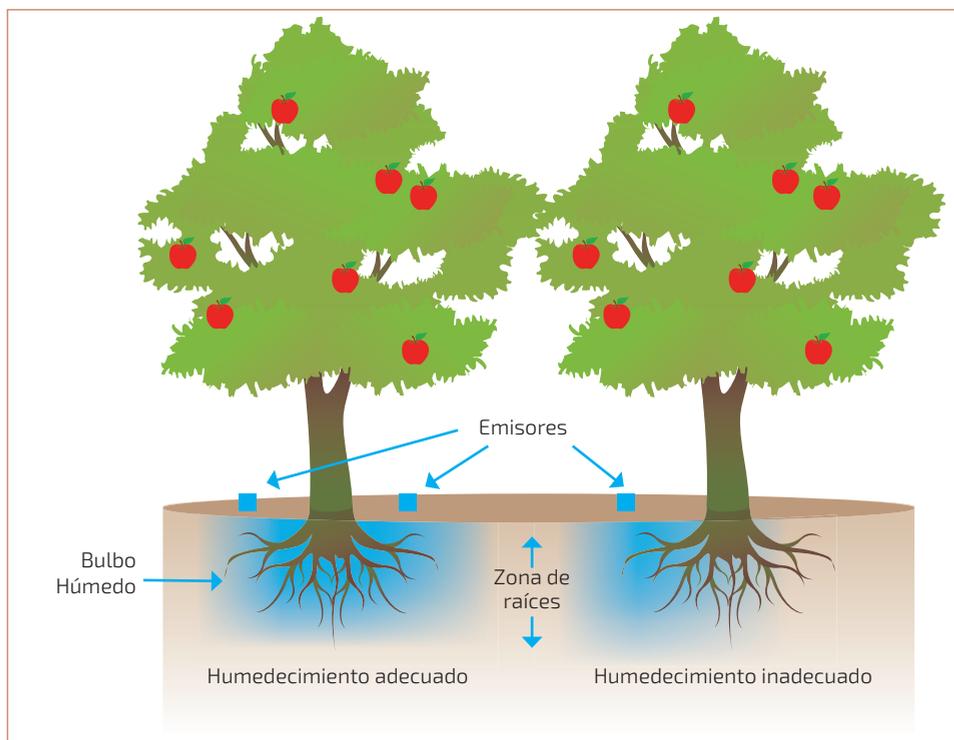
## B. MICRORIEGO

Los métodos de microriego se caracterizan por tener un sistema de distribución bajo presión. Entre los métodos de microriego presurizados tenemos, goteo, microjet y microaspersión.

A continuación se describirá el sistema de microriego, que son los más utilizados en frutales.

### Consideraciones generales del riego por goteo, microjet y microaspersión

El riego mediante goteo microaspersión o microjet se puede definir como la aplicación frecuente de agua 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 reduciendo aquellas por evaporación y percolación bajo adecuadas condiciones de manejo. 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 de extracción del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos. (Figura 2.12).



**Figura 2.12**  
Área de suelo humedecido con riego localizado (goteo o micro-jet).

Algunas de las ventajas que presenta el riego por goteo y microjet son: por su nivel de automatización y control una buena eficiencia en el uso del agua, cuando existe un adecuado nivel de operación. Con estos métodos la zona radicular de extracción del cultivo permanece la mayor cantidad del tiempo bajo condiciones 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, ya que estos sistemas permiten aplicar en la actualidad 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 de tipo superficial, pero si se considera su vida útil o el horizonte de uso el costo anual no es tal elevado, sin embargo, si sus costos de operación por lo que los diseños deben incorporar en su implementación el óptimo costo de implementación de sus partes asociados a los de operación, por ejemplo el diámetro de una tubería afecta los costos de operación si es muy pequeña, al igual que los otros componentes, como emisores, filtros entre otros. Por ello el diseño debe ser óptimo económico para la vida útil del equipo.

Los componentes del método de riego por goteo y microjet corresponden en primer lugar al cabezal de control (Figura 2.13), 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.

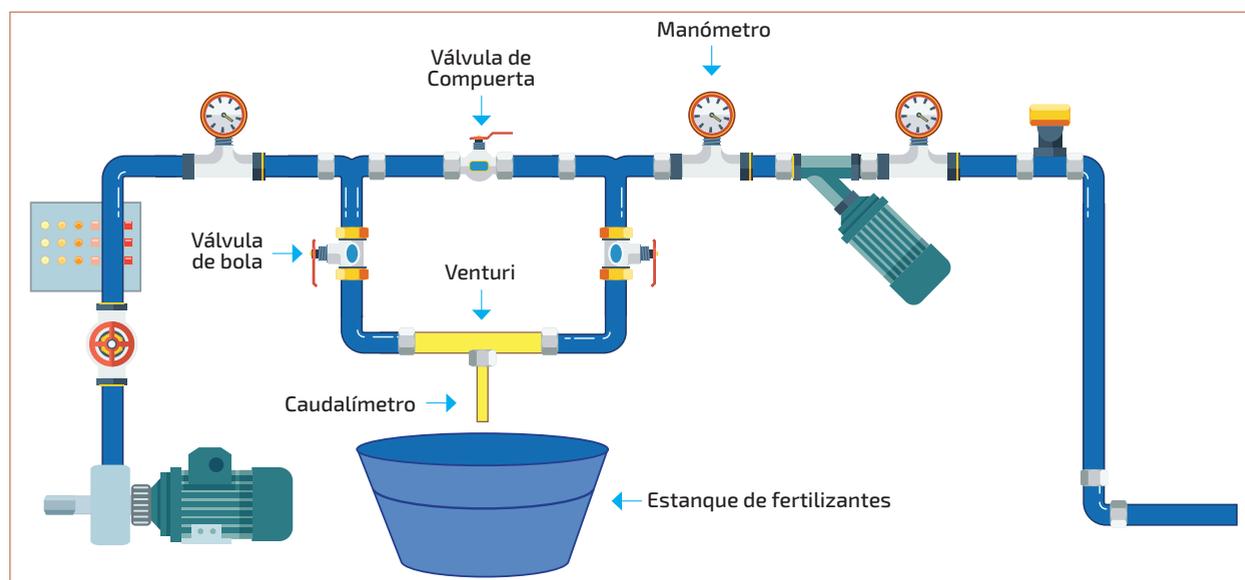


Figura 2.13. Cabezal de control.

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 de paso o área de flujo 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 seleccionadas en forma óptima. En tercer lugar se encuentran los emisores que también deben ser seleccionados en forma óptima considerando aspectos económicos y característica del cultivo a regar, 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.

## 2.3 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 costos asociados a los métodos de riego que son adaptables técnicamente al cultivo a regar. Para llevar a efecto el estudio económico y comparar los diferentes métodos adaptables al cultivo, es necesario que cada método de riego se hubiese diseñado en forma óptima 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 70 al 85%, si tenemos buen nivel de climatización en el caso de un sistema por goteo o aspersión podemos lograr niveles de eficiencia entre un 80 a un 90% bajo un buen manejo. Además se debe considerar la calidad del agua desde el punto de vista químico y físico (sedimentos).

**Tipo de suelo y topografía:** 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 avance del agua que involucre un flujo que produzca erosión del suelo, 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 2%, dependiendo de la textura del suelo. Si la topografía es muy heterogénea y con pendientes pronunciadas los sistemas de riego a dichas condiciones son los presurizados. Un factor importante asociado al tipo de suelo es la capacidad de infiltración, 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 aspecto importante asociado al suelo a considerar es la profundidad efectiva, que obviamente va a condicionar el cultivo a plantar y el sistema de riego (desarrollo radicular). Actualmente en frutales se utilizan "los camellones", que es una forma de aumentar la profundidad efectiva y también se ha mencionado que podría mejorar la relación agua-aire del suelo en la zona radical.

**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 y calidad de la mano de obra, el tipo de energía disponible entre las características técnicas para seleccionar el sistema de riego. Asociando lo anterior con los costos de implementación y operación se debe entonces realizar la selección final que debe ser la óptima para esa condición específica.

## 2.4. EFICIENCIA O CALIDAD DEL RIEGO

### CALIDAD DE RIEGO

La calidad del riego es una forma de evaluar si este 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.

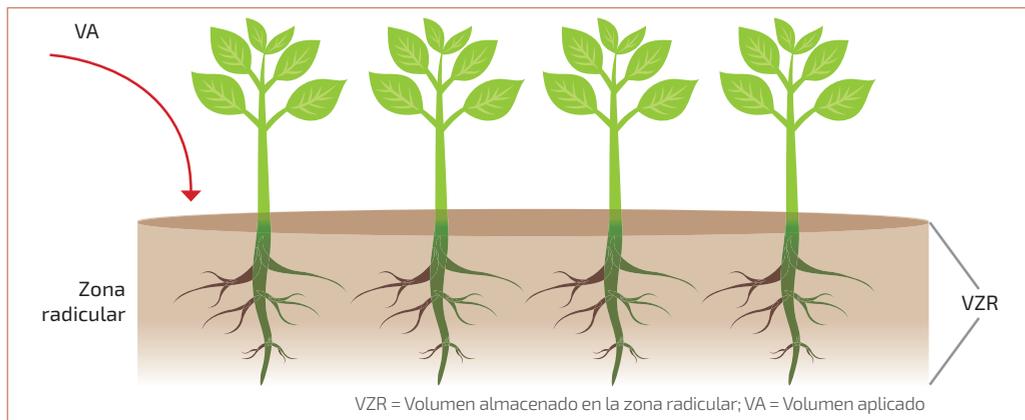
En general se puede establecer que la calidad del riego es afectada por:

- El tiempo 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 microjet o microaspresión.
- Presión y espaciamiento entre los aspersores o emisores en sistemas de riego presurizado.

La calidad del riego en general debe ser determinada usando varios modelos, pues uno solo no es capaz de entregar un análisis completo 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). El Coeficiente de Uniformidad que muchas veces se utiliza para dicha determinación, no permite establecer la calidad de un riego sino solo la uniformidad de aplicación de los emisores en el campo.

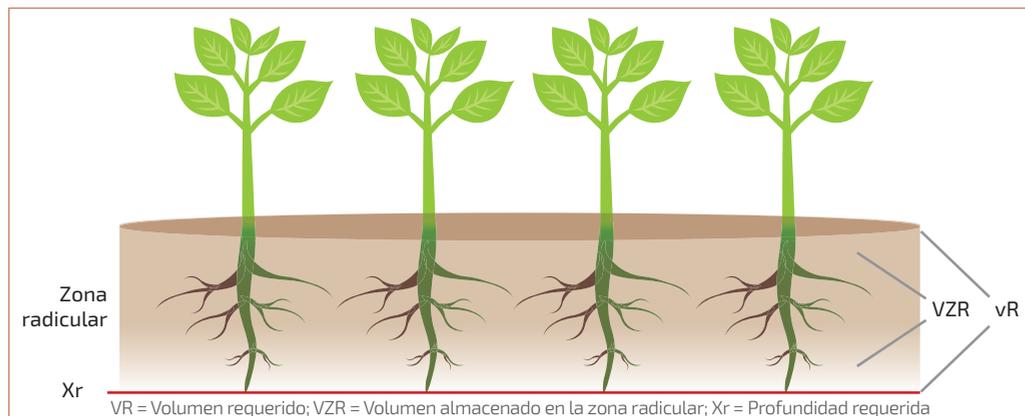
**a) Eficiencia de aplicación:** Se define como la razón entre el volumen de agua retenida en la zona radicular después del riego y el volumen total de agua aplicada en un riego. Ésta describe sólo la fracción de agua aplicada almacenada dentro de la zona radicular que es potencialmente accesible para el proceso de evapotranspiración (Figura 2.14).



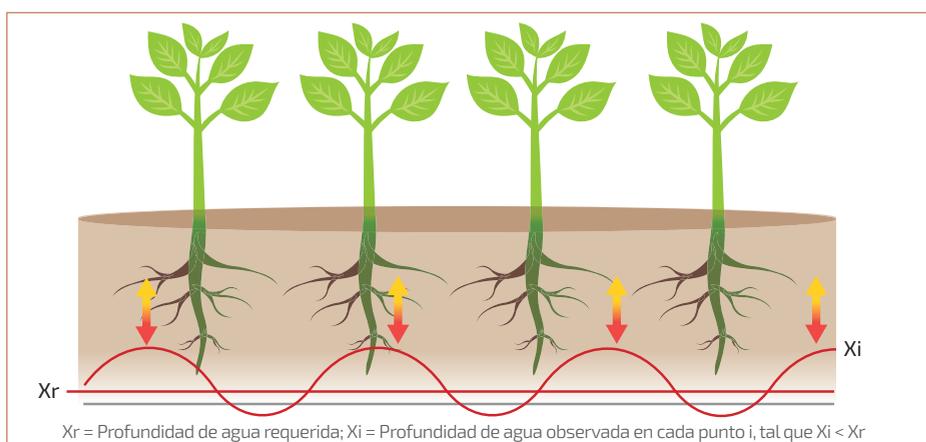
**Figura 2.14**  
Esquema explicativo de Eficiencia de Aplicación.

**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 2.15).

**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 2.16). Su valor nos indica el porcentaje del área o superficie irrigada que ha recibido una cantidad de agua igual o menor a la requerida por el cultivo.



**Figura 2.15**  
Esquema explicativo de Eficiencia de Requerimiento.

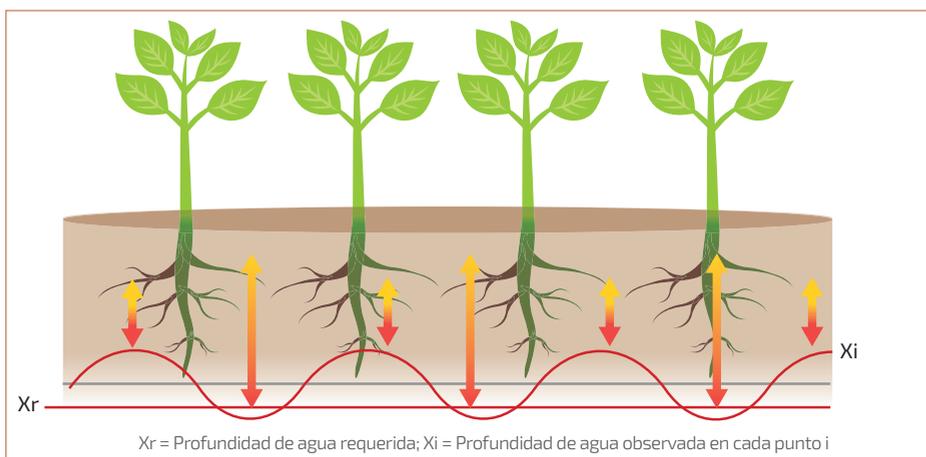


**Figura 2.16**  
 Esquema explicativo de  
 Eficiencia de Distribución del  
 Requerimiento.

**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 como ha sido la distribución del agua en el total de los puntos respecto al agua requerida (Figura 2.17). 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.



**Figura 2.17**  
 Esquema explicativo de  
 Eficiencia de Distribución Total.

## 2.5. FERTIRRIGACIÓN Y QUEMIGACIÓN PARA FRUTALES

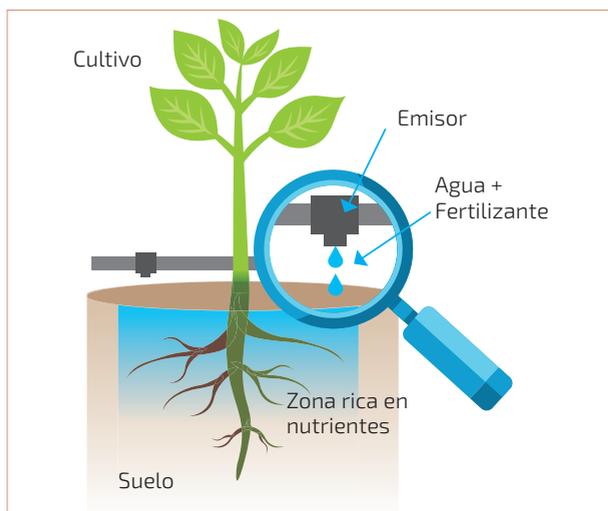
### FERTIRRIGACIÓN Y QUEMIGACIÓN

Fertirrigación es el proceso mediante el cual los fertilizantes que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. (Figura 2.18). 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".

### Ventajas de la fertirrigación o quemigación

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

Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes y químicos: Una mayor cantidad de fertilizante o químicos es utilizado por la planta en relación al total 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 o químicos a diferentes etapas de desarrollo del cultivo:** Las aplicaciones pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo, floración, cuajado y postcosecha. Los fertilizantes o químicos pueden ser aplicados a través de mecanismos automáticos que permiten un alto control del agua y de los fertilizantes o químicos.

**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 o químicos y la aplicación es independiente de la hora del día.

**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. En el caso de los químicos en general están en estado líquido.

### Desventajas e inconvenientes de la fertirrigación y quemigación

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación o quemigación 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 o sistemas de control.

Figura 2.18. Esquema de la fertirrigación en el riego localizado.

Los principales inconvenientes son:

**Obtunicaciones:** Obtunicaciones 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 químicos deben ser bien dosificados para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede inducir toxicidad afectando los futuros rendimientos.

### **Sistemas de riego aptos para la fertirrigación o quemigación**

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. Esto sucede con sistemas de bajo nivel tecnológico tanto presurizado como superficial.

Los métodos de riego gravitacionales de baja tecnología (sin sistemas de aducción y control, como por ejemplo: tendido) 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 (goteo, Microjet) o superficiales (Surcos con aducción o automatización) de alta tecnología son más eficientes y se aprovecha casi la totalidad del agua aplicada.

Los fertilizantes y los químicos aplicados tienen un costo importante y perder un porcentaje importante de lo que se aplica es una pérdida de dinero y una reducción en los beneficios. En lo que a uso y aplicación de fertilizantes o químicos se refiere, se debe ser muy eficiente y ojalá no desperdiciar nada. Es por este motivo que la fertirrigación o quemigación sólo se practica comercialmente hoy en día en métodos de riego presurizados en donde existe la seguridad de aprovechar al máximo todo el insumo, sin embargo, el desarrollo de mejoramiento en el diseño y

operación de los métodos de riego superficiales (surcos) puede ser en un futuro cercano una buena alternativa.

El riego localizado o presurizado, ya sea goteo, cinta, micro-aspersión o micro-jet brinda una excelente oportunidad para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos 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 un buen escenario que puede tener el cultivo para expresar todo su potencial, lo que más tarde se traducirá en altas producciones. Sistemas de riego superficiales de alta tecnificación (surcos con sistemas de control) son también una importante alternativa cuando existe un diseño y operación adecuado y profesionales de apoyo.

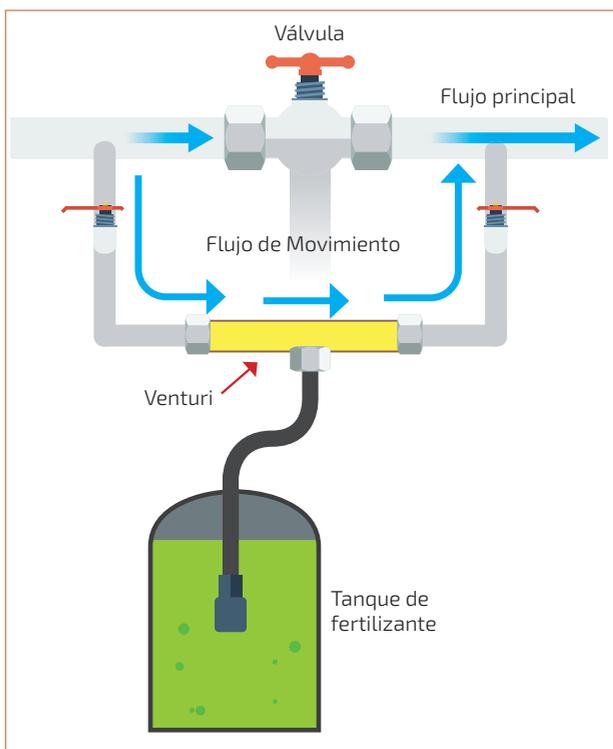
### **Funcionamiento de un sistema de fertirriego o quemigación**

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 inyectorres de abono. En este documento se hará mención sólo al tanque de fertilización con inyección tipo Venturi. En el caso de la quemigación es un proceso parecido pero por su cantidades muchas veces muy pequeñas, el proceso debe ser mucho más preciso y bajo un axautivo control.

**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 2.19). 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.

Para la aplicación de químicos se requiere un sistema de mayor precisión que el Venturi en general un tipo de inyección con equipos especiales.



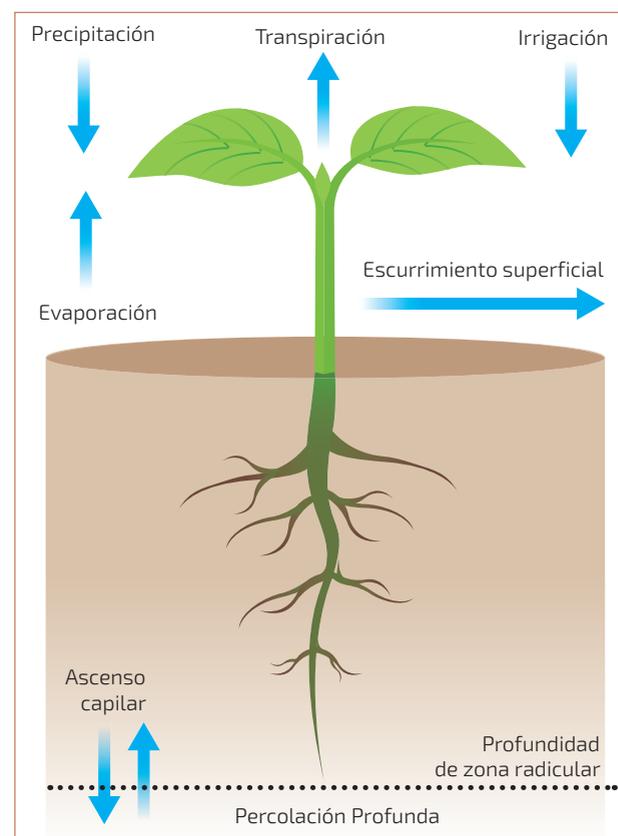
**Figura 2.19.** Funcionamiento del Venturi para la inyección de fertilizante.

## 2.6. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La programación de riego es un procedimiento que nos permite determinar el nivel óptimo de aplicación de agua 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 extractantes del cultivo.

Uno de los métodos más extendidos para la programación del riego es el balance de agua (Figura 2.20), 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 de extracción, marco de plantación, porcentaje de cobertura).



**Figura 2.20.** Balance de agua.

### Determinación de los requerimientos hídricos de la planta

Existen varias aproximaciones para determinar los requerimientos de huertos frutales como los que se describieron en el capítulo anterior. Sin embargo, recientes resultados demuestran que la relación que mejor predice los requerimientos es la que sigue:

$$ET_c = ET_o \cdot F_c \quad (2.8)$$

$$F_c = F_1 \cdot P + F_2 \quad (2.9)$$

Donde:

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiración de cultivo o frutal (mm día<sup>-1</sup>)

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración estándar de referencia (mm día<sup>-1</sup>)

F<sub>c</sub>: Factor de cobertura.

P: Porcentaje de cobertura o sombreado  
(20% < P < 70%)

Si la fracción de cobertura es mayor a 70% (P > 70%) se mantiene 70% ya que no hay incremento en la ET sobre ese valor esto considera que sobre ese valor el F<sub>c</sub> es constante para ese frutal. Si P es menor a 20% se mantiene ese valor que en general está asociada a la evaporación del suelo.

En la Tabla 2.1 se entregan valores de F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> para diferentes tipo de frutales estudiados.

**Tabla 2.1. Valores de F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> para diferentes tipos de frutales.**

Frutales	Riego	Factor F1	Factor F2
Arándanos	Goteo	0.0128	0.11
Manzanos	Goteo	0.0124	0.11
Naranjos	Goteo	0.0077	0.11
Avellano Europeo	Micro-Aspersión	0.011	0.25
Paltos	Microjet	0.0130	0.20
Uva de Mesa	Goteo	0.0141	0.11
Viña (hasta pinta)	Goteo	0.0102	0.11
Viña (después de pinta)	Goteo	0.0060	0.11

El porcentaje de cobertura (P) entre 20 y 70%

### Porcentaje de cobertura

El porcentaje de cobertura se estima a partir de:

$$P = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4 \cdot E_{eh} \cdot E_{sh}} \cdot 100 \quad (2.10)$$

Donde:

D<sub>s</sub>: 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 recomendable considerar los requerimientos entregados por ellos ya que pueden ser mas certeros.

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

$$V_r = ET_c \cdot E_{eh} \cdot E_{sh} \quad (2.11)$$

Donde:

V<sub>r</sub>: Requerimiento de agua en Litros por día árbol.  
(L día<sup>-1</sup> árbol<sup>-1</sup>)

El volumen total (V<sub>t</sub>) de agua a aplicar será:

$$V_t = \frac{V_r}{EDT} \quad (2.12)$$

Donde:

Vt: Volúmen total que se debe aplicar con el sistema de riego. ( $L \text{ día}^{-1} \text{ árbol}^{-1}$ ).

EDT: Eficiencia de distribución total. ( $0 < EDT < 1$ ).

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.

### Control de la programación del riego

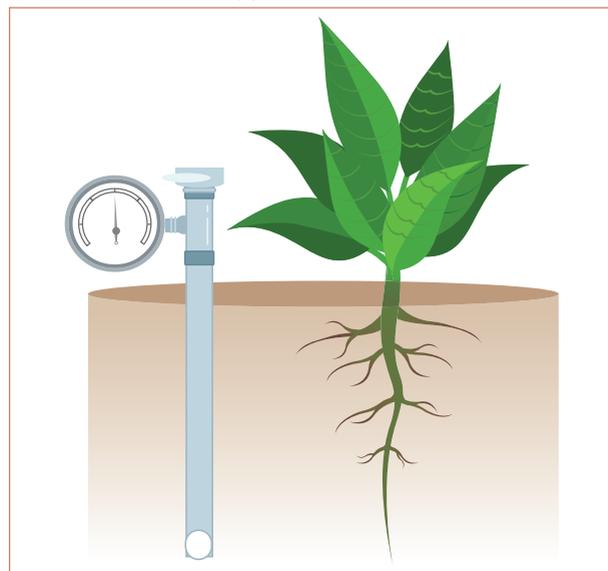
La programación del riego realizada en base a parámetros climáticos y del frutal es una buena aproximación para determinar los requerimientos hídricos de los frutales y el momento de su aplicación. Sin embargo para comprobarlo y asegurarse que el riego en el predio es oportuno y efectivo, es posible monitorear la humedad del suelo explorado por las raíces de los frutales. Lo anterior requiere de instrumentos sencillos para su evaluación. Hoy en día con el uso de monitoreo satelital y drones es posible auditar la situación de evapotranspiración de frutal que se puede asociar a un monitoreo de humedad. La gran ventaja del muestreo satelital o imágenes es su análisis desde el punto de vista espacial y temporal. Ello se puede comparar con la evapotranspiración que debe tener ese frutal de acuerdo a su ecuación de demanda antes descrita basada en el porcentaje de cobertura y la evapotranspiración de referencia.

En el caso de usar la humedad del suelo como criterio; para el caso de frutales regados por métodos superficiales, como surco, 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 extractantes 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 2.21) que es un instrumento que mide la energía 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 u otro sistema de manejo 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.

Figura 2.21 Tensiómetro y posición de éste.





# CAPÍTULO 03 | Drenaje

Dr. Luis Salgado. *Ingeniero Agrónomo Ph.D.*  
Ximena Orrego. *Ingeniero Civil Agrícola.*

## 3.1. ASPECTOS BÁSICOS DEL DRENAJE Y SU IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

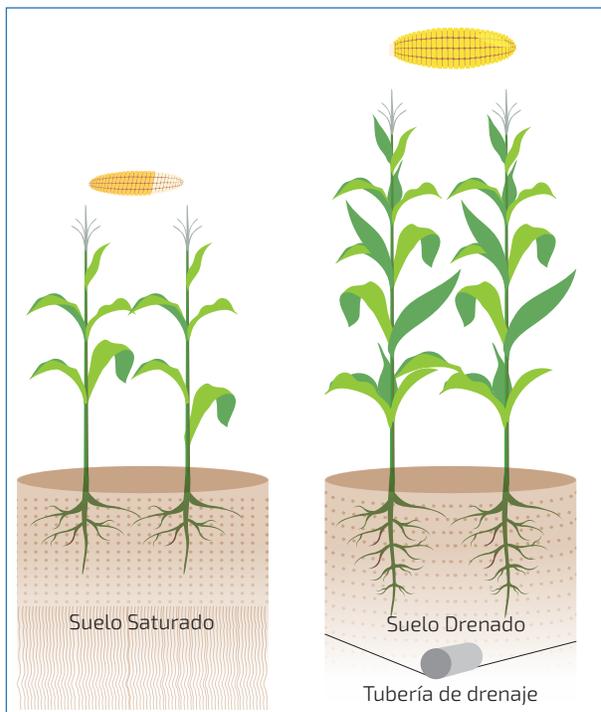
La producción de frutales o de cualquier otro cultivo en condiciones económicamente rentables requiere de la existencia de un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radical. Dicho ambiente depende del régimen térmico e hídrico imperante, así como de su aireación y del nivel de salinidad 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 radical, como se muestra en la Figura 3.1:

### ¿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 (Fotografía 3.1) 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 3.1.** Diferencia de crecimiento radical y vigor de la planta bajo condiciones de mal y buen drenaje.



**Fotografía 3.1.** Área de mal drenaje 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:

- Suelos de texturas finas (arcillosas), y de estructura masiva en la estrata superficial, tienen una baja velocidad de infiltración.
- Ocurrencia de depósitos de limo en la superficie de los suelos, formando costras que impiden la infiltración.
- 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, y afloran a la superficie en sectores de posición más baja.

### 3.2 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 radical. 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 radical quedan seriamente afectadas.

La asfixia puede dañar parte del sistema radical o su totalidad. En el primer caso, si los daños no son demasiado 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 radical dañado es alto, los daños son irreversibles y el árbol muere irremediablemente.

#### 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. 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 la tabla 3.1 se muestra la profundidad de arraigamiento para algunos frutales.

**Tabla 3.1. Profundidad de arraigamiento de algunas especies frutales.**

Especie	Umbral limitante cm (*)	Requerimiento óptimo cm
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%.

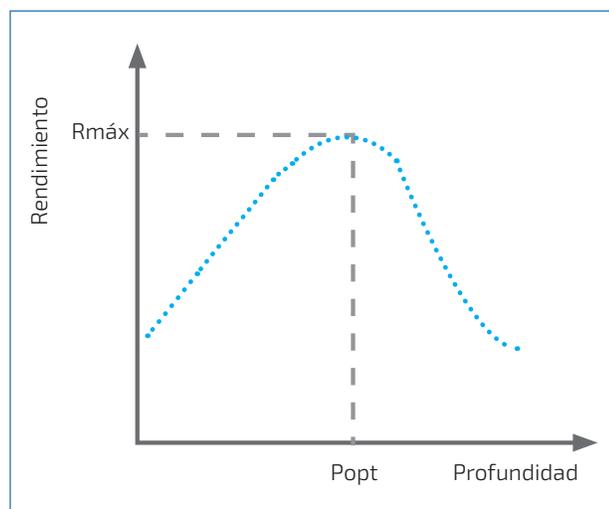
### c) Efecto sobre la producción frutícola:

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 3.2 se muestra la variación del rendimiento en función de la profundidad del nivel freático (curva teórica).

**Figura 3.2.**

Variación del rendimiento en función de la profundidad del nivel freático.



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 radical muy superficial, tipo platiforme, que no le provee la sustentación necesaria.

Además del efecto en 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.

El cuadro siguiente muestra los requerimientos de drenaje de algunos frutales. El grado de exigencia disminuye del grupo I al V.

**Cuadro 3.2: 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.

### 3.3 SISTEMAS DE DRENAJE

La solución de los problemas de drenaje está íntimamente relacionados con las causas que provocan el problema y con los objetivos que se pretende lograr. En este sentido es posible reconocer dos sistemas de drenaje: superficial y subsuperficial o subterráneo.

#### 3.3.1 Sistemas superficiales

En estos casos, el objetivo principal es eliminar, en el menor tiempo posible, los excesos de agua que se acumulan en la superficie del suelo de modo que no afecten a los cultivos (Fotografía 3.2). Para tal efecto es necesario tener en consideración los siguientes antecedentes que son de tipo "sitio específico" y que por tanto deben ser obtenidos en terreno.



**Fotografía 3.2.**  
Problema de drenaje superficial debido a depresión del terreno.

#### a. Suelo

Se requiere un conocimiento mínimo del perfil de suelo por cuanto la razón del problema de drenaje, entre otros factores, podría deberse a la existencia de un suelo muy delgado o muy arcillosos en superficie.

#### b. Topografía

Es deseable contar con un plano detallado del terreno que se va a intervenir en una escala acorde a la super-

ficie. Dicho plano debe disponer de curvas de nivel del suelo con intervalo vertical de 50 cm o menor de modo de reflejar todos los cambios de pendiente y depresiones que existan y que contribuyan a la acumulación del agua.

#### c. Origen y cuantificación de los excesos de agua

Los excesos de agua pueden ser de diferente índole: lluvia, escorrentía, filtraciones desde terrenos adyacentes ubicados en una cota superior, desbordamiento de canales u otros.

Si los excedentes son por lluvia, se requiere realizar un análisis de las estadísticas pluviométricas que exista en la estación meteorológica más cercana al lugar. Este análisis debe permitir determinar la cantidad máxima anual de lluvia caída en 1, 2 y 3 días consecutivos de lluvia y con una período de retorno de 5 años a partir de una estadística de a lo menos 30 años (normativa exigida por la Comisión Nacional de Riego a todos los proyectos que se presenten a los concursos de la ley de Fomento al Riego y Drenaje).

Si los excedentes son por escorrentía superficial (por efecto del riego u otra fuente), ésta deberá ser debidamente individualizada y cuantificada para posteriormente realizar el dimensionamiento correcto de las obras, independientemente si se trata de filtraciones de tipo puntual o difuso.

Si el problema tiene su origen en el desbordamiento de canales o esteros, la solución deberá pasar por una limpieza, dragado, enderezamiento de los cauces o simplemente el trazado de los mismos a cotas donde no causen problemas.

Otra forma de evitar el desbordamiento de esteros, ríos o canales es mediante la construcción de diques los cuales suelen ser obras de alto costo.

#### d. Consideraciones del cultivo

Esto dice relación con la tolerancia que cada cultivo tiene a los excesos de agua sin afectar seriamente su rendimiento. Debe entenderse que será muy difícil crear las condiciones óptimas para su desarrollo por lo tanto habrá que aceptar un margen de daño o reducción de los

rendimientos sin que ello afecte la producción ni la productividad del cultivo, aún cuando signifique menores ingresos.

#### e. Sectorización

Si el área a intervenir es de gran tamaño, de topografía y/o suelos muy diversos o cultivos con distintos requerimientos, es recomendable hacer una sectorización del predio y luego realizar los cálculos para cada sub área en particular.

#### f. Trazado de la red y dimensionamiento

Todos los excedentes superficiales deben conducirse a una red de desagües, zanjas o drenes interceptores, (Fotografía 3.3) que permitan transportar el agua fuera del área intervenida, los cuales deberán tener las dimensiones adecuadas para contenerla.

#### g. Obras para facilitar la escorrentía

En muchas ocasiones será conveniente facilitar el flujo hacia las zanjas de drenaje ya sea para eliminar el agua más fácilmente o para evitar una excesiva sectorización. Esto se logra mediante alguna de las siguientes técnicas:

- Emparejamiento (Fotografía 3.4)
- Nivelación
- Construcción de drenes topo (Fotografía 3.5)

**Fotografía 3.3.** Dren interceptor.



**Fotografía 3.4.** Acondicionamiento del terreno para facilitar el escurrimiento superficial.



**Fotografía 3.5.** Drenes topo descargando a colector.

### 3.3.2 Sistemas sub superficiales

Los sistemas de drenaje sub superficiales tienen como objetivo fundamental controlar la profundidad del nivel freático del suelo con el objeto de otorgar a los cultivos la profundidad óptima para el desarrollo radical.

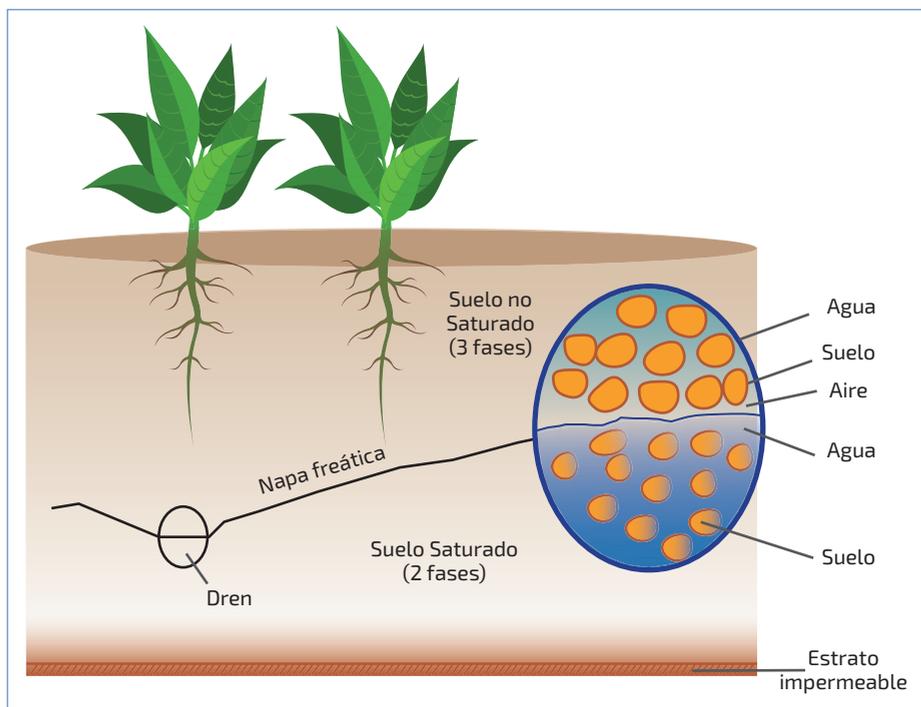
Se entiende por nivel freático aquella línea que separa la zona saturada de la no saturada del suelo (Fotogra-

Figura 3.6). En la zona saturada existen sólo dos fases sólida (suelo) y líquida (agua), es decir, todo el espacio poroso se encuentra lleno de agua. En la zona no saturada encontramos las tres fases: sólida (suelo), líquida (agua) y gaseosa (aire), este último, elemento indispensable para el buen desarrollo de los cultivos ya que el oxígeno lo extraen las raíces desde el suelo (Figura 3.3)

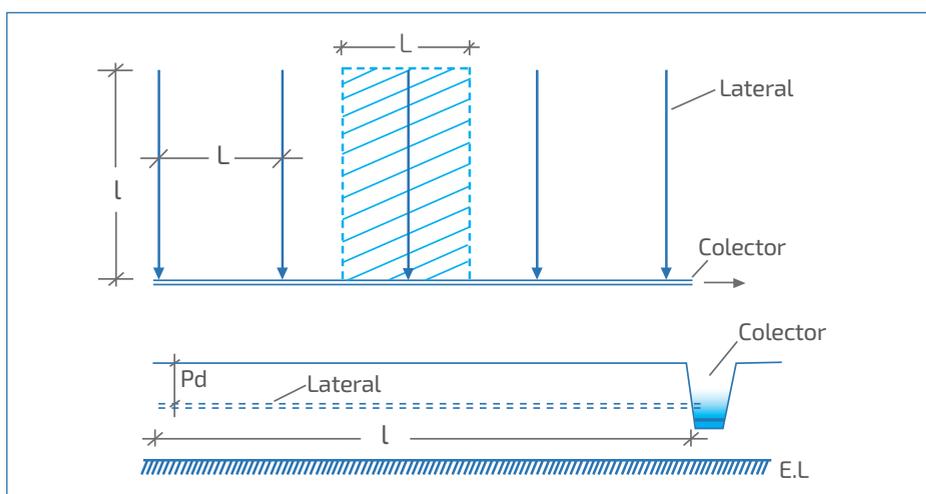
En un sistema de drenes sub superficiales se distinguen tres componentes de la red: laterales, colectores y dren principal (Figura 3.4). Los laterales son los drenes responsables de extraer el agua desde el interior del suelo. Como su nombre lo indica, los colectores tienen como función coleccionar el agua de los laterales y sacarla fuera del área intervenida y finalmente el dren principal es aquel que transporta el agua hasta el punto de descarga.



**Fotografía 3.6**  
Nivel freático cercano a la superficie del suelo.



**Figura 3.3.**  
Fases sobre y bajo el nivel freático.



**Figura 3.4.** Componentes de una típica red de drenaje (planta y corte longitudinal).

Para la correcta formulación de un proyecto que contemple la construcción de un sistema de drenes sub superficiales es necesario conocer con mucho detalle antecedentes que tienen que ver con el cultivo, el suelo y la recarga, causantes del mal drenaje en forma individual o por una combinación de éstos.

Una relación no exhaustiva de los antecedentes requeridos, es la siguiente:

**a. Antecedentes del cultivo**

- Profundidad radical óptima.
- Tolerancia al exceso de agua (tolerancia al déficit de oxígeno).

**b. Suelo**

- Descripción detallada del perfil (identificación de limitantes).
- Caracterización de los parámetros físicos e hídricos
- Identificación de la profundidad a la cual se encuentra el estrato impermeable, entendiéndose por tal aquel estrato que impide el movimiento vertical del agua y que genera el nivel freático (arcilla densa, tosca).
- Conductividad hidráulica (capacidad del suelo para transportar agua).

**c. Recarga**

- Identificación y cuantificación de la recarga (lluvia, excedentes del riego, filtraciones, otros). En el caso de recarga por lluvia se debe seguir el mismo procedimiento indicado en la sección anterior.

La segunda etapa consiste en procesar la información recolectada con el propósito de determinar el espaciamiento entre laterales que mejor satisfaga los requerimientos del cultivo y luego definir la ubicación de la red de drenaje acorde a la geometría del predio.

Para el cálculo del espaciamiento entre laterales es necesario utilizar modelos matemáticos, seleccionando aquellos que mejor se ajusten a las condiciones existentes en el terreno. Cabe señalar que dichos modelos son simplificaciones de la realidad y por tanto los resultados que entreguen deben evaluarse con mucho criterio.

Una vez cumplida esta etapa debe definirse si los laterales serán zanjas abiertas o drenes entubados. La decisión dependerá del costo de la obra, así como también considerando las ventajas y desventajas de una u otra.

Las zanjas abiertas tienen las siguientes ventajas: menor costo, fácil limpieza y facilidad de monitorear su comportamiento. Las desventajas son: eventual desmoronamiento de los taludes, crecimiento de malezas que obstruyan el normal escurrimiento de las aguas y seccionamiento del terreno lo que atentará contra las labores agrícolas que se realicen a futuro.

Por otra parte los drenes entubados la principal ventaja que tienen es no impedir el libre tránsito de maquinarias y vehículos. Sin embargo sus principales desventajas son su alto costo, dificultad para observar su funcionamiento y limpieza.

No obstante lo anterior, la tendencia actual es usar tuberías de plástico corrugado (Fotografía 3.7) tanto en laterales como colectores. Si la decisión es esa, es necesario determinar los diámetros, pendientes y caudal que transportarán, una vez que la obra esté en funcionamiento.



**Fotografía 3.7.**  
Tuberías plásticas para drenaje.



## CAPÍTULO

# 04

# Sustentabilidad en la calidad de los recursos hídricos

Dr. Camilo Souto. *Ingeniero Civil Agrícola, Dr.*  
Ximena Orrego. *Ingeniero Civil Agrícola.*

## 4.1 AGRICULTURA SUSTENTABLE

La responsabilidad social de las empresas y las iniciativas de sostenibilidad son esenciales para hacer frente a los diversos cambios medioambientales que se generan de la actividad humana, especialmente en relación con la producción. La innovación en la producción se reconoce cada vez más como un motor clave de la sustentabilidad y sus resultados positivos asociados. La innovación sostenible se refiere a nuevos productos y procesos que sirven tanto a los intereses propios de una organización como a las necesidades sociales y medioambientales. Sin embargo, la adopción de este tipo de innovaciones orientadas a la sustentabilidad suele requerir un cambio de paradigma en las políticas y las prácticas, y en particular en la agricultura, que a menudo experimenta una lenta adopción y una serie de barreras.

La agricultura genera muchos impactos ambientales y sociales perjudiciales, como las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación por escorrentía de nutrientes y pesticidas, y la erosión del suelo. El rubro agrícola es el mayor usuario comercial de agua dulce, 70 - 80%, del consumo mundial (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), 2019). Este sector también se enfrenta a una crisis de sostenibilidad de la producción: se ha pronosticado que el aumento de la población mundial incrementará la demanda de alimentos entre un 60% y un 100% para el año 2050 (Valin *et al.*, 2014). Por lo tanto, la expansión de la producción de alimentos amenaza con una mayor degradación del medio ambiente, la escasez de agua y los desafíos sociales asociados.

En algunas zonas del mundo se han satisfecho las necesidades de alimento mediante el mejoramiento de los sistemas agrícolas con el uso de nuevas tecnologías. Estos sistemas agrícolas se han clasificado como agroforestal, agroecología, agricultura sostenible, agricultura orgánica. El objetivo de todas estas mejoras en la agricultura es disminuir la brecha de disponibilidad de alimentos y aumentar el rendimiento de los cultivos para obtener una agricultura sostenible con el medio ambiente. Para esto es fundamental la asignación eficiente del agua de riego que se ve afectada por diversos factores ambientales,

económicos y sociales. Estos factores entran en conflicto entre sí, y su coordinación a través de la correspondencia entre la disponibilidad de agua y las necesidades de agua en cantidad y calidad, tanto en el espacio como en el tiempo, puede entenderse como una gestión sustentable del agua.

El término "agricultura sustentable" se define como la consolidación de los bio-procesos, procesos químicos, las actividades físicas, procesos ecológicos y las ciencias socioeconómicas de forma holística para diseñar nuevas prácticas agrícolas que sean seguras y respetuosas con el medio ambiente (Ayaz *et al.*, 2021). La agricultura sustentable es un procedimiento mediante el cual la agricultura puede nutrirse durante un periodo de tiempo preservando y manteniendo todos sus recursos naturales, por ejemplo, manteniendo la fertilidad del suelo, salvaguardando las superficies y los recursos subterráneos, desarrollando fuentes de energía renovables y buscando soluciones para renovar los métodos agrícolas ante el cambio climático (Ayaz *et al.*, 2021; Jalal *et al.*, 2020). La agricultura también debe tener en cuenta la sustentabilidad del territorio y de los grupos sociales.

El reto de la sustentabilidad en la producción de alimentos a nivel mundial también se ve agravado por el cambio climático, que ya amenaza la seguridad alimentaria y la seguridad del agua en muchos países. El aumento de las sequías significa que el uso del agua en la agricultura solo puede convertirse en una cuestión aún más polémica en el futuro si es que no se realiza un uso eficiente de los recursos hídricos. Para 2025, se estima que dos tercios de la población mundial se enfrentarán a la escasez de agua (WWF, 2016). La gestión socialmente responsable y sustentable del agua en la agricultura es, por lo tanto, fundamental para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos.

## 4.2 SISTEMAS DE RIEGO Y CONTAMINACIÓN.

### 4.2.1 Contaminación del agua

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. La contaminación del agua se puede dividir en dos grandes grupos, como la contaminación puntual y difusa.

#### 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 (Fotografía 4.1).

#### 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 difusa es la aplicación de plaguicidas (Fotografía 4.2).



**Fotografía 4.1**

Descarga de aguas servidas.

Fuente: <https://estrucplan.com.ar/un-nuevo-reto-para-la-humanidad/>; <https://www.renovablesverdes.com/contaminacion-del-agua/>



**Fotografía 4.2**

Aplicación de químicos en un predio.

Fuente: <https://dib.com.ar/2020/06/trigo-garantizan-la-venta-de-fertilizantes-y-agroquimicos-para-la-campana/>

#### 4.2.2 Contaminantes en el agua utilizada en sistemas de riego

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

Los principales contaminantes del agua de riego 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.

En la Fotografía 4.3 se puede observar algunos de los principales contaminantes 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.

#### 4.2.3 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 utilizados en menor frecuencia. Los fertilizantes nitrogenados inciden fuertemente en la contaminación difusa debido a las siguientes características del nitrógeno:

- 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 (puede moverse fácilmente en el suelo).
- Su exceso genera restricciones al consumo humano, debido a que es un elemento definido como cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- 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, riego o derrames.



Fotografía 4.3

Contaminantes del agua de riego. Fuente: <http://www.lanoticiaria.com/noticias/estatal/fraccionamientos-vierten-aguas-negras-en-canales-de-riego-contaminan-cultivos/>; <https://www.efeverde.com/noticias/fosforo-rios-contaminante/>

### 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 (nitrogenados) 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. Para todos los sistemas de riego se recomienda realizar estudios de uniformidad de aplicación en la distribución de agua.
- 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 y tener óptimamente programado los tiempos y frecuencias de riego.

### 4.3 BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA LA SUSTENTABILIDAD

La agricultura, como toda actividad desarrollada por el hombre, interviene la naturaleza y el medio ambiente, utilizando los recursos naturales, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, siendo dependiente de ellos para su desarrollo y productividad. El sector agrícola no sólo proveerá de alimentos y otros bienes y servicios a la población, sino que también podrá continuar constituyendo el sustento de familias y mantener el patrimonio cultural asociado a la agricultura.

La agricultura ha desarrollado sus actividades en la mayoría de los casos modificando, en mayor o menor medi-

da, el medio ambiente, para orientarlo a la producción de bienes para el ser humano. Es por ello que, en el contexto actual y lo que se espera para las próximas décadas, se deben fomentar medidas que permitan utilizar los recursos, al mismo tiempo que se asegura su protección para las generaciones futuras. Por lo anterior, está emergiendo la necesidad de desarrollar una actividad agrícola que conjugue los tres pilares de la sustentabilidad, esto es, la protección del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad económica.

Chile actualmente presenta información agroambiental, sin embargo, es necesario aumentar las investigaciones asociadas al área, especialmente sobre el de conservación de las especies, contaminación de suelo, valor de la biodiversidad biológica y de los ecosistemas y costo que supone su pérdida. La falta de información adecuada provoca que la toma de decisiones en estas materias no sea conforme a los requerimientos del sector.

Para diseñar políticas acordes a los desafíos que enfrenta el sector agropecuario y forestal, se requiere de un sistema robusto de información sectorial, que incluya una dimensión ambiental sólida (Berríos *et al.*, 2020).

La sustentabilidad en la agricultura es necesario conocer cómo debe administrarse un predio para garantizar que el recurso hídrico se mantenga por un tiempo prolongado, ya que, realizando los estudios pertinentes se puede perpetuar el consumo de agua y garantizar la estabilidad hídrica en las zonas aledañas.

Sin duda alguna, se requiere avanzar en programas que generen la información necesaria para que las decisiones, por ejemplo, en inversiones en riego o forestación, sean tomadas conociendo exactamente cuáles son las áreas más vulnerables en el día de hoy, pero también que permita tener la visión dinámica de a dónde y por qué esas áreas vulnerables se desplazarán en los próximos 20 o 30 años y, además, saber cuáles son las variedades vegetales que mejor se adaptarán a dichas condiciones futuras. Esto permitiría mejorar la eficiencia y eficacia de las inversiones tanto públicas como privadas, incrementando nuestra capacidad de respuesta preventiva y cobertura de las acciones de adaptación y mitigación (Berríos *et al.*, 2020).

### 4.3.1 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”.

Las buenas prácticas deben considerarse como una herramienta de competitividad, puesto que aportan en el aseguramiento de la calidad e inocuidad de los alimentos y de la seguridad social. Las BPA promueven seguridad de las personas, medio ambiente, inocuidad alimentaria y bienestar animal (Figura 4.1).

La importancia de implementar BPA se basa principalmente en obtener productos sanos y de calidad para mejorar la nutrición y alimentación de las personas, asegurando la salud de sus trabajadores, lo que beneficiaría en la sostenibilidad y acceso a nuevos mercados de alta calidad (producto diferenciado). En conclusión, ayuda a mejorar los precios por su calidad, menores costos (disminución de aplicación de químicos, por ejemplo), mayores rendimientos, es decir en definitiva mayores ingresos al productor.

### 4.3.2 GLOBALG.A.P.

Originalmente conocida como EUROG.A.P., de la sigla en inglés de “Euro-Retail Produce Working Group (EUREP)”, y de “Good Agricultural Practices (G.A.P.)”, 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.



Figura 4.1. Esquema de los factores que promueven las BPA. Figura adaptada de FAO, (2012).

El protocolo GLOBALG.A.P. 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.
- Reflejar el deseo de mejorar constantemente los estándares de producción en cooperación con los productores.

Los principales documentos de GLOBALG.A.P. son:

1. Protocolo GLOBALG.A.P., documento normativo con los estándares que los agricultores deben cumplir, con sus obligaciones y derechos.
2. Puntos de Control y Criterios de Cumplimiento GLOBALG.A.P. (PCCC), el cual entrega detalles de cómo el agricultor cumple con cada uno de los requerimientos del sistema, tanto en la producción como en la gestión de las explotaciones agrícolas.
3. Lista de Verificación GLOBALG.A.P., documento guía para la auditoría externa al agricultor y es usada por éste para cumplir con el requerimiento anual de auditoría interna de los PCCC.
4. Regulaciones Generales GLOBALG.A.P., el cual establece las reglas por las cuales el sistema será administrado.
5. Análisis Comparativo de Homologación (Benchmarking).

Como se encuentra descrito en Regulaciones Generales de GLOBALG.A.P., el esquema está dividido en requerimientos del sistema, los que pueden cambiar de categoría según el comité técnico, los cuales están divididos en:

**Obligaciones mayores:** no pueden dejar de cumplirse.  
**Obligaciones menores:** existe un grado de flexibilidad dependiendo de las justificaciones presentadas.

**Recomendaciones:** obligaciones que pueden o no cumplirse.

Y el listado de Verificación y Punto de Control y Criterios de Cumplimiento, las categorías de cumplimiento se dividen en Requisitos mayores (color rojo), Requisitos menores (color amarillo) y Recomendaciones (color verde).

Las prácticas agronómicas que deben adoptarse según GLOBALG.A.P. son las siguientes:

- Cultivo (elección y origen, operaciones previas al cultivo (rotación de cultivos, nivelación de suelos, reducir uso de herbicidas, etc.), durante el desarrollo (densidad de plantación, polinizadores, no emplear fitorreguladores, declarar si es material transgénico)).
- Fertilización de los suelos (adecuada según demanda de suelo y cultivo (análisis de suelo o foliares periódicas), hidropónicos (análisis nutritivo, foliar y solución de drenaje), y abonos orgánicos (análisis de nutrientes)).
- Sistema de riego: Uso sustentable del agua (disponibilidad, eficiencia y calidad del agua), para lo que se necesita tener conocimiento y registro de las necesidades de riego (frecuencia, tiempo y volumen aplicado), calidad del agua (análisis físico, químico y bacteriológico).
- Control de plagas (manejo integrado de plagas con el empleo mínimo de productos fitosanitarios, privilegiando métodos culturales y biológicos).
- Suelo y sustratos (mapa de suelo del predio, con el fin de conocer su capacidad de uso).

A continuación, se presenta el Protocolo, Verificación y Punto de Control y Criterios de Cumplimiento de GLOBALG.A.P. relacionados con el riego y la calidad del agua.

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.

*\* 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 GLOBALG.A.P.*

El cumplimiento de las normas GLOBALG.A.P. 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 del suelo 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 (Fotografías 4.1 y 4.2).

Es importante 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 recurso hídrico a nivel de cuenca considerando los diferentes actores que hacen uso de las aguas y sin perder el punto de vista de la dimensión productiva, ambiental y social. Esto impactará positiva y directamente el manejo de los recursos hídricos a nivel intrapredial.

# Bibliografía

AYAZ, M., FEIZIENÉ, D., TILVIKIENÉ, V., AKHTAR, K., STULPINAITÉ, U., & IQBAL, R. (2021). Biochar role in the sustainability of agriculture and environment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13031330>.

BERRÍOS, M. J., HOLZAPFEL, E., & SOUTO, C. (2020). *Evaluación de la eficiencia en diferentes escalas para determinar los impactos de un sistema de riego*. Universidad de Concepción.

FAO. (2012). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el Productor Hortofrutícola 2 Edición, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/a-as171s.pdf>

JALAL, F., ARIF, M., AKHTAR, K., KHAN, A., NAZ, M., SAID, F., ZAHEER, S., HUSSAIN, S., IMTIAZ, M., KHAN, M. A., ALI, M., & WEI, F. (2020). Biochar Integration with Legume Crops in Summer Gape Synergizes Nitrogen Use Efficiency and Enhance Maize Yield. In *Agronomy* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/agronomy10010058>

VALIN, H., SANDS, R. D., VAN DER MENSBRUGGHE, D., NELSON, G. C., AHAMMAD, H., BLANC, E., BODIRSKY, B., FUJIMORI, S., HASEGAWA, T., HAVLIK, P., HEYHOE, E., KYLE, P., MASON-D'CROZ, D., PALTSEV, S., ROLINSKI, S., TABEAU, A., VAN MEIJL, H., VON LAMPE, M., & WILLENBOCKEL, D. (2014). The future of food demand: Understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 45(1), 51–67. <https://doi.org/10.1111/agec.12089>

WWAP (PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA UNESCO). (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. (UNESCO (Ed.)). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304?locale=en>

WWF. (2016). Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. In *WWF International* (Issue 2). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3067>







**CRHIAM**

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015



**Manuales  
FIA  
CRHIAM**

# **Riego y Drenaje en frutales**

ISBN: 978-956-227-502-6



9 789562 275026

