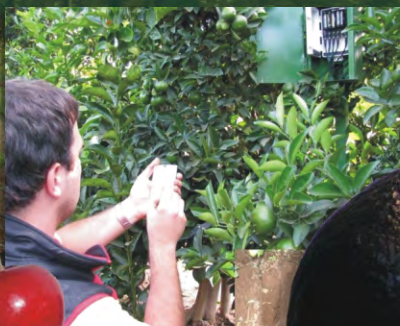


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

MANUAL DE RIEGO PARA ESPECIES FRUTALES

Uso eficiente del agua de riego
y estrategias para enfrentar
períodos de escasez



Autores:
Raúl Ferreyra E.
Gabriel Sellés V. Sch.



Autores:
Raúl Ferreyra E.
Gabriel Sellés Van Sch.

Centro Regional de Investigación La Platina y
Centro Regional de Investigación La Cruz
Santiago, Chile, 2013

Autores:

Raúl Ferreyra E.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., INIA La Cruz

Gabriel Sellés Van Sch.

Ingeniero Agrónomo, Dr., INIA La Platina

Director responsable:

Carlos Alberto Dulcic B.,

Director Regional INIA La Platina.

Robinson Vargas M.,

Director Regional INIA La Cruz.

Boletín INIA N° 278

Cita bibliográfica correcta:

Ferreyra E., Raúl, Gabriel Sellés Van Sch. 2013. Manual de riego para frutales: uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar períodos de escasez. 319 p. Boletín INIA N° 278. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centros Regionales de Investigación La Platina y La Cruz. Santiago, Chile.

© 2013. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Centro Regional de Investigación La Platina. Avda Santa Rosa 11.610. Comuna La Pintana. Teléfono (56-2) 577 9100. Fax (56-2) 577 9106. Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

ISSN 0717 – 4829.

Se autoriza la reproducción total o parcial, indicando autores y fuente.

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.

Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 1.000

Santiago, Chile, 2013.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA REGADAS EN CHILE	9
2.1 Variación interanual de la evapotranspiración y de las precipitaciones	11
2.1.1 Evapotranspiración	12
2.1.2 Precipitaciones	13
3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	17
3.1 Relaciones masa volumen en los suelos	
3.1.1 Densidad aparente (D_b , g/cm^3)	22
3.1.2 Densidad real (D_r)	25
3.1.3 Porosidad Total (P) y Capacidad de aire del suelo (CA)	26
3.1.4 Contenido de humedad en el suelo	27
3.1.5 Ejemplo de cálculo de densidad aparente, porosidad total y capacidad de aire del suelo	29
3.2 Propiedades físicas del suelo y desarrollo de raíces	31
3.3 Disponibilidad del agua del suelo	38
4. NECESIDADES Y DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO	45
4.1 Evapotranspiración (ET)	47
4.1.1 Estimación de la evapotranspiración de referencia	48
4.2 Necesidades de agua de riego	53
4.2.1 Estimación de la evapotranspiración del cultivo	54
4.2.2 Contribución de la napa freática (Ascenso Capilar)	56
4.2.3 Precipitación efectiva (P_{ef})	56

4.2.4 Necesidades de lavado de sales	57
4.2.5 Eficiencia de aplicación del agua de riego (Efa)	59
4.2.6 Ejemplo de cálculo de las necesidades de agua de riego a nivel predial	60
4.3 Disponibilidad de agua a nivel predial	63
4.3.1 Estimación del caudal a nivel predial según derechos inscritos, utilizando información hidrológica	63
4.3.2. Métodos de medición directa de caudales	65
4.3.2.1 Métodos de aforo en canales, esteros o ríos	65
4.3.2.2 Métodos de aforo en tuberías	72
5. MÉTODOS DE RIEGO PRESURIZADOS	81
5.1 Componentes de un sistema	82
5.1.1 Cabezal de control	83
5.1.2 Redes de distribución	97
5.1.3 Emisores	98
5.2 Capacidad del equipo de riego	99
5.3 Porcentaje de suelo mojado	100
5.4 Uniformidad del equipo de riego	101
5.4.1 Control de presión y amperaje en el cabezal de riego	102
5.4.2 Control de la presión y descarga de los emisores de riego	103
5.4.2.1 Ejemplos de cálculo de Coeficiente de Uniformidad riego localizado (goteo)	108
5.4.3 Mantenimiento de los equipos de riego	109
5.4.3.1 Lavado de equipos de riego	110
5.4.3.2 Inyecciones de Cloro	111
5.4.3.3 Inyecciones de Ácido	114
5.5 Inyección de fertilizantes	117
5.5.1 Salinidad	118
5.5.2 Algunos Fertilizantes utilizados en fertirrigación	121
5.5.2.1 Principales productos comerciales y sus características	121

5.5.3 Solubilidad de los fertilizantes	124
5.5.4 Compatibilidad de productos	126
5.5.5. Calibración de la tasa de inyección de los fertilizantes	127
5.5.6 Dosificación de fertilizantes	129
5.5.7 Preparación y aplicación de la solución madre	129
5.6 Costos de operación de equipos	135
6. MANEJO DEL AGUA DE RIEGO	139
6.1 Programación de riego	140
6.1.1 Cómo elaborar un programa de riego	141
6.1.1.1 Frecuencia de riego	143
6.1.1.2. Tiempo de riego (cantidad de agua a aplicar)	144
6.2 Sistemas de control del riego	153
6.2.1 Control del estado hídrico del suelo	153
6.2.1.1 Uso de barrenos y calicatas. Estimación cualitativa de la humedad de suelo	153
6.2.1.2 Humedad del suelo. Determinaciones cuantitativas	158
6.2.1.2.1 Funcionamiento	160
6.2.1.2.2 Instalación y lectura	161
6.2.1.2.3 Interpretación de lecturas entregada por los sensores	161
6.2.1.2.4 Ajuste de un programa de riego usando sondas capacitivas (FDR)	165
6.3 Control de estado hídrico de la planta	167
7. RESPUESTA DE LOS FRUTALES AL RIEGO	173
7.1 Almendro	173
7.2 Carozos (Durazno, Damasco, Cerezo y Ciruelos)	176
7.2.1 Cerezo	183
7.3 Cítricos	192
7.4 Kiwi	206
7.5 Granado	210
7.6 Nogal	214

7.7	Olivo	221
7.8	Palto	228
7.9	Pomáceas	239
7.10	Uva de mesa	244
7.11	Vid vinífera	263
7.12	Arándano	271
8.	ESTRATEGIAS PARA ENFRENTAR EL DÉFICIT HÍDRICO	289
8.1	Disminución de la superficie cultivada	289
8.2	Elección de variedades tempranas	289
8.3	Acumular agua de lluvias y mantener humedad en el suelo	290
8.4	Técnicas para disminución de la evapotranspiración	291
8.5	Aumento de la eficiencia del uso de agua	295
9.	BIBLIOGRAFÍA	301

1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso natural, único, finito e indispensable para todo organismo viviente y para gran parte de las actividades económicas y productivas del hombre. A pesar de su aparente abundancia, solo un 0,74% del agua presente en el planeta corresponde a agua dulce y se halla en lagos, ríos, pantanos, depósitos subterráneos, la atmósfera y los sistemas biológicos.

El Informe País "Estado del Medio Ambiente 2002", editado por la Universidad de Chile, evaluó que la disponibilidad de agua promedio al año 1992 alcanzaba a 5.475 m³/año por habitante; inferior al valor medio de disponibilidad de agua apta para el consumo humano en el planeta que es de 9.500 m³/año por habitante, lo que muestra la condición crítica de disponibilidad hídrica de Chile. Sin embargo, al incluir los glaciares del Sur de Chile, esta disponibilidad aumentaría a unos 70.000 m³/año por habitante, pero esta disponibilidad es solo a nivel de reservas actualmente no disponibles.

Sin embargo, el valor promedio de disponibilidad de agua no refleja la desigual distribución de los recursos hídricos en el país. Por ejemplo, entre las regiones de Arica-Parinacota y Metropolitana, la disponibilidad natural de agua promedio es inferior a 1.000 m³/año por habitante, alcanzando en algunos sectores los 500 m³/año por habitante, umbrales considerados internacionalmente como altamente restrictivos (DGA, 1999). Agrava lo anterior el hecho de que en esta zona habita el 51,9% de la población de Chile (Censo 2002) y se desarrollan las actividades económicas más importantes del país y más demandantes de agua: la minería, la agricultura, la industria y el consumo de agua potable.

En nuestro país, hasta 1996, el sector agrícola demandaba el 81% del las aguas destinadas al uso consuntivo, estimándose que al año 2017, se reduciría al 76,9% del total y se prevé que el sector industrial aumentará el uso de agua consuntiva en un 4,3%. Todo lo anterior se producirá en un escenario de agricultura exportadora, en donde el uso del agua de riego es el pilar fundamental para su éxito, por lo tanto el uso eficiente de los recursos hídricos y las prácticas de riego serán los principales objetivos a mejorar.

La práctica del riego implica poder responder a tres preguntas básicas: ¿cuánto regar?, ¿cuándo regar? y ¿cómo regar? La adecuada respuesta a estas preguntas permitirá obtener una alta producción y calidad de producto, disminuir los costos de energía y mano de obra involucradas en el riego y evitará la contaminación de acuíferos por percolación de fertilizantes. Las respuestas a ¿cuándo y cómo regar?, se obtienen a partir de un buen sistema de programación y control de riego. Para ello se debe determinar adecuadamente la demanda neta y bruta de agua que requiere el cultivo, de acuerdo a las características climáticas y fenológicas de este, y conocer la capacidad de retención de agua del suelo. La respuesta a ¿cómo regar? corresponde a la selección del sistema de riego más adecuado a las condiciones del cultivo, del suelo y disponibilidad de agua.

El presente manual está destinado a profesionales y técnicos que estén incursionando en el tema de riego en nuestro país. En este documento encontrarán un apoyo para responder adecuadamente las tres preguntas básicas ya mencionadas.

2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA REGADAS EN CHILE

Las necesidades de riego están condicionadas por factores climáticos. Por una parte, están aquellos factores que definen las necesidades de agua de las plantas, o su evapotranspiración, tales como la radiación solar, la temperatura el viento y la humedad relativa entre otros factores. Por otro lado están las precipitaciones, tanto en distribución y magnitud, que determinan la magnitud del aporte natural de agua para satisfacer las necesidades de las plantas.

En términos simples, las necesidades de riego quedan definidas por:

$$NR = ET - Pp$$

Donde, NR, corresponden a las necesidades de riego, ET es la evapotranspiración del cultivos y Pp, las precipitaciones. Si para un período dado la ET es superior a las precipitaciones, entonces será necesario regar, para satisfacer los requerimientos hídricos de las plantas.

El clima de Chile comprende un amplio rango de condiciones, a través de una gran escala geográfica que se extiende por casi 40 grados de latitud. Generalizando, al analizar los diferentes territorios de la geografía de Chile, el norte tiene un clima más seco con temperaturas relativamente altas, mientras que el sur posee un clima más fresco y más húmedo. La precipitación es más frecuente durante los meses de invierno. Así por ejemplo, entre las latitudes sur 18,3° a 30°, las precipitaciones son muy bajas, en esta zona las precipitaciones pueden fluctuar entre los 0,9 y 17 mm en zonas costeras del norte grande y los 119 mm anuales, en la localidad de La Serena. Más hacia el sur, por ejemplo entre las latitudes 32° y 38° sur, las tasas de precipitación fluctúan entre 300 y 1276 mm/año. De Concepción al sur (latitud 38° a 46° sur): las lluvias se hacen mucho más fuertes, llegando a los 2.593 mm anuales, en Valdivia.

La distribución y cantidad de las precipitaciones definen la magnitud y la longitud de la estación seca, entendiéndose como tal aquellos meses en que las precipitaciones son inferiores a la evapotranspiración. La estación seca normalmente corresponde al período de primavera verano, por lo que se requiere de riego para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas. En la **Figura 1**, a modo de ejemplo se presenta la distribución anual de las precipitaciones y de la evapotranspiración, representada por la evaporación de bandeja clase A, para la provincia de San Felipe, Región de Valparaíso. Esta zona presenta un período seco de 8 meses, el cual se extiende de Septiembre a Abril, período en el cual los requerimientos hídricos de los cultivos se deben suplir mediante riego.

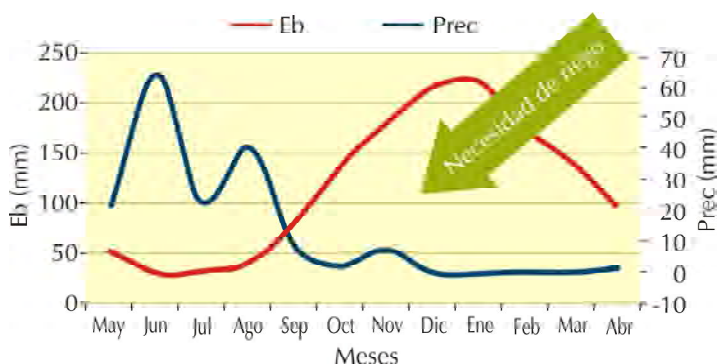


Figura 1. Balance entre las precipitaciones y la evapotranspiración de bandeja con datos de la estación meteorológica de la Escuela Agrícola de San Felipe, ubicada en la parte alta del Valle del Aconcagua.

En la **Figura 2** aparece la distribución espacial del número de meses secos a lo largo de nuestro país. El período seco disminuye de norte a sur. La principal zona de producción frutícola de Chile, que se extiende desde la región de Coquimbo hasta la región del Maule, presenta un período seco que varía entre 10 y 5 meses al año, respectivamente. Lo anterior indica que en el desarrollo de la fruticultura, la necesidad de contar con agua de riego es determinante.

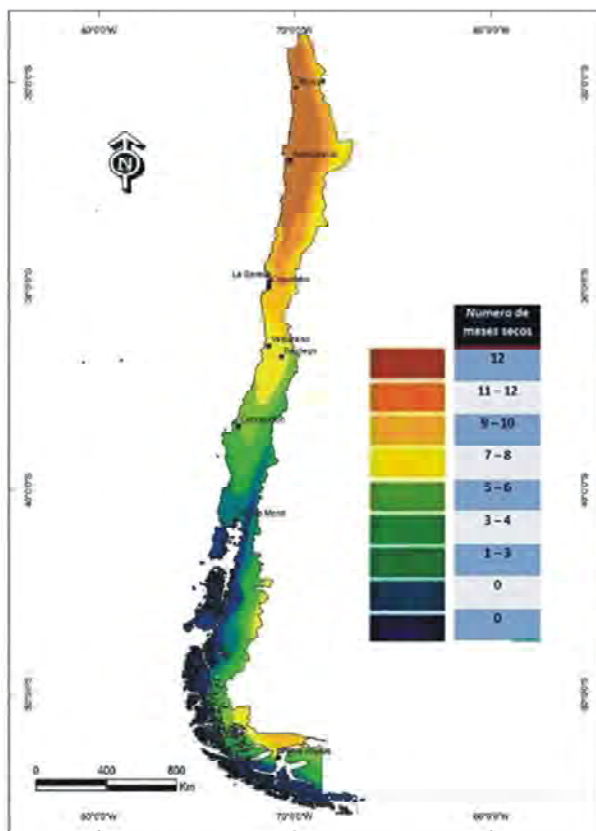


Figura 2. Distribución del número de meses secos en Chile. Adecuado de Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe, (adaptada de Verbist *et al.*, 2010).

2.1 Variación interanual de la evapotranspiración y de las precipitaciones

Como ya se ha indicado las necesidades de riego quedan definidas por la magnitud de la evapotranspiración y la magnitud de las precipitaciones. Ambos factores presentan una variabilidad espacial, es decir cambian de acuerdo a la latitud y la longitud, presentan una variabilidad anual (entre meses del año) y una variabilidad interanual (entre años).

Conocer esta variabilidad es de especial relevancia para la estimación de las necesidades de riego.

2.1.1 Evapotranspiración

Las características climáticas que condicionan la evapotranspiración de los cultivos, son la radiación, temperatura, la humedad relativa, el viento y características propias del cultivo, tales como el área foliar, su arquitectura, distribución de estomas, entre otros. El efecto climático queda reflejado en la evapotranspiración de referencia (ET_o) que engloba los parámetros antes indicados, sin incluir el factor planta, y da una muy buena idea del poder de evapotranspiración de la atmósfera en diferentes localidades y épocas del año.

La ET_o puede ser calculado a partir de datos meteorológicos, utilizando el método FAO Penman-Monteith o un evaporímetro de bandeja clase A.

En general, en Chile, los mayores valores de ET_o, se presentan entre los meses de diciembre, enero y febrero y los menores entre los meses de junio y julio (**Figura 3**). La variación interanual de la evapotranspiración, para una localidad determinada, es relativamente baja, como se puede ver en la figura 3, ya que un componente muy importante que define la ET_o, como es la radiación solar, depende de la latitud.

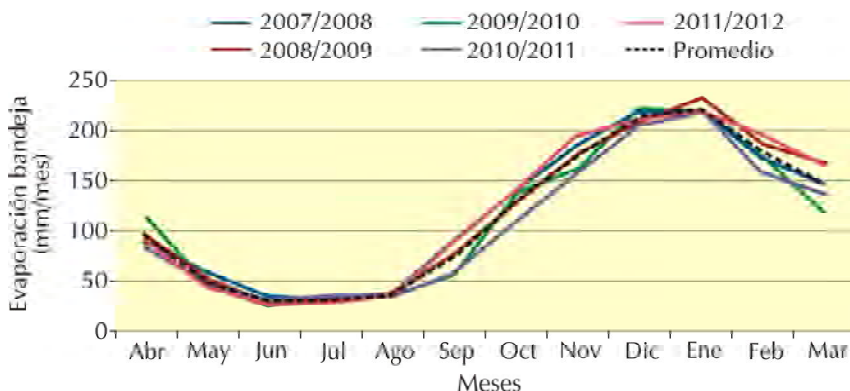


Figura 3. Variación anual e interanual de la ET_o la provincia de San Felipe, Región de Valparaíso.

Fuente: Escuela Agrícola de San Felipe.

Dado que la variación interanual de la ETo es baja, para realizar balances hídricos y determinar necesidades de riego, es posible utilizar valores promedio de ETo (anuales o mensuales según sea el caso), de un cierto número de años, normalmente entre 5 a 10 años.

2.1.2 Precipitaciones

A diferencia de lo que ocurre con la evapotranspiración donde la variación interanual es baja, en las precipitaciones se produce una gran variabilidad, tanto en su distribución anual como interanual, como lo ilustra la **Figura 4**. En esta figura se muestra la variación anual e interanual para una serie de 6 años en la Localidad de San Felipe (Valle de Aconcagua).

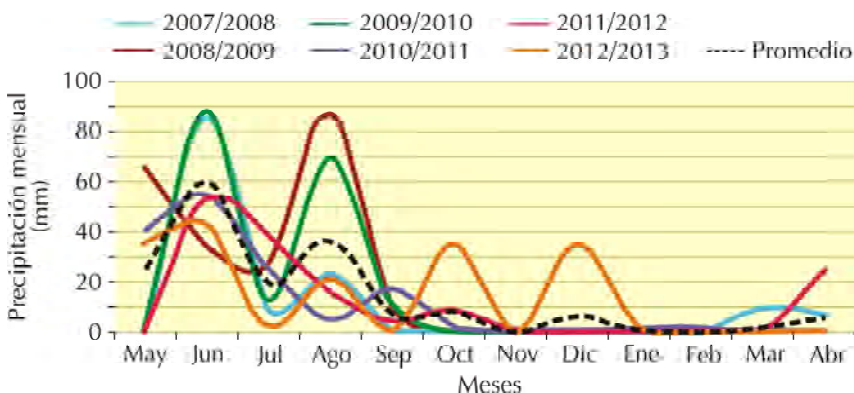


Figura 4. Distribución anual e inter anual de las precipitaciones en la provincia de San Felipe, Región de Valparaíso.

Fuente: Escuela Agrícola de San Felipe.

Dado que las precipitaciones tienen una alta variabilidad, la determinación de su valor medio no tiene ninguna significación desde el punto de vista de satisfacción de las necesidades de riego de los cultivos. Para realizar un balance hídrico, que determina las necesidades de riego, no es posible utilizar valores promedio de las precipitaciones, es necesario conocer la magnitud de las precipitaciones considerando un cierto grado de probabilidad de ocurrencia. Con fines de riego es necesario determinar la magnitud de precipitaciones con un 85% de proba-

bilidad de ocurrencia. Esto quiere decir que en una serie histórica de 100 años, solo en 15 de ellos se obtendrá una magnitud de precipitaciones inferiores a la calculada. Desde el punto de vista de probabilidades, el valor promedio, significa que en una serie de 100 años, solo en cincuenta años se obtendrá un valor igual o superior al promedio, y en el resto de los años las precipitaciones serán inferior al promedio.

Precipitación 85% de probabilidad de ocurrencia

En el caso de las precipitaciones, entonces, es necesario realizar un cálculo de probabilidades de ocurrencia, ya sea a nivel anual o mensual, según sea el caso. El análisis probabilístico de datos exige muestras totalmente aleatorias, es decir, muestras sin sesgo, independientes y homogéneas. Por tanto, los registros utilizados deben ser lo más extensos que sea posible, con el fin de reducir el error en los resultados (por ejemplo entre 10 y 20 años).

En el **Cuadro 1** se presentan algunas de las ecuaciones que se utilizan para calcular la probabilidad de igualar o exceder una cierta precipitación en un número de años determinado.

Cuadro 1. Ecuaciones para calcular probabilidades de excedencia u ocurrencia de una precipitación.

Nombre	Año	Probabilidad de excedencia (P)
California	1923	$\frac{m}{N} (*)$
Hazen	1930	$\frac{2m - 1}{2N}$
Weibull	1939	$\frac{m}{N+1}$

(*) N= número total de valores de la muestra;
 m= número de orden de los valores ordenados de mayor a menor.

En el **Cuadro 2** se presenta un ejemplo para estimar cual sería la precipitación de una localidad con un 85% de probabilidad de excedencia (PO). En el caso del ejemplo que hacemos referencia (cuadro 2), se puede observar que las precipitaciones pueden fluctuar entre los 1.092 y 118 mm/año. El valor promedio es de 704,3 mm/año, en este caso (PO 50%). En el mismo cuadro se puede ver que a medida que aumenta la probabilidad de ocurrencia disminuye la magnitud de la precipitación. La precipitación 85% corresponde a 335,8 mm, y se obtuvo de la interpolación entre la probabilidad 78,6% (486,1 mm) y la 85,5% (318,3 mm).

Cuadro 2. Estimación precipitación anual con 85% de probabilidad de excedencia. Estación Coltauco - VI Región, a través del método de Weibull.

Numeral	Año	Precipitación (mm)	Probabilidad Ocurrencia (PO) Weibull
1	1997	1091,5	7,1
2	2002	933,7	14,3
3	2008	910,6	21,4
4	2000	867,9	28,6
5	2001	826,5	35,7
6	2005	822,6	42,9
7	2006	704,3	50,0
8	1999	581,5	57,1
9	2009	558,2	64,3
10	2003	525,3	71,4
11	2004	486,1	78,6
12	2007	318,3	85,7
13	1998	117,9	92,9
PO (85%)		335,8	

$$N = 13 \quad PO = (m/(N+1)).$$

3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El suelo es un sistema poroso, heterogéneo, polifacético y disperso. Las fases que constituyen el suelo son la fase sólida, la fase líquida y la fase gaseosa (**Figura 5**). La fase sólida, o matriz, está compuesta por material mineral y materia orgánica. Parte de este material está constituido por partículas de muy pequeño tamaño, las que en su conjunto tienen una gran superficie específica. La fase líquida está constituida por el agua del suelo, la que siempre contiene sustancias disueltas, por lo que debería llamársele con mayor propiedad solución suelo. La fase gaseosa está constituida por la atmósfera del suelo y por diferentes gases, principalmente oxígeno y anhídrido carbónico.

En el suelo las partículas sólidas sufren ciertos arreglos y conformaciones, formando agregados, los que dejan espacios entre ellos, denominados poros. Es en estos espacios porosos donde se ubica el agua y el aire.

La proporción relativa de estas tres fases en el suelo no es fija, sino que está cambiando constantemente, dependiendo de variables climáticas, vegetación y manejo. Una composición idealizada de los componentes del suelo se muestra en la figura 5.



Figura 5. Componentes del suelo. Aproximadamente el 50% del suelo está ocupado por la fase sólida. El otro 50% corresponde a los poros, los que se encuentran ocupados por agua y aire.

La parte sólida del suelo está formada por la mezcla de partículas, orgánicas e inorgánicas, de diferente tamaño y características. Dentro de las inorgánicas, se reconocen tres fracciones por tamaño, denominadas arena, limo y arcilla y cada una tiene diferentes características químicas y físicas, lo que le otorga propiedades diferentes al suelo.

Textura

De acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), las partículas sólidas del suelo se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño (**Cuadro 3**).

La proporción relativa en que se encuentra la arena, el limo y arcilla en el suelo se denomina textura. Por ejemplo, se dice que un suelo es de textura arenosa, gruesa o liviana cuando tiene gran cantidad de arena, poco limo y arcilla, asimismo la textura de un suelo es franca cuando tiene bastante limo y arena y poca arcilla. Un suelo es de textura arcillosa o pesada cuando tiene una gran proporción de arcilla y limo y muy poca arena (**Figura 6**).

Cuadro 3. Tamaño de partículas y su clasificación según el USDA.

Fracción	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	2,00 - 1,00
Arena gruesa	1,00 - 0,50
Arena media	0,50 - 0,25
Arena fina	0,25 - 0,10
Arena muy fina	0,10 - 0,05
Limo	0,05 - 0,002
Arcilla	< 0,002



Figura 6. Textura de los suelos: según proporción de arena, limo y arcilla.

La textura de suelo se puede determinar ya sea de una manera sensorial o al tacto, lo que se puede realizar *in situ*, o bien mediante análisis de laboratorio.

La determinación textural al tacto es una técnica de terreno de fácil aplicación una vez adquirida cierta práctica para distinguir las diferentes partículas. En la **Figura 7**, se presenta un diagrama que puede ser utilizado como guía para determinación de la textura al tacto.

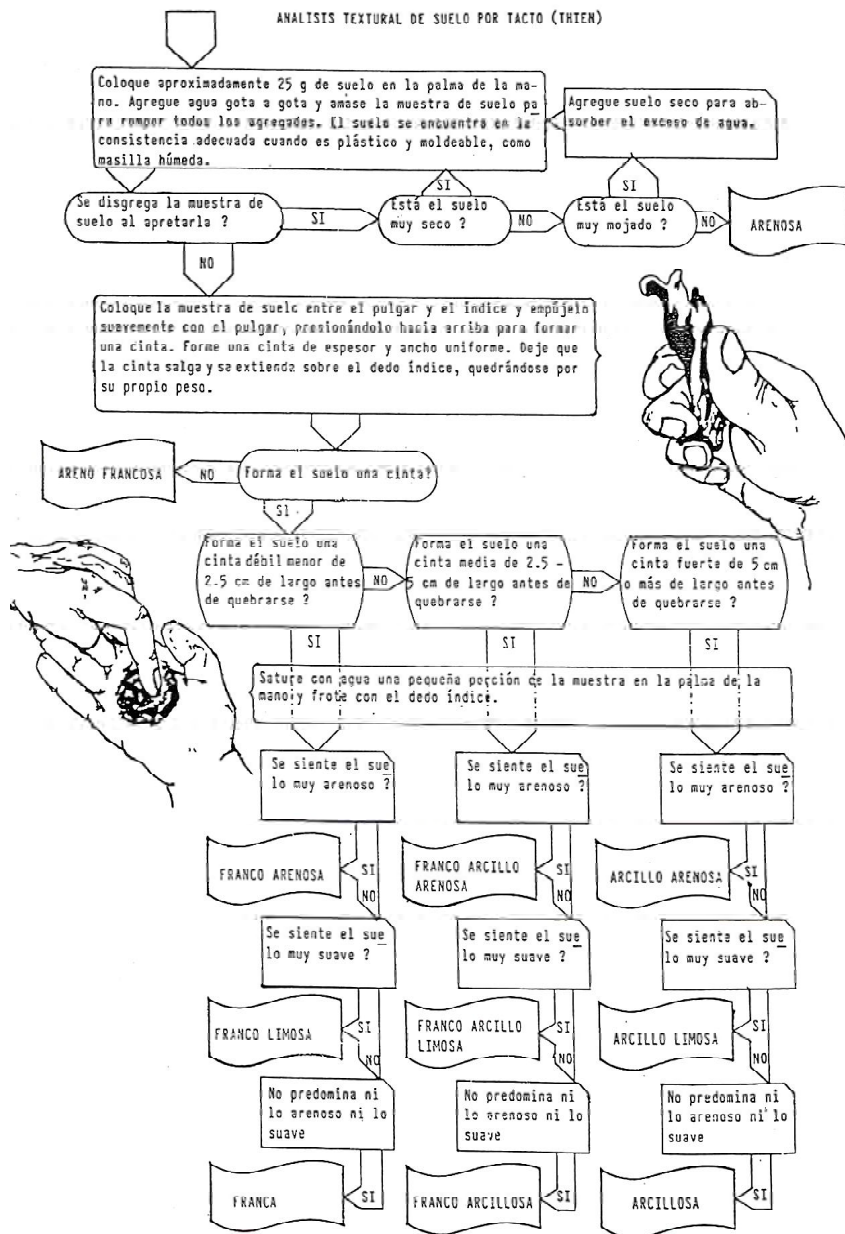


Figura 7. Pauta para determinación de textura al tacto.

La determinación de la textura del suelo también se puede realizar mediante análisis cuantitativo en laboratorio. El uso de técnicas de laboratorio (método de Bouyucos por ejemplo), permite determinar el porcentaje real de arena, limo y arcilla presente en una muestra de suelos, expresado en porcentaje. Una vez separadas las diferentes partículas, se puede determinar la clase textural del suelo, mediante el uso del "triángulo textural", siendo el más usado el del USDA (**Figura 8**), que permite determinar la textura del a partir del porcentaje de las diferentes partículas .

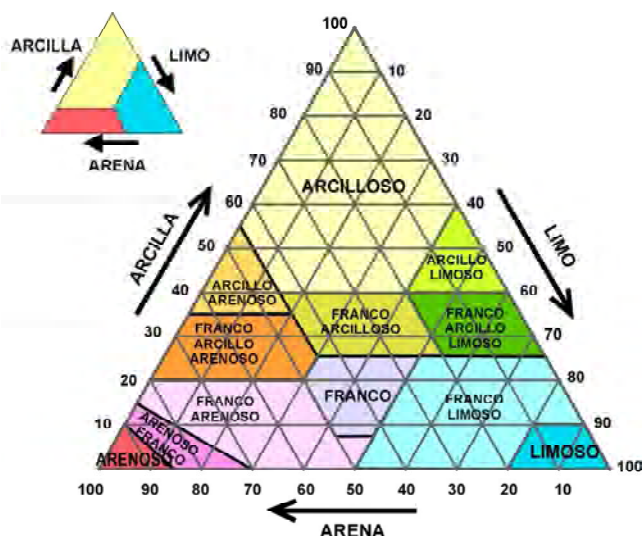


Figura 8. Diagrama triangular de las clases texturales básicas según el tamaño de las partículas, Fuente: USDA.

Estructura

Estas partículas elementales (arena, limo y arcilla y las partículas orgánicas) se agrupan entre sí constituyendo agregados, lo que corresponde a la estructura del suelo.

La agregación del suelo puede asumir diferentes modalidades, lo que da por resultado distintas estructuras y por ende diferentes propiedades del suelo. La estructura del suelo es una característica modificable, dependiendo del manejo que se le aplique.

Se distinguen cuatro tipos de estructura.

1. **Laminar:** Su formación comúnmente es producto del laboreo de suelos de texturas moderadamente finas. Sus agregados son aplanados, como capas o láminas, los cuales comúnmente están sobrepuestos o traslapados. Sus características son: poseer un alto grado de compactación, poca capacidad de percolación, usualmente posee poca materia orgánica. Las raíces no pueden penetrarlos por lo que tienden a crecer en sentido horizontal.
2. **Prismática:** los agregados tienen el eje vertical 5 a 6 veces de mayor tamaño que el eje horizontal. Su formación comúnmente se asocia a drenaje restringido y a un marcado humedecimiento-desecamiento estacional. Está asociada a texturas arcillosas.
3. **De bloques:** los ejes horizontales y verticales son de dimensiones similares, de tal manera que los agregados son aproximadamente equidimensionales.
4. **Granular:** Son esferas porosas, imperfectas, de tamaño pequeño, de caras redondeadas y de superficies irregulares. Por lo general se aprecian en horizontes superficiales. Estas unidades son penetrables por las raíces finas, presentan un buen balance agua/aire. El exceso de agua drena fácilmente. Su contenido de materia orgánica es, en general, moderado (3 a 5%).

En la **Figura 9** se presentan un dibujo que caracteriza los cuatro tipos de estructuras.

La estructura del suelo, en cierto modo, modifica las propiedades físicas que son controladas por la textura del suelo, como por ejemplo la relación entre macro y microporos.

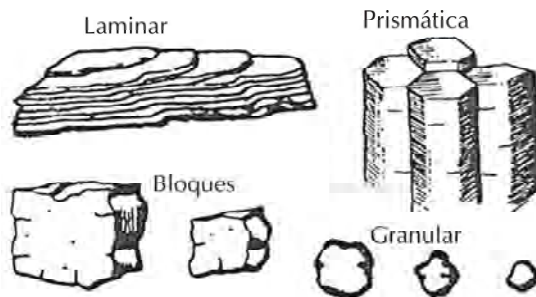


Figura 9. Estructuras del suelo.

Los macroporos son esenciales para el flujo del aire que suministra el oxígeno para el crecimiento de raíces y la fauna edáfica y para el movimiento rápido del agua. Los microporos, en cambio, prioritariamente retienen el agua que en definitiva utilizará la planta. En consecuencia un balance apropiado de tamaño de poros refleja mejor la relación posible el suministro de agua y aire.

Por lo tanto, el grado de estructuración es un factor importante en la dinámica del agua en el suelo, en la aireación y en la facilidad con que se desarrollan las raíces.

La estructura del suelo puede ser modificada por las labores culturales que se realicen. Por ejemplo, el excesivo paso de maquinaria agrícola puede producir serios problemas de compactación. La compactación afecta directamente la estructuración del suelo, destruyendo principalmente los macroporos, donde ocurre el movimiento del agua y del aire. Esto afecta el crecimiento y desarrollo radicular, ya que existe una disminución de la actividad biológica alrededor de las raíces por un insuficiente aporte de oxígeno y un aumento de los niveles de dióxido de carbono.

3.1 Relaciones masa volumen en los suelos

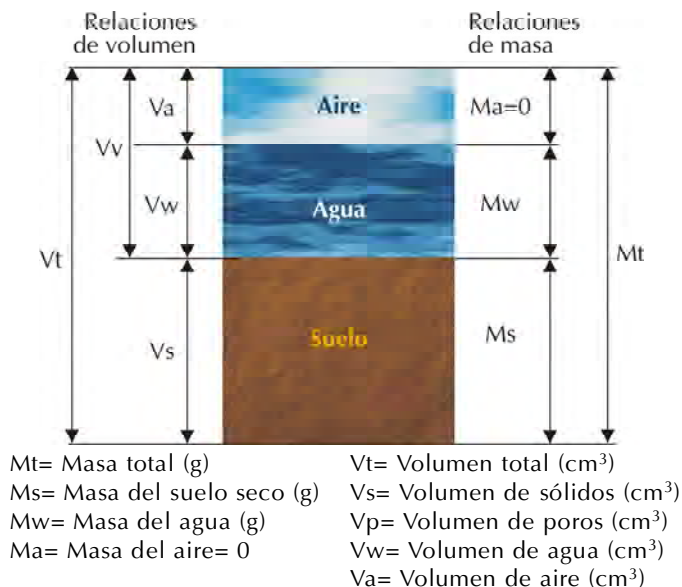
Dado que el suelo es un medio poroso, es decir existen espacios entre las partículas sólidas, se pueden establecer una serie de relaciones masa-volumen, que son de gran utilidad en las prácticas de manejo, tanto del suelo como del agua de riego. La **Figura 10** presenta un diagrama esquemático del suelo, útil para definir las relaciones de volumen y de masa entre los tres componentes del suelo (aire, agua, partículas).

A partir de este diagrama se pueden definir los términos que se usan generalmente para expresar las relaciones de los tres constituyentes básicos del suelo, éstos son:

3.1.1 Densidad aparente (D_b , g/cm^3)

El término densidad refleja la cantidad de masa que ocupa un volumen determinado. Según esta definición la densidad aparente corresponde

Figura 10. Diagrama esquemático del suelo como un sistema de tres fases.



a la masa de sólidos (partículas) de un volumen total conocido de suelo. Se expresa en g/cm^3 . El volumen total de suelo corresponde al ocupado por las partículas sólidas y por los poros. La densidad aparente queda definida por la siguiente expresión:

$$D_b = \frac{M_s}{V_t}$$

Donde:

M_s = Masa del suelo seco (g).

V_t = Volumen total (cm^3).

La densidad aparente al igual que la textura influye en la retención de humedad del suelo y en la profundidad radicular que puedan desarrollar los cultivos. En un suelo arenoso la densidad aparente (D_b) es alta, mientras que en un suelo arcilloso la D_b es baja, siempre que este último no se encuentre compactado. La densidad aparente puede ser alterada por las labores de cultivo: ya sea disminuyéndola o aumentándola (compactación). En el **Cuadro 4** se presentan valores normales de densidad aparente para diferentes clases texturales de suelo. Los inter-

Cuadro 4. Valores promedio y la variación de algunas propiedades físicas de suelos de diferentes texturas. CA, Capacidad de aire del suelo, contenido de aire del suelo a CC (este término también se denomina macroporosidad); Db, densidad aparente; CC, capacidad de campo, PMP, porcentaje de marchitez permanente, agua disponible total (ADT).

Textura del suelo	Porosidad Total		CA g/cm ³	Db %	CC %	PMP		ADT=CC-PMP (mm/m de suelo)	ADT
	%	%				Gravimétrico %	%		
Arenoso	38 (32-42)		23,15	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	80 (60-100)	
Franco arenoso	43 (40-47)		22	1,5 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-8)	120 (90-150)	
Franco	47 (43-49)		16,2	1,4 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	170 (140-200)	
Franco Arcilloso	49 (47-51)		12,55	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	190 (160-220)	
Arcillo Arenoso	51 (49-53)		10,7	1,3 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (13-17)	210 (180-230)	
Arcilloso	53 (51-55)		9,25	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	230 (200-250)	

valos normales son consignados entre paréntesis. En el mismo cuadro se indican valores típicos de porosidad total y de capacidad de aire (también denominado macroporosidad), y capacidad de retención de agua del suelo según su textura.

La densidad aparente del suelo puede ser medida en terreno, mediante el uso de un cilindro de volumen conocido (**Foto 1**). Los cilindros se hincan en el suelo, hasta completar el volumen. Posteriormente la muestra se lleva a estufa de secado y se determina el peso seco y el peso húmedo de la muestra. El peso seco de la muestra y el volumen se utilizan para determinar la densidad aparente. El peso húmedo se utiliza en la determinación del porcentaje de humedad del suelo. Es conveniente que la determinación de la densidad aparente se realice con el suelo en condiciones de capacidad de campo, para realizar estimaciones de otros parámetros físicos de importancia como es la capacidad de aire del suelo (CA), como se verá más adelante.



Foto 1. A la izquierda cilindros de volumen conocido para la medición de densidad aparente. A la derecha, barreno de martillo para hincar los cilindros en el suelo.

3.1.2. Densidad real (D_r)

El término densidad real se refiere a la relación entre la masa de las partículas sólidas del suelo, y el volumen que ocupan estas partículas, excluyendo el espacio poroso. Para un suelo dado, será prácticamente constante a lo largo del tiempo, al ser independiente de la estructura y variar poco con la naturaleza de las partículas.

En la mayoría de los suelos minerales la densidad real es alrededor de 2,65 g/cm³ (**Cuadro 5**), valor que, en términos prácticos se puede utilizar en gran parte de los suelos, salvo en los que contengan mucha materia orgánica como son los suelos de origen volcánico o Andisoles. La presencia de materia orgánica reduce el valor de la densidad real.

Cuadro 5. Densidad real (Dr) de distintos constituyentes minerales del suelo.

Constituyente mineral	Dr (g/cm ³)
Ortoclasa	2,50 -2,60
Mica	2,80 -3,20
Cuarzo	2,50 - 2,80
Humus	1,37

La densidad real se puede obtener de la relación siguiente:

$$Db = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Ms= Masa del suelo seco después de 24 a 48 hrs a 105°C (g).

Vs= Volumen ocupado por el material sólido (cm³).

Las determinaciones de densidad real deben ser hechas en un laboratorio especializado.

3.1.3 Porosidad Total (P) y Capacidad de aire del suelo (CA)

La porosidad total corresponde a la fracción de volumen del suelo que está ocupada por aire o agua y se puede estimar a partir de la densidad real y de la densidad aparente del suelo:

$$P (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{Db}{Dr}\right)$$

Donde:

Db = Densidad aparente (g/cm³).

Dr = Densidad real (g/cm³).

La porosidad se relaciona con la textura, pero depende también en gran medida del grado de agregación (estructura), influenciado por el contenido de materia orgánica o la compactación que el suelo presente.

La Capacidad de Aire del suelo (CA), corresponde al porcentaje de aire que tiene el suelo, cuando este se encuentra con un contenido de humedad a Capacidad de Campo (CC), cuya definición se indicará más adelante.

La CA del suelo es un buen estimador de la macroporosidad del suelo (MP), por lo que muchas veces se habla indistintamente de CA o MP. La CA (o MP) del suelo se puede estimar de la siguiente manera:

$$CA = PT\% - CC\% \times Db$$

Donde:

CA = Capacidad de aire del suelo; contenido de aire del suelo a CC.

PT% = porosidad total del suelo.

CC% = contenido gravimétrico de agua a capacidad de campo en base a peso (%).

Db = densidad aparente del suelo (g/cm^3).

3.1.4 Contenido de humedad en el suelo

El contenido de humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua (expresada como masa (g) o volumen (cm^3)) que se halla presente en el suelo en un momento determinado y se puede determinar en forma gravimétrica (en base a la masa del agua presente en una muestra de suelo) o bien, en forma volumétrica, es decir en base al volumen de agua presente en una muestra.

Contenido gravimétrico de agua: Corresponde a la masa de agua (M_w) en relación a la masa de partículas de suelo seco (M_s), obtenida tras mantener la muestra de suelo en una estufa de secado a 105°C , durante 24 hrs, hasta peso constante. El contenido gravimétrico de humedad se puede obtener de la siguiente expresión:

$$\omega (\%) = \frac{Mw}{Ms} \times 100$$

Donde:

- ω = Contenido gravimétrico del agua (%).
- Mw = Masa de agua presente en la muestra en gramos (g).
- Ms = Masa de suelo seco a 105°C en gramos (g).
- Mw = Mt-Ms (diferencia entre la masa del suelo húmedo y la masa del suelo seco).
- Mt = Masa total húmedo (g).

La masa del agua se obtiene por diferencia de peso que se observa entre la muestra de suelo húmeda (Mt) y la misma muestra secada a estufa (Ms).

Contenido volumétrico de agua: Otra forma de expresar el contenido de humedad es utilizando relaciones de volúmenes entre el agua y el suelo de la muestra. El contenido de humedad volumétrico se determina estableciendo una relación entre el volumen de agua (Vw, en cm³) contenido en la muestra de suelo y el volumen que tiene la muestra de suelo (Vt, en cm³). El contenido de agua en base a volumen se determina con la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{Vw}{Vt} \times 100$$

El uso del contenido volumétrico de agua (θ) es más conveniente que el gravimétrico, pues se adapta directamente al cálculo de cantidades de agua a agregar al suelo, a través del riego, la lluvia o las cantidades de agua extraídas del suelo por consumo de los cultivos, sin embargo, su determinación en terreno es compleja.

El contenido volumétrico de agua puede obtenerse a partir del contenido gravimétrico mediante la siguiente relación:

$$\theta\% = \omega\% \times Db$$

Donde:

D_b = Densidad aparente (g/cm^3).

ω = Contenido gravimétrico del agua (%).

Hoy en día, el desarrollo tecnológico permite medir directamente el contenido volumétrico de agua en el suelo (θ), utilizando sondas electromagnéticas del tipo FDR (Frequency domain Refractometry), como se verá en el capítulo 7.

Contenido de humedad como lámina de agua (h).

Otra forma de expresar el contenido de humedad de un suelo es como una lámina o altura de agua.

$$h = \frac{\omega (\%)}{100} \times \frac{D_b}{D_w} \times H$$

Donde:

h = Altura de agua (mm).

ω = Contenido gravimétrico de agua (%).

D_b = Densidad aparente (g/cm^3).

D_w = Densidad del agua = 1 g/cm^3

H = Profundidad del suelo (mm).

O bien, utilizando directamente el contenido volumétrico de agua

$$h = \frac{\theta \%}{100} \times H$$

Donde:

h = Altura de agua (mm).

θ = Contenido volumétrico de agua (%).

H = Profundidad del suelo (mm).

3.1.5 Ejemplo de cálculo de densidad aparente, porosidad total y capacidad de aire del suelo

Se pretende realizar la determinación de la densidad aparente, la porosidad total y la capacidad de aire de un suelo de textura franca. Previo a la medición el suelo fue saturado mediante la aplicación de agua

para dejar el suelo en condiciones de capacidad de campo. Se cuenta con un cilindro de 10 cm de diámetro y 10 cm de alto.

El volumen del cilindro es de 785 cm³. (Volumen = diámetro 2 x 3,14/ 4) x altura del cilindro).

La masa de suelo húmedo que tiene el cilindro es de 1.366 g La masa de suelo seco en estufa a 105° C por 24 hrs., es de 1.138 g.

La densidad aparente del suelo es:

$$Db = Ms / Vt$$
$$Db = 1.138 \text{ g} / 785 \text{ cm}^3 = 1,45 \text{ g/cm}^3$$

La porosidad total del suelo (PT%), se estimará considerando una densidad real de 2,65 g/cm³.

$$PT = (1 - Db/Dr) \times 100$$
$$PT \% = (1 - 1,45/2,65) \times 100 = 45,3 \%$$

El contenido gravimétrico de agua, con el suelo en condiciones de capacidad de campo, es de:

$$\omega (\%) = \frac{Mw}{Ms} \times 100$$
$$\omega \% = (1.366 - 1.138) / 1.138 \times 100 = 20\%$$

La Capacidad de aire del suelo es:

$$CA \% = PT \% - CC \% \times Db$$
$$CA \% = 45,3 - 20 \times 1,45 = 16\%$$

Como la CA es un estimador de la macroporosidad (MP), la macroporosidad del suelo es de 16%.

3.2. Propiedades físicas del suelo y desarrollo de raíces

El desarrollo radical de las plantas depende de características genéticas propias de la especie. Sin embargo, su expresión puede ser alterada por condiciones ambientales, en particular por las propiedades físicas del suelo, tales como estructura, textura, densidad aparente, distribución y tamaño de poros y las características morfológicas de los perfiles (**Figura 11**). Esta última incluye la estratificación que presente el suelo y la profundidad efectiva, pero el efecto de estos factores sobre el crecimiento del sistema radical de las plantas es indirecto.



Figura 11. Factores que afectan indirectamente el desarrollo radical de las plantas y la producción.

Los factores que directamente afectan el desarrollo radical y el nivel productivo de las plantas, son las condiciones hídricas, térmicas, mecánicas y de aireación, que se generan en los suelos como consecuencia de la interacción de los factores indirectos antes mencionados y de las prácticas de manejo de riego utilizadas (**Figura 12**).

De las cuatro condiciones directamente relacionadas con el desarrollo radical, en la mayor parte de los casos, la condición hídrica (agua en el suelo) es la que controla el comportamiento de las restantes. La interrelación agua-aireación es opuesta a la interrelación agua-resis-



Figura 12. Factores que afectan directamente el desarrollo y el crecimiento de las raíces y de las plantas.

tencia mecánica, en sus efectos sobre la planta. De este modo, al incrementarse el contenido de humedad, disminuye la resistencia mecánica del suelo al crecimiento radical (efecto deseable). Pero simultáneamente puede reducirse la aireación y llegar a un cuadro de asfixia radical, lo cual es un efecto indeseable. Una interpretación similar debe ser considerada para la interrelación agua-temperatura versus agua-resistencia mecánica. Así por ejemplo, en épocas frías, la mantención de contenidos de humedad relativamente altos, conduce a una situación de suelo más frío o más difícil de calentar. La menor temperatura del suelo incidirá, a su vez, en una menor actividad metabólica de las raíces.

Los efectos de la aireación del suelo sobre el crecimiento de las plantas, pueden ser separados en dos grupos: primero, el efecto sobre el estado de oxidorreducción de los constituyentes del suelo, los cuales a su vez influyen sobre el crecimiento y productividad de los cultivos; y segundo, el efecto directo sobre las condiciones fisiológicas de las plantas, particularmente el de sus sistemas radicales. Por ejemplo, se ha establecido que niveles de capacidad de aire del suelo (macroporos) inferiores a un 10-15% pueden inhibir el crecimiento del sistema radicular de la mayoría de las plantas, sin embargo existen cultivos, que requieren valores mayores a los indicados, como el palto que requiere un 25% y la vid de mesa que requiere 18% (**Fotos 2a, 2b, 2c y 2d**).

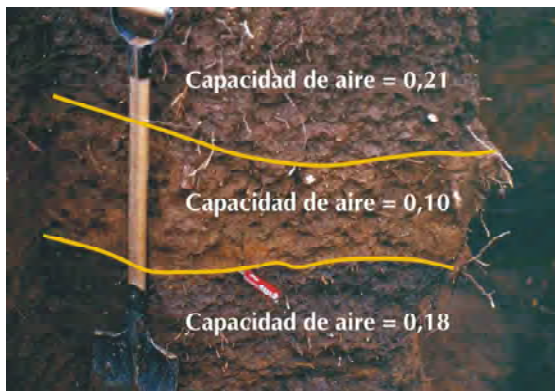


Foto 2a. Desarrollo del sistema radicular del palto en un suelo con una capacidad de aire del suelo superior al 20% (izquierda) y en un suelo con una capacidad de aire del suelo inferior al 15% (derecha).



Foto 2b. Plantas de palto creciendo en un suelo con una capacidad de aire del suelo superior al 25% (izquierda) y en un suelo con una capacidad de aire del suelo inferior al 10% (derecha).

Foto 2c. Desarrollo del sistema radicular de vid de mesa en un suelo con una capacidad de aire (C.A.) del suelo superior al 20% (horizonte superior) y en un suelo con una capacidad de aire del 10% (horizonte central).



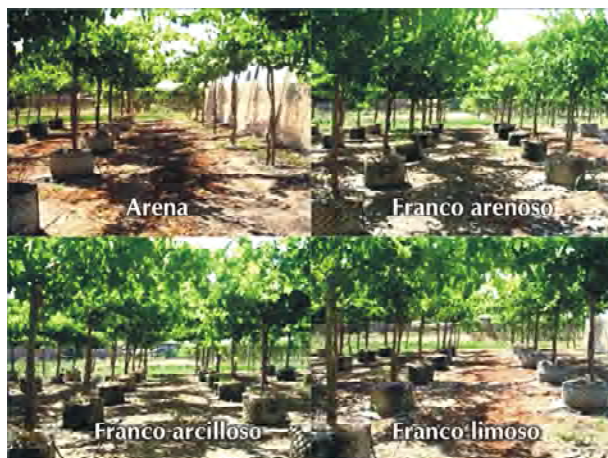


Foto 2d.

Plantas de vides de mesa creciendo en un suelo con una capacidad de aire (C.A.) del suelo superior al 26% (izquierda superior) y en un suelo con una capacidad de aire del suelo inferior al 10% (derecha inferior).

Tanto la estructura, como la densidad aparente y la distribución del tamaño de poros pueden ser alteradas por prácticas de manejo de suelo que conduzcan a procesos de compactación. La compactación del suelo aumenta la densidad aparente y la resistencia mecánica. Al modificarse estos factores, también lo hace la geometría de los poros, disminuyendo los macroporos y aumentando los microporos. Efectos derivados de lo anterior son una mayor compactación (mayor resistencia mecánica), una disminución de la capacidad de aire del suelo (menos macroporos), un aumento de la retención de humedad, una disminución de la velocidad de infiltración, y la disminución de la capacidad de difusión de los gases, entre otros factores.

El crecimiento radical requiere por lo tanto de una adecuada relación suelo-aire en el terreno, asociado a una baja resistencia mecánica. La mantención de estos equilibrios es mucho más compleja en suelos de texturas finas y mal estructurados, o bien en suelos compactados.

La densidad aparente puede servir como un indicador del grado de compactación que tiene el suelo, y su restricción relativa al desarrollo radical de las plantas. El valor de densidad aparente que limita el desarrollo de las raíces no es fijo y puede cambiar con la textura del suelo (**Cuadro 6**), pudiendo presentar mayores valores de densidad aparente los suelos de textura gruesa que los suelos de textura fina.

Cuadro 6. Relación general entre la densidad aparente del suelo (Db, g/cc) y el grado de restricción para el crecimiento de raíces, según la textura del suelo. (Adaptado de NRCS Soil quality Institute, 2000).

Textura de suelo	Db ideal (g/cc)	Db que puede afectar el desarrollo de raíces (g/cc)	Db que afecta el desarrollo de raíces (g/cc)
Arenosa, areno francoso	<1,6	1,69	>1,8
Franco arenosa, franca	< 1,4	1,63	>1,8
Franco areno arcillosa	<1,4	1,60	>1,75
Franco limosa, limosa	<1,4	1,60	>1,75
Franco arcillosa	<1,3	1,60	>1,75
Franco arcillo limosa	<1,1	1,55	>1,65
Areno arcillosa, arcillo limosa (35-45% de arcilla)	<1,1	1,49	>1,58
Arcillosa (>45% arcilla)	<1,1	1,39	>1,47

Dicho lo anterior, es de especial relevancia, previo a realizar una plantación, realizar un estudio de suelos, que permita determinar la variabilidad espacial de sus propiedades físicas, tales como la textura, la secuencia de estratas, y los niveles de densidad aparente, para definir los requerimientos de subsolado que presenta el suelo. Al disminuir la densidad aparente del suelo, producto del subsolado, aumenta la porosidad total, la capacidad de aire del suelo y se disminuye la resistencia mecánica del suelo, mejorando la relación agua-aire, lo que favorece el desarrollo de las raíces.

En resumen, subsolar un suelo compactado presenta los siguientes beneficios, que favorecen el desarrollo de raíces:

- Aumento de la profundidad efectiva de los suelos.
- Aumento de la capacidad de aire del suelo (mayor macroporosidad).
- Disminución de la resistencia mecánica de los suelos.
- Disminución de la densidad aparente.

Los valores del cuadro 6 pueden ser tomados como referenciales para tomar decisiones respecto de realizar o no un subsolado de suelos. Para tomar la decisión de subsolar o no también se puede medir la resistencia mecánica con un penetrómetro (**Foto 3**) la cual idealmente debiera estar bajo 1 MPa, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. En la **Foto 4** se muestra, a manera de ejemplo lo que sucede con el sistema radicular de la vid creciendo en suelos con diferente resistencia mecánica.



Foto 3. Medición de la resistencia mecánica con penetrómetro.



Foto 4. Derecha, raíces de vid creciendo en suelo con resistencia mecánica sobre 1,5 MPa e izquierda raíces, creciendo en suelo con resistencia mecánica bajo 1 MPa.

Para realizar los subsolados de preplantación en forma adecuada, se requiere contar con tractores a oruga de alta potencia y capacidad de tracción, del tipo D9 o D10, para poder realizar una labor en suelo relativamente seco y a una profundidad de trabajo entre 0,7 a 1 m, según necesidad (**Foto 5**).



Foto 5. A la izquierda, tractor orugas D9.
A la derecha, punta del subsolador.

El subsolado se puede realizar también utilizando máquinas retroexcavadoras, a las cuales se les reemplaza el capacho por un sistema de dientes (o garras), que van removiendo el suelo, en la línea de plantación (preplantación) o entre planta (post plantación) (**Foto 6**).



Foto 6. Retroexcavadora utilizada para subsuelo. El capacho original ha sido reemplazado por garras con punta.

El subsolado actúa generando una ruptura de los agregados del suelo, que a su vez genera nuevos espacios porosos. La efectividad del subso-

lado depende, fundamentalmente, de la profundidad de la labor y del contenido de agua que presente el suelo a la hora de efectuarla. Para que se produzca la adecuada ruptura del terreno es fundamental tener un contenido de agua bajo, por lo cual es recomendable hacer esta labor a fines del periodo seco. Por otra parte, es importante efectuar un control de la efectividad de la labor para ver la rotura del suelo y decidir la distancia en que se va a realizar una pasada de otra. Este control se puede realizar con mediciones de densidad aparente o penetrómetro.

3.3. Disponibilidad del agua del suelo

El rango óptimo de contenido de agua para el crecimiento de las plantas generalmente se fija sobre criterios basados en la Humedad Aprovechable del suelo, HA o también conocido como agua disponible total (ADT, **Figura 13**). El límite superior de la ADT se asocia con la capacidad de campo (CC), y el límite inferior, con el porcentaje de marchitez permanente (PMP). El agua no se encuentra igualmente disponible para las plantas en todo el rango de ADT, por lo cual se debe regar solo cuando se agote una fracción de ADT, cantidad de agua que se denomina Agua Fácilmente Aprovechable (AFA).

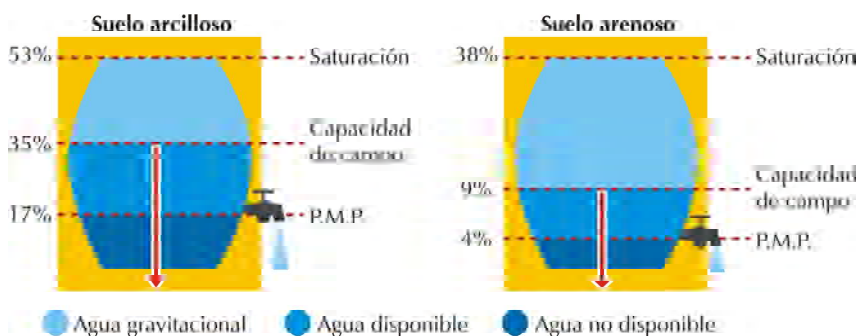


Figura 13. Esquema didáctico del agua disponible total (ADT) en el suelo.

Capacidad de campo

El concepto de Capacidad de Campo se define como "cantidad de agua retenida en un suelo después que el excedente de agua haya drenado y que la tasa de drenaje sea prácticamente nula, lo que se obtiene normalmente dos a tres días después de una lluvia o riego en suelos permeables de estructura y textura uniforme". Este valor se ha considerado normalmente como característico y constante para cada suelo. Este concepto si bien útil, es erróneo, puesto que el proceso de distribución de agua dentro del suelo es un proceso continuo y no presenta cambios bruscos de humedad que permitan decidir si el drenaje prácticamente ha cesado. La **Figura 14** muestra como varía el contenido de humedad de un suelo de textura arcillosa y arenosa, en función del tiempo, luego de haber sido regado a saturación. El concepto de capacidad de campo que se definió es aplicable a suelos de textura gruesa, donde la conductividad hidráulica cae rápidamente. En suelos de textura fina la redistribución del agua en el perfil continúa por un número prolongado de días.

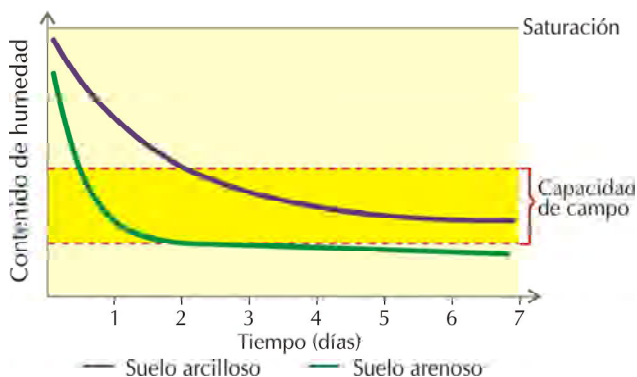


Figura 14. Variación de la humedad del suelo después de haber sido regado a saturación. Las líneas punteadas indican el valor de humedad luego de 2 días de drenaje.

A pesar de estas observaciones, sin embargo, el concepto de capacidad de campo es aceptado como un criterio práctico y útil para fijar el límite superior de la humedad aprovechable. El contenido de humedad a capacidad de campo se expresa normalmente en porcentaje, en base masa (g de agua por gramos de suelo seco). En el Cuadro 4 se presen-

tan valores de Capacidad de Campo, normales para suelos de distintas clases texturales.

El contenido de humedad a capacidad de campo, aún cuando presente las dificultades señaladas está asociado a un cierto valor de energía de retención de agua en el suelo (potencial mátrico). Se acepta normalmente un valor de -33 kPa para definir el contenido de humedad a capacidad de campo.

Para determinar capacidad de campo existen métodos de laboratorio y métodos de terreno. El método de laboratorio más utilizado es el de la olla a presión, donde una muestra disturbada de suelo se satura y se le aplica presión hasta 33 kPa, para luego determinar su contenido de humedad. Este método no siempre representa lo que sucede en terreno, entre otras cosas porque las muestras de suelo han sido disturbadas, es decir se ha destruido su estructura y secuencia textural en el perfil de suelo. Otra forma de determinar este valor es con métodos de terreno, el cual consiste en apretillar un área de 2 x 2 m, a la cual se le aplica, por inundación, agua en cantidades suficientes para mojar todo el perfil de suelo (por ejemplo 1 m). Luego que el agua infiltra, se cubre la zona apretillada con polietileno para evitar evaporación, y al cabo de un mínimo de dos a tres días, para dar tiempo al drenaje interno, se toman muestras de suelo a distintas profundidades para determinar su contenido de humedad a capacidad de campo.

Es necesario tener presente que el valor de capacidad de campo que se mide se ve afectado por los siguientes factores:

- **Textura del suelo.** Mientras más fina es la textura del suelo mayor será el valor de capacidad de campo. En suelos arcillosos es mayor que en suelos arenosos.
- **Tipo de Arcilla.** Si el contenido de arcillas expandibles del tipo 2:1 es grande, mayor será el agua absorbida y retenida por el suelo.
- **Contenido de materia orgánica.** Los suelos orgánicos (trumaos por ejemplo) retienen valores muy altos de humedad, el valor de capacidad de campo puede superar el 100%. En suelos minerales la materia orgánica es muy poca para que ésta presente algún tipo de influencia.

- **Estratificación en el perfil.** La presencia de estratas de permeabilidad variable en el perfil, como estratas de arcilla, arena o piedras, pueden retardar la redistribución del agua en el perfil, y aumentar la capacidad de campo observada.

Porcentaje de marchitez permanente

El porcentaje de marchitez permanente ha sido definido clásicamente como o "el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo al cual la planta no puede recuperar su turgor si ella es colocada en una atmósfera saturada de humedad durante 12 hrs". Este concepto nació a inicios de siglo, cuando investigadores observaron que, en un suelo determinado, una amplia gama de plantas alcanzaban esta condición con contenidos de humedad de suelos muy similares. Este contenido de humedad se observó que estaba asociado a valores de potencial mátrico del suelo de entre -1000 kPa y -2000 kPa (-1.5 MPa y 2 MPa), usándose un valor promedio del -1500 kPa.

El contenido de humedad a PMP, al igual que la capacidad de campo, se expresa en porcentaje en base a masa (gr de agua por gramo de suelo seco). En el Cuadro 4 se presentan valores típicos de PMP para suelos de diferentes clases texturales. En términos prácticos para suelos francos, el valor de PMP puede ser estimado a partir de CC, dividiendo su valor por dos ($PMP = CC/2$). Para suelos arenosos o franco arcillosos se puede estimar a partir de la relaciones de Saxton *et al.*, 2006, disponibles en Internet en el sitio <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>.

Agua disponible total (ADT)

El valor de ADT corresponde al rango de humedad del suelo comprendido entre capacidad de campo (CC) y porcentaje de marchitez permanente (PMP). En el Cuadro 4 o sitio web <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>, se presentan valores típicos de CC, PMP y ADT para suelos de distintas clases texturales.

Hay que tener presente que no toda el ADT del suelo está igualmente disponible para las plantas, por lo cual es necesario regar cuando se

agote un porcentaje del ADT del suelo. Esta fracción recibe el nombre de Umbral de Riego (UR) o fracción de agotamiento "p" y varía según el tipo de cultivo. En el capítulo 5 se presentan valores de fracción de agotamiento para diferentes cultivos.

De esta forma, el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) para las plantas se puede estimar de la siguiente manera:

$$AFA = ADT \times p/100$$

Donde:

ADT = Agua disponible total o humedad aprovechable.

p = fracción de agotamiento o umbral de riego (%).

Cuando los valores de CC y PMP están expresados en porcentaje gravimétrico, el Agua Disponible Total (ADT), se puede calcular a partir de la CC y el PMP del suelo, mediante la siguiente expresión:

$$ADT \text{ (mm)} = [(CC\% - PMP\%) / 100 \times Da] \times H \times (1 - Pied) \times PSM$$

CC% = capacidad de Campo del suelo, base peso (%).

PMP% = Porcentaje de marchitez permanente, base peso (%).

Da = densidad aparente del suelo (g/cm³).

H = profundidad de raíces (mm).

Pied = Fracción de piedras presentes en el perfil de suelo.

PSM = Fracción de suelo mojado por los emisores de riego.

El porcentaje de suelo mojado PSM, corresponde a la fracción de suelo que mojan los emisores cuando se riega por goteo o microaspersión. En estos casos PSM asume un valor entre 0,4 y 0,6. En el caso de riego por aspersión y riego superficial, el PSM tiene el valor de 1.

Ejemplo:

Determinar el agua fácilmente aprovechable (AFA mm) que presenta un suelo franco (ver Cuadro 4): La profundidad de raíces es de 600 mm, el umbral de riego, UR o fracción de agotamiento "p", 40% (0,4),

el porcentaje de suelo mojado, PSM, es de 70% (0,7) y la fracción de piedras en el perfil de suelo, (Pied) ocupa un 30% (0,3).

De acuerdo al Cuadro 4, un suelo franco tiene un valor de capacidad de campo (CC) de 22%, un porcentaje de marchitez permanente (PMP) de 10% y una densidad aparente de 1,4 g/cm³.

La AFA que se puede agotar en el suelo antes de volver a regar es:

$$\text{AFA (mm)} = \text{ADT} \times p$$

$$\text{ADT} = [(\text{CC}\% - \text{PMP}\%)/100 \times \text{Da}] \times H \times \text{PSM} \times (1 - \text{Pied})$$

$$\text{AFA (mm)} = [(22 - 10)/100 \times 1,4] \times 600 \times 0,7 \times (1 - 0,3) = 49,4 \text{ mm}$$

$$\text{AFA} = 49,4 \times 0,4 = 19,75 = 20 \text{ mm}$$

La cantidad de agua que las plantas pueden extraer del suelo, antes de volver a regar es de 20 mm lo que equivale a 200 m³/ha (1 mm = 10 m³/ha).

En el caso de suelos estratificados, con más de una estrata, de diferente clase textural, el cálculo se realiza en forma independiente por cada una de las estratas, según sus propiedades físicas, y luego se suman los valores para tener el agua disponible para el perfil de suelo considerado.

Para lograr un buen manejo de riego se hace necesario contar con un mapa o plano de suelos donde se agrupen los sectores similares desde el punto de Agua Fácilmente Aprovechable (AFA), como el que se presenta en la **Figura 15**. Estos estudios se obtienen mediante análisis de suelo por medio de calicatas (normalmente una calicata por cada ha), en las que se les determina la textura, densidad aparente, la profundidad de raíces, presencia de piedras y, capacidad de retención de agua, entre otras propiedades. De estos planos se determinan los suelos predominantes y más representativos de cada sector de riego. (Nota: este plano es complementario a los planos topográficos para el diseño de nuevos equipos de riego en el predio, al considerar la retención de humedad al sectorizar el equipo).

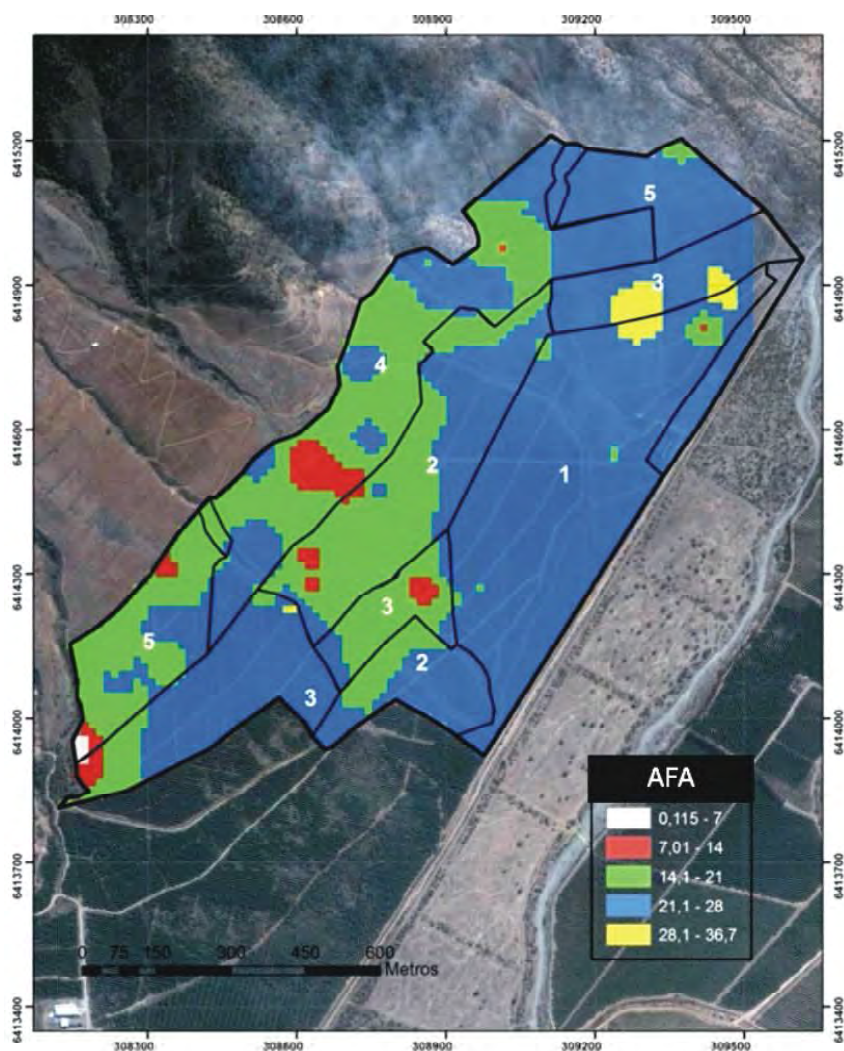


Figura 15. Plano de distribución espacial del agua fácilmente aprovechable (AFA, mm) en un huerto de palto. En la parte inferior (recuadro) de la figura se indican los mm de AFA, por cada tipo de suelo.

4. NECESIDADES Y DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO

Las plantas para desarrollarse requieren de agua. El agua cumple importantes funciones, por ejemplo el agua transpirada permite mantener su temperatura similar a la del aire que la rodea, permite la fotosíntesis, permite mantener un adecuado turgor celular y una adecuada incorporación de nutrientes desde el suelo a los órganos de crecimiento. El requerimiento de agua puede ser suplido por las precipitaciones y el ascenso capilar de agua desde napas freáticas superficiales. Cuando el aporte de la lluvia y ascenso capilar es insuficiente para suplir la transpiración de las plantas, este déficit se suple con aplicaciones de agua en forma artificial (**Figura 16**), como es el caso del riego.

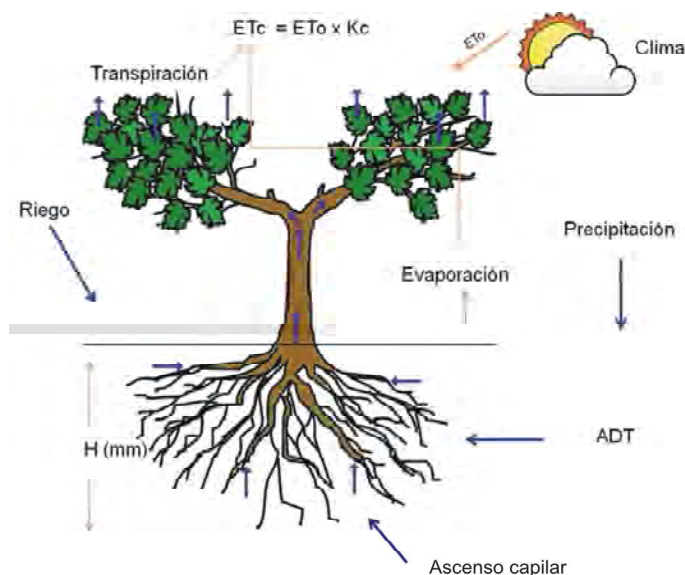


Figura 16. Esquema de los aportes hídricos a la transpiración de los vegetales y a la evaporación desde el suelo.

El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad de los métodos de riego.

Las necesidades de agua de riego, o necesidades brutas se reflejan en la siguiente ecuación de balance hídrico.

$$NB = ETc - pef - Ac + Per + Es + Ai \pm \Delta H$$

Donde:

NB = necesidades brutas o de riego (mm).

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm).

Pe_f = precipitación efectiva (mm).

Ac = ascenso Capilar (mm).

Per = pérdidas por percolación profunda debido a desuniformidad en la aplicación del agua de riego o necesidades de lavado de sales (FL) (mm).

Es = pérdida por escurrimiento superficial.

ΔH = corresponde a la variación del contenido de agua del suelo, que a escala estacional es cero (mm).

Ai = es el agua almacenada por el cultivo, que representa menos del 1% del agua evapotranspirada, por lo cual es despreciable (mm).

En el transcurso de la temporada ΔH tiende al valor cero, y Ai es despreciable, de tal forma que la ecuación anterior puede escribirse de una forma más resumida:

$$NB = \frac{NN}{K}$$

Donde:

NB = corresponde a las necesidades brutas de agua (mm).

NN = Necesidades Netas = ETc - pef - Ac.

K = es un factor que engloba las pérdidas de agua.

El valor de K puede corresponder a la eficiencia del sistema de riego (K = E_{fa}) o bien, corresponder a la cantidad de agua adicional para lavado de sales (K = 1-FL). Siempre se utilizará el menor valor de K.

4.1 Evapotranspiración (ET)

Se conoce como evapotranspiración de cultivo (ET) la combinación de dos procesos separados, la evaporación de agua desde la superficie del suelo y por otra parte la transpiración del cultivo.

En ambos procesos se produce un cambio de estado del agua, pasando de líquido a vapor, para lo cual se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua de la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende en gran medida de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica (humedad relativa) y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

Por otra parte la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera (**Figura 17**).

El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces en forma líquida y transportada a través de la planta. El agua líquida cambia de estado a fase de vapor dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor de agua con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

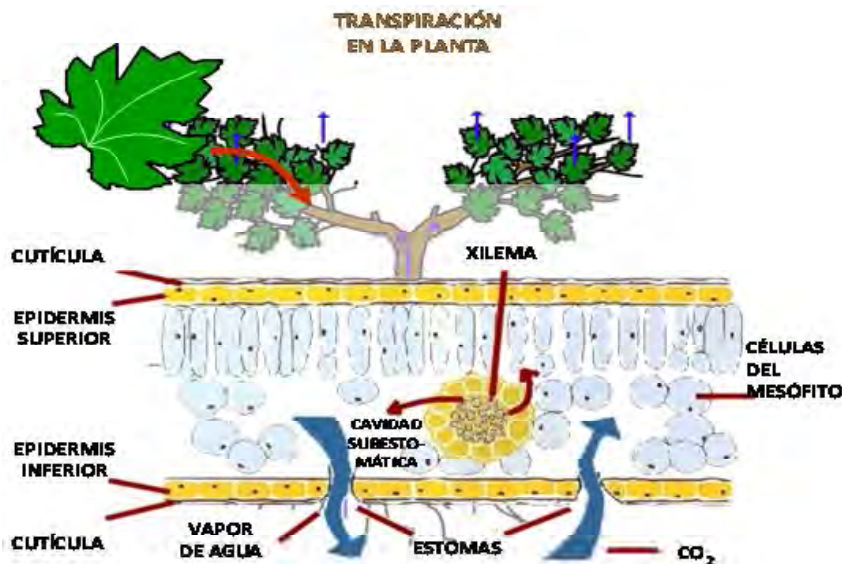


Figura 17. Esquema de intercambio de gases en los estomas.

La transpiración, al igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica (humedad relativa) y el viento también deben ser considerados en su determinación. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente. Cuando la plantas presentan poco desarrollo y escaso cubrimiento del suelo, la evaporación es el componente predominante, pero en la medida que la planta crece, aumentando su área foliar, la transpiración se convierte en el componente principal de la evapotranspiración.

4.1.1 Estimación de la evapotranspiración de referencia

Para estimar la ETo, normalmente, se utilizan dos procedimientos: el método FAO Penman-Monteith y el del evaporímetro clase A.

Las estaciones meteorológicas automáticas, en general, utilizan para estimar la ETo el método de FAO Penman-Monteith cuya ecuación se presenta a continuación.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

- ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm d⁻¹).
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻²).
- G : Flujo de calor del suelo (MJ m⁻²).
- T : Temperatura diaria media (°C).
- γ : Constante psicrométrica (KPa °C⁻¹).
- U₂ : velocidad del viento a 2 m del suelo (m s⁻¹).
- (e_a - e_s) : Déficit de presión de vapor (Kpa).
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa °C⁻¹).

Los parámetros utilizados para calcular la ETo mediante el método de Penmann- Montheith se registran a través de estaciones meteorológicas automáticas (EMA), equipadas con radiómetro, sensor de temperatura y humedad relativa, y un sensor que mide la dirección y velocidad de viento (**Figura 18**).



Figura 18.
Estación
meteorológica
automática.

Valores de ETo registrados por EMA se pueden obtener desde la página web **www.agroclima.cl** o **www.agromet.cl**. En este sitio se puede encontrar información climática generada por una red de más de 200 estaciones, distribuidas en diferentes zonas geográficas del país.

Otra forma de estimar la ETo utilizando el método del evaporímetro de bandeja clase A. En la bandeja se mide la evaporación de una superficie libre de agua, que proporciona un índice del efecto integrado de la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y del viento en la evapotranspiración. Sin embargo, se producen diferencias significativas entre la pérdida de agua de una superficie libre de agua y una superficie cultivada. El tanque ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con ETo.

La bandeja de evaporación está normalizada y debe cumplir con las siguientes condiciones: 120,65 cm de diámetro, 25,4 cm de altura y debe construirse en hierro galvanizado de 0,8 mm (**Figura 19**).

La estructura se coloca sobre apoyos de madera que a su vez descansan sobre el terreno. El fondo del tanque debe quedar a 15 cm del nivel del suelo. Luego este

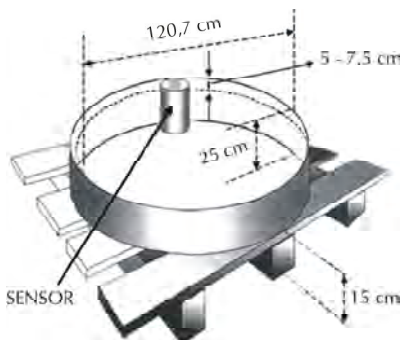


Figura 19. Bandeja de evaporación Clase A.

espacio se rellena con tierra, dejando solo 5 cm libres bajo el fondo del tanque. El recipiente se llena de agua limpia y se rellena cada cierto tiempo, procurando que el nivel del agua se mantenga siempre entre 5 y 7,5 cm del borde como máximo.

Las mediciones se realizan con jarros debidamente calibrados (contienen 1 mm y 0,1 mm), Las lecturas deben realizarse en forma diaria y en lo posible a la misma hora (8:30 horas) para hacerla comparable con las lecturas de los días anteriores.

Para estimar la ETo a partir de datos de evaporación de bandeja clase A (EB), estos deben ser corregirse por un coeficiente llamado Kp, el cual variará con la ubicación de la bandeja, con la velocidad del viento y con la humedad relativa. En el **Cuadro 7** se muestran algunos coeficientes de bandeja (Kp), para diversas condiciones.

Por lo tanto, para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) en función de la evaporación de bandeja se debe utilizar la siguiente relación:

$$Eto \text{ (mm)} = Kp \times EB$$

Donde:

EB = evaporación de bandeja (mm).

Kp = coeficiente de bandeja (adimensional).

En general, se puede decir que para condiciones normales de verano (vientos moderados y humedades relativas del 40 a 70%), el coeficiente de bandeja (Kp) varía entre 0,6 y 0,8.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes, o incluso un completo período de cultivo o un año. Como una hectárea tiene una superficie de 10.000 m² y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m³ de agua por hectárea. Es decir 1 mm día⁻¹ es equivalente 10 m³ ha⁻¹ día⁻¹.

Cuadro 7. Coeficientes de bandejas (Kp), Fuente: Allen *et al*, 1998.

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en suelo desnudo			
	HR media	Baja <40	Media 40-70	Alta >70		Baja <40	Media 40-70	Alta >70
Velocidad viento (m s ⁻¹)	Distancia cultivo a barlovento (m)				Distancia barbecho a barlovento (m)			
Baja < 2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderada 2-5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5-8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

En el **Cuadro 8** se presentan diferentes unidades en que se puede expresar la evapotranspiración.

La altura del agua se puede también expresar en términos de la energía recibida por unidad de área. Esto último se refiere a la energía o al calor requerido para vaporizar el agua. Esta energía, conocida como el calor latente de vaporización (λ), corresponde a 2,45 MJ Kg⁻¹ de agua, a una temperatura de 20°C. Es decir, 2,45 MJ son necesarios para vapo-

Cuadro 8. Unidades y conversiones de unidades de evapotranspiración.

	Altura de agua	Volumen por unidad de área		Energía por unidad de área*
	mm día ⁻¹	m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	MJ m ⁻² día ⁻¹
1 mm día ⁻¹	1	10	0,116	2,45
1 m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹	0,1	1	0,012	0,245
1 l s ⁻¹ ha ⁻¹	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ m ⁻² día ⁻¹	0,408	4,082	0,047	1

* Para el agua con una densidad de 1.000 kilogramos m⁻³ y a 20°C.

rizar 1 kilogramo ó 0,001 m³ de agua. Por lo tanto, un aporte de energía de 2,45 MJ por m² puede vaporizar 0,001 m ó 1 milímetro de agua, y entonces 1 milímetro de agua es equivalente a 2,45 MJ m⁻² y si sabemos cuantos MJ/m² inciden en lapso de tiempo, podremos estimar cuanta agua es evaporada, dentro de una zona y en un tiempo determinado.

Para más detalles sobre determinación de evapotranspiración de referencia se puede recurrir al texto de la colección FAO de Riego y Drenaje N° 24 (Doorenbos y Kassam 1979: Requerimientos de agua de los cultivos) y al texto de la colección FAO de Riego y Drenaje N° 56 (Allen *et al*, 1998: Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements).

4.2 Necesidades de agua de riego

Las Necesidades Netas de agua de riego (NN) corresponden al agua evapotranspirada por el cultivo menos los aportes de las precipitaciones que quedan en la zona de raíces (precipitación efectiva) y menos los ascensos por capilaridad del agua de las napas freáticas, si estas están presentes. Por otra parte hay que considerar en las necesidades del agua de riego el requerimiento de agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua, obteniendo de esta manera las necesidades brutas (NB).

4.2.1 Estimación de la Evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c , y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de los estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, causan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración de referencia, bajo las mismas condiciones climáticas.

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) queda definida por la ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

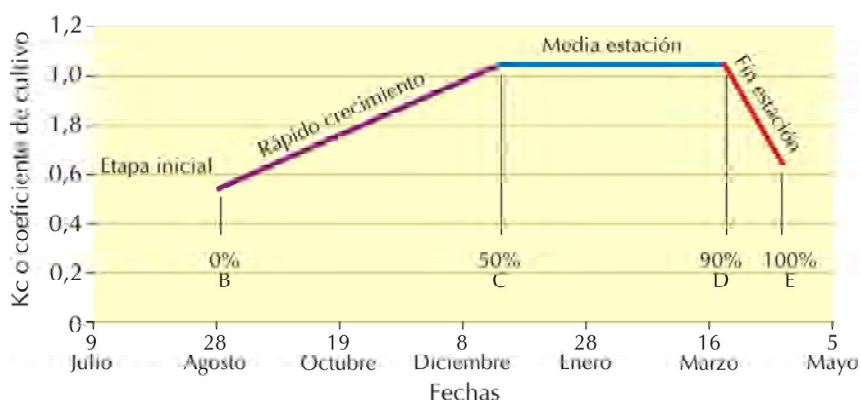
Donde ET_o , es la evapotranspiración de referencia, normalmente determinada por la ecuación de Penmann- Montheith, en mm. ET_o (mm) depende de la radiación neta, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, entre otros parámetros. En consecuencia presenta una variación temporal (estacional) y espacial (ubicación geográfica).

K_c , corresponde a un coeficiente de cultivo, que refleja las características propias de cada cultivo, el cual depende del área foliar del cultivo, de la conductancia estomática, la arquitectura de la planta, su rugosidad y aspectos de manejo, tales como la densidad de plantación, entre otros factores. K_c presenta una variación agronómica (manejo), temporal (evolución del dosel), pudiendo ser considerado constante espacialmente (entre diferentes condiciones geográficas), entre especies y manejos similares, para los mismos estados de desarrollo.

En el **Cuadro 9** se presentan, a manera de ejemplo, coeficientes de cultivos para algunas especies frutales y en la **Figura 20** como se distribuyen los valores de coeficientes de cultivo dependiendo del ciclo vegetativo. Información de valores de k_c para otras especies se pueden encontrar en el texto de la colección FAO de Riego y Drenaje N° 56 (Allen *et al*, 1998. Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements).

Cuadro 9. Coeficientes de cultivos (kc) de diferentes especies frutales.

Cultivo	% Ciclo Vegetativo			Kc			
	B	C	D	B	C	D	E
Almendro	0	50	90	0,55	1,05	1,05	0,65
Kiwi	0	22	67	0,30	1,05	1,05	1,00
Manzano	0	50	75	0,55	1,05	1,05	0,80
Vid (viñedos)	0	25	75	0,45	0,80	0,80	0,35
Frutales de hueso	0	50	90	0,55	1,05	1,05	0,65
Nogales	0	50	75	0,55	1,05	1,05	0,80
Aguacate	0	33	67	0,70	0,70	0,70	0,70
Cítricos	0	33	67	0,70	0,70	0,70	0,70
Olivos	0	33	67	0,80	0,80	0,80	0,80

**Figura 20.** Distribución de los valores de los coeficientes de cultivo en durazno a partir del ciclo vegetativo y Kc del Cuadro 9.

4.2.2 Contribución de la napa freática (Ascenso Capilar)

El aporte de agua de la napa freática al cultivo depende de dos variables principales:

- La profundidad a la que se encuentra: A menor profundidad, mayor es su importancia en la provisión de agua al cultivo.
- La textura y estructura del suelo: Los suelos que transportan con mayor eficiencia agua desde la capa freática a las raíces o a la atmósfera son los franco arenoso finos y los franco limosos. Los suelos arenosos, por tener poros de gran tamaño, muestran un ascenso capilar limitado (**Figura 21**).

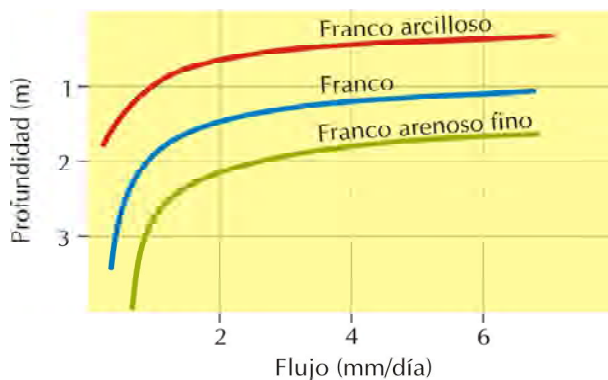


Figura 21. Profundidad de la napa freática en relación a la velocidad de flujo vertical para distintas texturas. Fuente: Adaptado de Romero *et al*, 2009.

4.2.3 Precipitación efectiva (Pef)

La precipitación efectiva CORRESPONDE a una fracción la proporción de la lluvia caída que queda, almacenada en el suelo, disponible para ser utilizada por las plantas para satisfacer sus requerimientos de agua.

Se consideran como lluvias no aprovechables o inefectivas tanto aquellas que son de baja magnitud y que se pierden rápidamente por eva-

poración, como aquellas de gran magnitud, de tal manera que rebasan la capacidad de almacenamiento de la zona de raíces, o la velocidad de infiltración del suelo, y finalmente escurren.

La precipitación efectiva se puede estimar a partir de la precipitación real. A escala mensual se puede calcular como:

$$P_{ef} = 0,8 \times P - 25, \text{ si } P > 75 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = 0,6 \times P - 10, \text{ si } P < 75 \text{ mm}$$

Donde P, es la precipitación real en mm.

Existen otros métodos (USDA - *Soil Conservation Service*) para estimar la precipitación efectiva que se pueden consultar.

En riego localizado, dada la alta frecuencia, y dada las condiciones de distribución de lluvias en nuestro país, es muy improbable que siempre ocurra una lluvia en el intervalo entre dos riegos, por lo que para efectos del diseño agronómico de sistemas de riego, la precipitación efectiva no se considera para establecer el uso consuntivo máximo de un cultivo.

4.2.4 Necesidades de lavado de sales

El agua de buena calidad tiene el potencial para permitir la máxima producción si se siguen prácticas acertadas en el manejo del cultivo. Un agua de mala calidad (presencia de sales) causará problemas relacionados con el suelo y con el cultivo, provocando la reducción de rendimiento, a menos que se adopten prácticas de cultivo especiales como el lavado de sales. La calidad del agua de riego puede ser definida por su concentración salina total, valor que se estima indirectamente midiendo su conductividad eléctrica (CE) en dS/m. En el **Cuadro 10** se presenta una clasificación de las aguas de riego en relación a su CE y relación con el riesgo de salinización.

Un alto contenido de sales disueltas en el suelo disminuye el potencial osmótico y exige a las raíces un esfuerzo adicional para absorber agua. Esta toma reducida de agua por parte de la planta puede dar como

Cuadro 10. Conductividad eléctrica del agua de riego y su riesgo de salinización.

CE dS/m	Riesgo de salinización
0,75	Bajo
0,76 - 1,5	Medio
1,6 - 3,0	Alto
> 3,0	Muy Alto

Fuente: Comité de consultores de la Universidad de California (1972).

resultado un crecimiento reducido o lento, y disminución de la producción. A su vez, puede haber efectos tóxicos específicos de ciertos elementos, los que a su vez reducen el rendimiento.

Una vez que la cantidad de sales acumuladas en el suelo sobrepasa un valor umbral, que depende del cultivo, la producción desciende linealmente con el aumento de sales en el suelo (Ayers y Westcot, 1976). En el capítulo 5 se indican valores de CE del suelo que afectan el desarrollo del cultivo

La planta absorbe la mayor parte del agua en la estrata más superficial del suelo, por tanto es de gran importancia evitar la acumulación excesiva de sales en esta zona. Para disolver y separar las sales se deberá aplicar una cantidad de agua adecuada que permita su infiltración y lixiviación a través de la totalidad del sistema radicular. A esta cantidad de agua se la denomina fracción o necesidades de lavado (FL), y se define como la fracción del agua que penetra en el suelo y sobrepasa el sistema de raíces.

Para riegos localizados: $FL = (ECw/2 \times Ece)$

Para riego por surcos y aspersión: $FL = ECw/(5 \times Ece - ECw)$

Donde = FL corresponde a los requerimientos de lavado para evitar daño por sales, ECw, es la conductividad eléctrica del agua de riego

(dS/m) y Ece es la conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo que afecta el desarrollo del cultivo (dS/m). Valores umbrales para diferentes frutales se pueden ver en el Cuadro 21 (capítulo 5).

4.2.5 Eficiencia de aplicación del agua de riego (Efa)

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubran las necesidades de las plantas que no fueron repuestas por las precipitaciones y el ascenso capilar de agua desde la napa freática. Cuando se aplica agua al cultivo a través del equipo de riego se producen pérdidas por escurrimiento superficial y/o percolación profunda (Figura 22).

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

Del volumen total de agua destinada a riego, no todo va a ser aprove-

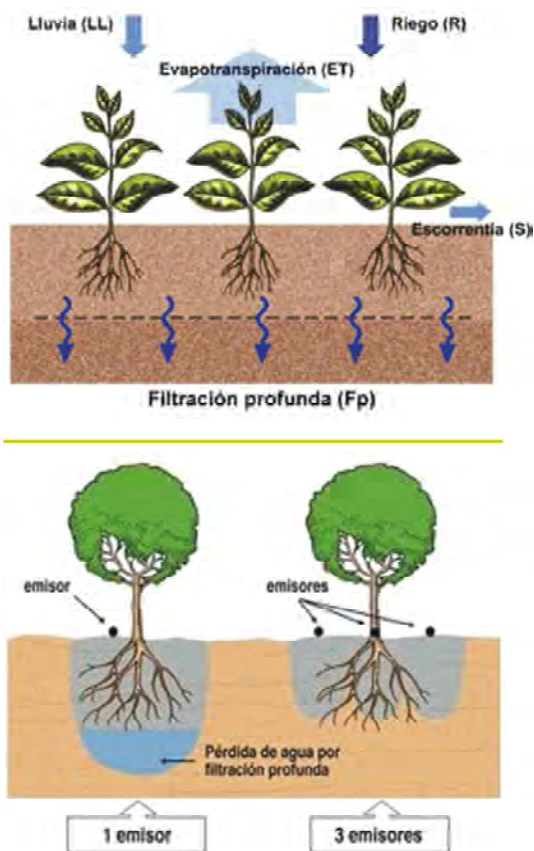


Figura 22. Pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial.

chado por las plantas. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina eficiencia de aplicación. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75% indica que, por ejemplo, del total del agua bombeada por un pozo sólo el 75% la tomarán las plantas y el 25% restante se pierde por percolación profunda o escurrimiento superficial, una vez aplicada.

En la eficiencia influye el sistema de riego, el diseño del equipo, su mantenimiento y su manejo. En términos generales la eficiencia teórica del riego por goteo es de 85-95%, la del pivote va del 80 al 90%, en aspersión convencional varía entre 65-75% mientras que el riego superficial presenta eficiencias de entre el 30 al 55%.

Por lo indicado en los dos puntos anteriores, es necesario una vez conocida la necesidad neta de agua de nuestro cultivo (NN), tener en cuenta la eficiencia del sistema de riego empleado y las necesidades de lavado, para determinar las necesidades brutas de agua (NB).

$$NB = \frac{NN}{K}$$

Una pregunta recurrente que emerge es si tomar en cuenta la eficiencia del sistema o la fracción de lavado para calcular las necesidades brutas de agua de riego. Para ello es necesario determinar la magnitud del valor K. Cuando se habla de eficiencia $K = E_{fa}$. Cuando se habla de necesidad de lavado (FL), $K = (1 - FL)$. El valor a considerar en el cálculo de NB el que ofrece el menor valor de K.

4.2.6 Ejemplo de cálculo de las necesidades de agua de riego a nivel predial

En el **Cuadro 11** se presenta un ejemplo para determinar las necesidades de riego de un huerto de Paltos regado por microaspersión en Quillota. La eficiencia de riego (E_{fa}) es 85% (0,85). La conductividad eléctrica del agua de riego (E_{cw}) es de 0,25 dS/m. El palto es un cultivo relativamente sensible a la salinidad, el valor límite de CE del extracto saturado de suelo que comienza a afectar los rendimientos (E_{Ce}) es 1,3 dS/m ($LF = 0,25/2 \times 1,3 = 0,16$).

Cuadro 11. Ejemplo de cálculo de las necesidades de riego de un cultivo de palto en Quillota.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
ETo mm/día	5,68	5,93	4,45	3,33	2,00	1,13	0,77	1,10	2,07	3,23	4,60	5,32	
Kc	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
ETc mm/día	4,09	4,27	3,21	2,40	1,44	0,82	0,56	0,79	1,49	2,32	3,31	3,83	
ETC mm/mes	126,72	119,52	99,36	72,00	44,64	24,48	17,28	24,48	44,64	72,00	99,36	118,80	
PP 85 PO mm/mes	6,4	6,8	10,5	25,0	85,0	101,0	85,0	71,0	31,0	18,0	11,0	7,3	
Peí mm/mes	0,0	0,0	0,0	9,0	48,0	60,8	48,0	36,6	12,6	4,8	0,0	0,0	
AC mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
NN mm/mes	126,7	119,5	99,4	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	67,2	99,4	118,8	
Efa (K)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
LR	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1 - LR (K)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
NB mm/mes	150,9	142,3	118,3	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	80,0	118,3	141,4	
NB l/s/ha	0,56	0,59	0,44	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,30	0,46	0,53	
Superficie predio (ha)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
NB total l/s	19,7	20,6	15,5	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	10,5	16,0	18,5	
NB Total m ³ /mes	1508,6	1422,9	1182,9	750,0	0,0	0,0	0,0	0,0	381,4	800,0	1182,9	1414,3	864,3

ETo = evapotranspiración de referencia (mm); Kc = coeficiente de cultivo de palto de adultos; ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm); PP 85% = Precipitación con un 85% de probabilidad de ocurrencia (mm); peí = precipitación efectiva (mm); AC = Ascenso capilar de agua desde la napa freática (mm); NN = Necesidades netas de agua (mm); Efa = Eficiencia de aplicación; NB = Necesidades brutas de riego (mm).

Las ecuaciones utilizadas para estimar la demanda de riego del campo son:

$$ETc = ETo \times Kc$$

$$NN = ETc - Pef - AC$$

$NB = NN / (K)$ donde $K = Efa$ o $K = 1 - FL$; se usa el valor menor.

$$K = Efa = 0,85; K = (1 - LF) = (1 - 0,16) = 0,84$$

Para el cálculo de la demanda bruta (DB) se ocupa el menor valor de K, es decir 0,84, que corresponde a $K = (1 - LF)$.

En este caso, en el Cuadro 11 se puede observar que el mes de máxima demanda es febrero, donde la ETc del cultivo es de 4,27 mm/día (119,5 mm/mes), y las necesidades brutas de riego es de 142,3 mm/mes (5,1 mm/días) o 0,59 l/s/ha expresado en caudal continuo. De este ejemplo se desprende que el campo requiere un caudal continuo de 88,2 ls^{-1} para regar las 150 has de paltos, lo que equivale a disponer de unos 0,59 $ls^{-1} ha^{-1}$.

En la **Figura 23** se presenta un balance entre la evapotranspiración del huerto de palto y la precipitación efectiva con un 85% de probabilidad de ocurrencia (PO).

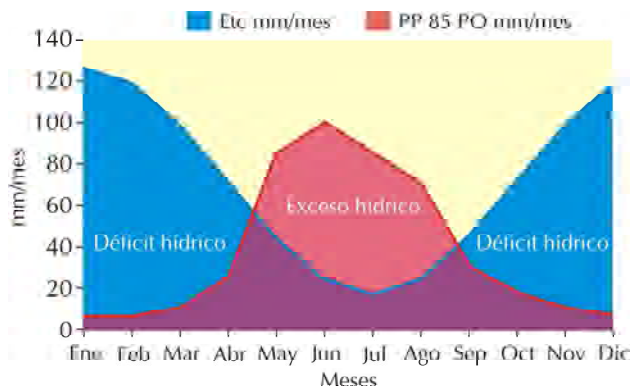


Figura 23. Balance hídrico de huerto de palto adulto en Quillota, el déficit debe ser suplido con riego.

4.3. Disponibilidad de agua a nivel predial

Conocer el caudal disponible de un predio permite dimensionar la superficie posible de regar. A partir del caudal disponible y de la demanda bruta máxima del cultivo, se define la superficie máxima de riego. En muchas oportunidades se desarrollan proyectos agrícolas donde se implementan equipos de riego y posteriormente, cuando los cultivos presentan su máximo desarrollo, se observa que el recurso hídrico del predio no alcanza a suplir los requerimientos de agua de las plantas.

Se puede tener una idea del caudal que tiene el predio a través de estimaciones de la cantidad de agua que llega al predio a través de aforos (mediciones de la disponibilidad de agua para riego) y/o análisis hidrológicos cuando corresponda.

4.3.1 Estimación del caudal a nivel predial según derechos inscritos, utilizando información hidrológica

Algunos organismos públicos, tales como la Dirección General de Aguas, la Comisión Nacional de Riego, la Dirección de Obras Hidráulicas, y organizaciones de regantes (Juntas de Vigilancia y Asociaciones de Canalistas, disponen de registros históricos de caudales en diferentes cursos de agua (ríos y/o canales), que permiten realizar análisis hidrológicos y determinaciones de caudales con 85% de probabilidad de ocurrencia (por ejemplo: consultar pagina web **www.cnr.cl**).

Para conocer el caudal a que tiene por derecho un predio se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Obtener los derechos de agua del predio, a partir de los títulos de dominio inscritos en el conservador de bienes raíces inscripción.
- Obtener caudal de la sección del río con 85% de probabilidad de ocurrencia (P.O) desde donde el canal extrae sus aguas. Para esto se puede recurrir a información generada por la Dirección General de Aguas o por la Comisión Nacional de Riego (CNR).
- Conocer las acciones o partes de río en que divide la sección del río.

- Conocer los derechos que tiene el canal sobre la fuente de agua.
- Conocer las acciones en que se dividen los recursos del canal.

Ejemplo:

A continuación se presenta un ejemplo de cómo convertir acciones o regadores en caudal continuo con un 85% de probabilidad de ocurrencia.

Un predio tiene derechos de agua correspondiente a 9,13 sobre el Canal Santa Rosa, derivado del Canal Maule Norte. El río Maule está dividido en 110.126 acciones. El canal Maule Norte tiene derecho a 38.666,987 acciones sobre el total de acciones que distribuye el río Maule. A su vez El canal Maule Norte está dividido en 3.301,09 acciones.

Obtener los derechos de agua del predio = 9,13 acciones del canal Comunidad santa Rosa, derivado del canal Maule Norte.

Obtener Caudal 85% de probabilidad de ocurrencia del río Maule en Armerillo (Fuente: CNR)

Caudales medios mensuales (m^3/s) del Río Maule en Armerillo con 85% de seguridad.

Caudales medios mensuales (m^3/s)			
Dic	Ene	Feb	Promedio
224,0	131,0	102,0	147,17

Obtener caudal con 85% PO en el canal Maule norte:

$$147,17 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \div 110,126 \times 38.666,987 = 51,67 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Obtener el caudal por acción del canal Maule Norte (3.301,09 acciones)

Caudal acción Canal Maule Norte =

$$Q_{acc} = 51,67 \left(\frac{m^3}{s} \right) \div 3.301,09 = 0,0156 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_{acc} = 15,6 \text{ ls}^{-1}$$

Obtener el caudal del predio

El predio tiene 9,13 acciones del canal Santa Rosa, derivado del canal Maule Norte, en consecuencia el caudal es:

$$q_{predial} = 9,13 \text{ acciones} \times 15,5 \text{ L/s/acción} = 141,5 \text{ L/s}$$

4.3.2. Métodos de medición directa de caudales

El conocimiento de la cantidad de agua o caudal que transporta un canal, estero, río o pozo, es fundamental en el proceso de administración eficiente de los recursos hídricos de un predio.

4.3.2.1 Métodos de aforo en canales, esteros o ríos

Para medir el caudal existen distintas metodologías, las que se basan en medir o estimar la velocidad del agua en el cauce (V), y el área del mismo (A). En términos generales, el caudal Q en m^3s^{-1} se estima por la siguiente ecuación o sus derivaciones:

$$Q = V \times A$$

Donde V es en ms^{-1} y A en m^2

Las dos metodologías que siguen se basan en la medición de la velocidad como el cálculo del área del cauce. También se discuten otras metodologías utilizando estructuras fijas o móviles.

Método del flotador

Corresponde al método más fácil de implementar, sin embargo, presenta un error entre el 10 a 20%. Este método permite tener una idea acerca del caudal que se mide en acequias y canales pequeños.

Para realizar una estimación del caudal con este método se puede seguir el siguiente procedimiento:

- Seleccionar un tramo del cauce, recto y de sección uniforme, en lo posible desprovisto de cualquier elemento que interfiera con el paso del agua de una longitud mínima de 30 metros (**Figura 24**).



Figura 24. Medición de la velocidad del agua por el método del flotador.

- Demarcar al centro del tramo un sector de 10 metros de largo.
- Calcular el área del canal como se indica en la **Figura 25**.

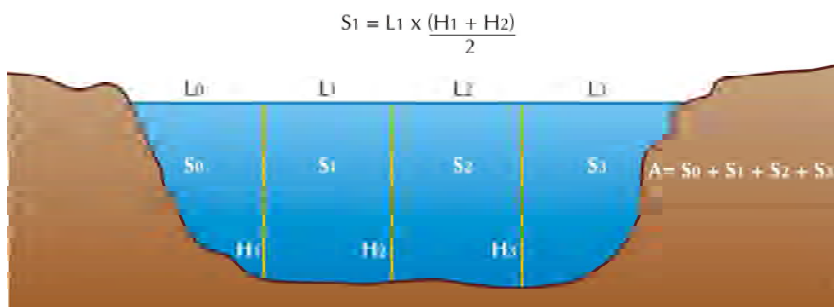


Figura 25. Determinación del área o sección de un canal de riego con forma irregular.

- Lanzar el flotador metros antes de la primera marca.
- Cronometrar el tiempo que tarda el flotador en recorrer la distancia demarcada entre el punto 1 y el 2.
- Calcular el caudal de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$Q = V \times A \times Fc$$

$$V = \frac{L}{t}$$

Donde:

Q = Caudal (L/s).

V = Velocidad (m/s).

Fc = factor de corrección (0,8).

L = Longitud de recorrido del flotador (m).

t = tiempo empleado en recorrer los 10 m (s).

A = Área (m²).

Ejemplo:

Datos de terreno:

A = 0,42 m²

L = 10 m

t = 24 s

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{10 \text{ m}}{24 \text{ s}} = 0,417 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del caudal:

$$Q = 0,42 \text{ m}^2 \times 0,417 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,8 = 0,140 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 140 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

La velocidad de agua en un estero, río o canal puede ser estimada en mejor forma mediante el uso de un molinete hidráulico (**Figura 26**). El molinete hidráulico es un instrumento que permite medir la velocidad del agua.



Figura 26. Molinete hidráulico.

Vertederos

Los vertederos son estructuras portátiles que se instalan en el interior del canal y perpendicular al flujo de agua. Estas estructuras requieren de una caída libre de agua, condición que ocasiona una elevación del nivel de agua, aguas arriba de la estructura. Por este motivo, se debe observar que no se produzca el desborde del canal.

El canal debe tener una pendiente suave y uniforme en una extensión igual o mayor a 20 metros aguas arriba de la estructura, además el canal debe tener un desnivel máximo de 1 cm en 10 metros, que equivale a una pendiente de 1/1000. A continuación se entregan algunas consideraciones para la instalación de un vertedero y las mediciones de caudales:

Instalación de los vertederos

El vertedero debe instalarse perpendicular a las líneas de flujo del agua. Seleccionar y despejar un tramo recto del canal, de por lo menos 10 veces el ancho de la cresta del vertedero.

La cresta y las paredes por las que se derrame el agua deben ser agudas y de un espesor inferior a 1/8 de pulgada (3,2 mm). Si está hecho en madera deben ser biselados.

La velocidad del agua que se aproxima al vertedero debe ser lenta, en lo posible inferior a 0,15 m/s. Para obtener esto, se recomienda construir una pozeta de mayor área que la sección del cauce para reducir la velocidad aguas arriba del vertedero.

La distancia entre la cresta y el fondo del canal, debe ser superior a dos veces la carga de agua (H) que se desea leer. La distancia desde las paredes del canal a la abertura del flujo del vertedero debe también ser dos veces la carga (Figura 27).

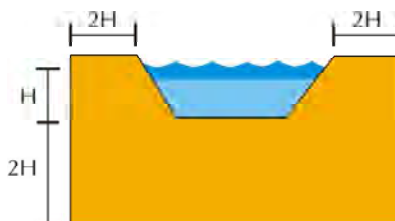


Figura 27. Vertedero Trapezoidal o Cipolletti.

Instalar una estaca a 2,5 m aguas arriba del vertedero, dejando su extremo superior al nivel de la cresta del vertedero.

Medición de caudal con vertedero

Medir la altura "H", colocando una regla graduada en la parte superior de la estaca instalada para este efecto.

Con el valor de altura "H", entrar en la ecuación adjunta y obtener el caudal que cruza por el vertedero.

Vertedero Trapezoidal o de Cipolletti

La escotadura del vertedero tiene forma trapezoidal con inclinación en las paredes sobre la vertical de 1:4, como se muestra en la Figura 27. Este vertedero es útil para mediciones sensibles de caudales.

Se aplica para caudales reducidos y grandes.

El caudal se calcula por la ecuación:

$$Q = 1,859 \text{ al } H^{3/2} \times 1.000$$

Donde:

Q = Caudal (L/s).

L = Largo de la cresta (m).

H = Altura de la carga de agua (m).

Método de orificio en compuertas

Un orificio es una abertura que existe en la pared o pantalla de un depósito y que pueden ser de forma circular, cuadrada, rectangular, etc.

Las compuertas se consideran orificios de área hidráulica regulable y son las más usadas en los diferentes canales para controlar la distribución o entrega de agua. El caudal en este caso se calcula con la siguiente fórmula (Ecuación de Torricelli):

$$Q = C \times A \times \sqrt{2gh_0}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/seg)

C = Coeficiente de descarga,

A = Área (m²), A = a x L

a = apertura de la compuerta

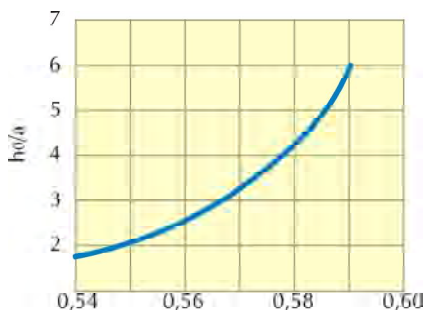
L = ancho de la compuerta, m

g = Gravedad: 9,81 m/s².

h₀ = Carga de agua hasta el centro de la mitad de la abertura de compuerta en metros.

"C" es un factor de corrección o ajuste del método, que corrige las variaciones de la descarga en la compuerta.

Un valor aproximado de C en la ecuación de Torricelli fue precisada, es de 0,60. Sin embargo, su valor depende de la relación entre los parámetros h₀ y a (h₀/a) En la **Figura 28** se presenta una gráfica que permite calcular el valor "C" a partir de la relación h₀/a en la compuerta (**Figura 29**).

**Figura 28.**

Valores de C para utilizar la ecuación del orificio en compuerta en función de h_0/a .

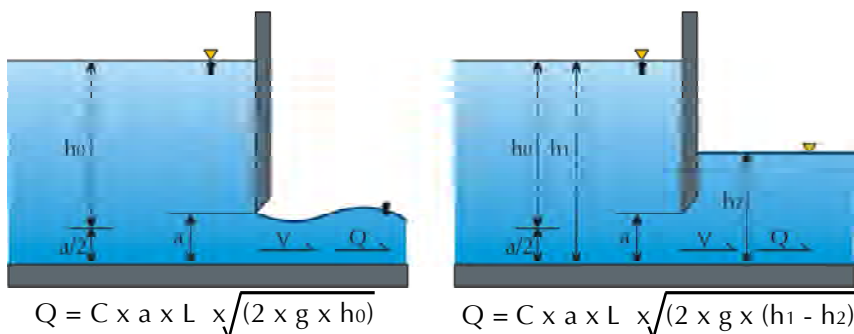


Figura 29. Esquema de una compuerta instalada en un canal. Izquierda, el agua sale libre bajo la compuerta. Derecha, la apertura de la compuerta esta bajo agua. En el primer caso h_0 corresponde al valor $(h_1 - a/2)$, siendo a la apertura de la compuerta. En este último caso el valor de h_0 corresponde a la diferencia entre h aguas arriba (h_1) y h aguas abajo (h_2).

Ejemplo:

Una compuerta instalada en un canal tiene un ancho (L) de 1 m y tiene una apertura (a) de 0,3 m. Aguas arriba de la compuerta la altura de agua en el canal es de 0,6 m y aguas abajo 0,4 m. **¿Cuál es el caudal que pasa por ese canal?**

$$A = a \times L; A = 1 \times 0,3 = 0,3 \text{ m}^2.$$

$$h_0 = h_1 - a/2; h_0 = 0,6 + 0,3/2 = 0,75 \text{ m}$$

$$h_0/a = 2,5$$

$$C = 0,558$$

$$Q = C \times A \times \sqrt{2 \times g \times (h_1 - h_2)} = 0,558 \times 0,3 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times (0,6 - 0,4)} = 0,331 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

4.3.2.2 Métodos de aforo en tuberías

Medidores volumétricos

Son medidores similares a los utilizados para medir el consumo de agua de una casa habitación (**Figura 30**). Generalmente llevan un registro de gasto acumulativo. Es recomendable instalar estos medidores en impulsiones de pozo profundo o en equipos de riego presurizados.

Estos equipos provocan pérdidas de carga asociadas a sus dimensiones, las que deberían ser consultadas en los respectivos catálogos comerciales y literatura técnica especializada antes de decidir la pertinencia de su instalación en forma permanente.



Figura 30. Medidor volumétrico.

Ejemplo.

Se quiere conocer el caudal que entrega una bomba de pozo profundo cuyo medidor volumétrico al inicio de un ciclo de operación marca 45.000 m^3 y al finalizar este su registro es de 46.450 m^3 . El ciclo de operación fue de 18 horas.

$$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$$

$$\text{Volumen} = \text{Registro } t_0 - \text{Registro } t_1 = 45.000 \text{ m}^3 - 46.450 \text{ m}^3 = 1.450 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo} = 18 \text{ h} = 64.800 \text{ segundos}$$

$$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo} = 0,022 \text{ m}^3/\text{s} = 22 \text{ l/s}$$

Medidores Ultra sonido

Se componen de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia, diagonalmente al flujo de agua, para medir su velocidad. Existen medidores cuyo principio es el tiempo de travesía y aquellos que

se basan en el efecto Doppler (**Figura 31**). Generalmente son equipos de alto costo, pero tienen muy buena exactitud ($\pm 2\%$) y gran flexibilidad de instalación.

El empleo de estos caudalímetros requieren de la presencia de partículas en suspensión, pudiendo se éstas sólidos o burbujas, que son necesarias para reflejar la señal acústica emitida por el transductor. Debe existir por lo menos una concentración de 50 partes por millón de partículas reflectoras en flujos con una velocidad de 1 m/s.



Figura 31. Medidores Ultra sonido efecto Doppler.

Tubo Pitot

Es un tubo en forma de L. El tubo Pitot, el cual se muestra en la **Figura 32**, mide la diferencia de presión entre los puntos a y b la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo. El fluido se desplaza por las aberturas en a, estas aberturas son paralelas a la dirección del flujo y están situadas lo suficientemente lejos como para que la velocidad y la presión fuera de ellas tengan los valores del flujo libre. Tienen una exactitud de ± 3 a 5% .

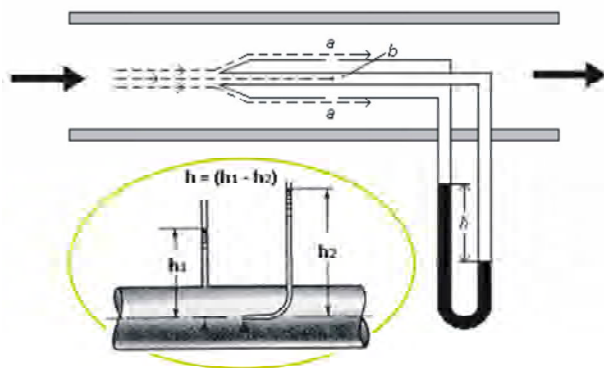


Figura 32. Tubo Pitot

La velocidad está dada por la expresión:

$$V = C \times (2 \times G \times H)^{1/2}$$

Donde:

h = Diferencia de altura manométrica (m) ($h = h_1 - h_2$).

g = Aceleración de gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).

C = Constante para cada instrumento, adimensional (0,795 ó 0,802).
(Esta puede ser encontrada en la literatura técnica y catálogos comerciales).

El rango de aplicación de éste tipo de instrumento se limita solamente a flujos en cañerías con aguas limpias, debido a que pequeñas impurezas tales como sedimentos o algas pueden tapar los orificios del tubo, inutilizándolo. En algunas pruebas de bombeo de pozos profundos se utilizan equipos muy similares a estos. La Figura 32, muestra un tubo Pitot con una altura estática (h_1) y una altura dinámica (h_2),

Aforo de tuberías por el método de la Trayectoria

Este método (**Foto 7**) es especialmente recomendado para conocer el caudal en tuberías, donde el caudal es generado por motobombas de riego. Se puede utilizar en un gran rango de caudales y diámetros de tuberías.

La energía del agua que fluye por el extremo de una tubería se manifiesta en la trayectoria que describe el agua una vez que sale de la boca de la tubería. Esta trayectoria tiene dos componentes, X e Y. Para realizar una medición de caudal con el método de la trayectoria en tuberías se puede seguir el siguiente procedimiento:



Foto 7. Aforo caudal de un pozo método de la trayectoria.

- Colocar la regla como indica la **Figura 33**.
- El lado Y de la regla ponerlo paralelo a la plomada que se pone en el extremo de la regla.
- Medir la longitud de X e Y.

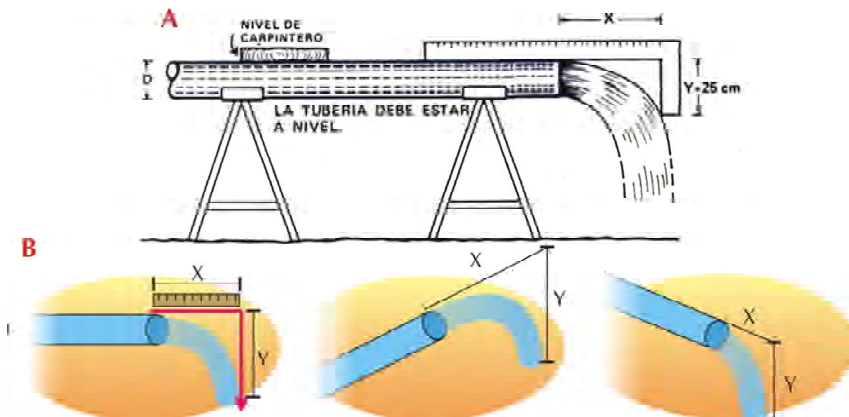


Figura 33. Instalación de la regla en la tubería para medir longitud Y y X. (A) si la tubería está nivelada la parte Y de la regla debe ir perpendicular al extremo X (ángulo recto). (B), si la tubería no está nivelada el lado Y de la regla debe ir paralelo a una plomada instalada en el extremo de la regla.

- Calcular el caudal de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$Q = Acu$$

Donde:

$$A = 3,1416 \frac{D^2}{4}$$

$$V = X \sqrt{\frac{g}{(2 Y)}}$$

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Área de la sección de salida de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

X = Trayectoria horizontal (m)

Y = Trayectoria vertical (m)

g = Aceleración de gravedad (9,81 m/s²)

Ejemplo:

Datos de terreno:

$$X = 0,25 \text{ (m).}$$

$$Y = 0,18 \text{ (m).}$$

$$D = 0,20 \text{ (m) (diámetro de la tubería).}$$

Cálculo de la velocidad:

$$V = 0,25 \sqrt{9,81 / (2 \times 0,18)} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del área:

$$A = 3,1416 \text{ d } \frac{(0,2)^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

Cálculo del Caudal:

$$Q = 0,0314 \text{ m}^2 \times 1,3 \text{ m/s} = 0,041 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 41 \text{ l/s}$$

En tuberías parcialmente llenas, como la que se muestra en la **Figura 34**, es necesario hacer un ajuste del caudal multiplicando el caudal obtenido, como si la tubería estuviera llena, por un factor F. El factor F se obtiene conociendo la distancia entre la superficie del agua y la pared superior de la tubería (h).

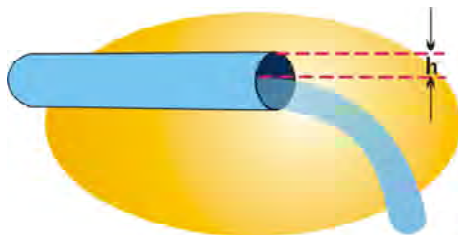


Figura 34. Determinación del valor de "h" en tuberías parcialmente llenas.

Para obtener el valor de F, se debe determinar el porcentaje de la sección de la tubería que tiene agua (P).

$$P = (1 - h/D) \times 100$$

Donde:

P = Porcentaje de la tubería con agua (%).

h = Distancia entre el agua y la pared superior de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

Con el valor de P se entra en el gráfico de la **Figura 35** y se obtiene F.

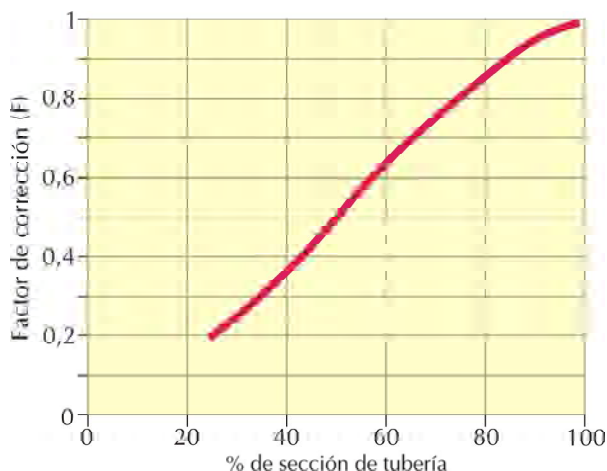


Figura 35. Gráfico para obtener el valor de F en tuberías parcialmente llenas.

Ejemplo:

Caudal obtenido con la tubería totalmente llena $Q = 0,041 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro de la tubería $D = 0,2 \text{ m}$

Valor de $h = 0,06 \text{ m}$

$$P = (1 - 0,06 / 0,2) \times 100 = 70\%$$

Valor de F obtenido del gráfico de la Figura 35 es de 0,75

Caudal para la tubería parcialmente llena (Q_p)

$Q_p = Q \text{ tubería llena} \times F$

$Q_p = (0,041 \text{ m}^3/\text{s}) \times 0,75 = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_p = 31 \text{ l/s}$

Método volumétrico

Se basa en medir el volumen de agua que sale de una tubería, en un tiempo determinado. Este método se puede utilizar para aforar caudales pequeños recolectando el agua de la aducción en un tambor de

200 l. También se puede utilizar para medir caudales altos siempre que la aducción entregue sus aguas a un estanque al cual es posible medir su área con precisión (**Foto 8**).



Foto 8. Aforo de pozo que entrega su agua a un estanque donde se puede medir su área con precisión.

Para medir el caudal con este método se puede seguir el siguiente procedimiento:

- Es recomendable si la bomba es de pozo profundo, que antes de realizar la medición haya estado funcionando por al menos 24 horas.
- Adecuar el punto para asegurar una rápida y expedita manipulación del tambor de medición o del estanque de acumulación.
- Mediante el cronómetro se mide el tiempo en que se llena o llega a una marca preestablecida en el recipiente elegido.
- Repetir el procedimiento para obtener resultados similares y, posteriormente, promediar dichos valores.

El gasto o caudal es el cociente entre ambas mediciones:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal (L/s)

V = Volumen (L)

t = tiempo (s)

Ejemplo:

Estimar el caudal que entrega una bomba de pozo profundo a un estanque de 7 m de largo y 4 m de ancho. Para realizar la medición la bomba estuvo funcionada durante 30 minutos. Al inicio de la medición el estanque tenía una altura de agua de 15 cm a final de la medición el estanque tenía una altura de agua de 55 cm.

Datos de terreno:

Volumen = Área x altura = (7 m x 4 m) x (0,55 m - 0,15 m) = 11,2 m³

Tiempo = 30 minutos = 0,5 h

Calculo de caudal:

$Q = 11,2 / 0,5 = 22,4 \text{ m}^3/\text{h} = 6,22 \text{ l/s}$

5. MÉTODOS DE RIEGO PRESURIZADO

Dentro de los equipos de riego que se utilizan en Chile se pueden observar equipos de riegos localizados y superficiales. En el **Cuadro 12** se presenta un resumen de los equipos de riego localizado que se utilizan en frutales.

Cuadro 12. Equipos de riego localizado utilizado en frutales, tipos y disposición de emisores en distintas especies frutales considerando la susceptibilidad de estas enfermedades en el tronco o cuello.

Cultivo	Tipo emisor	Suscept. enfermedades del cuello	Disposición más común
Peras	Gotero Microaspersor	Muy baja	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera
Manzanos	Gotero Microaspersor	Baja (cancro problema de Curio al norte)	Un microaspersor por planta o uno cada dos plantas
Durazno y nectarino	Gotero	Medio (cancro)	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera
Cerezos	Gotero	Alto (<i>phytophthora</i> y cáncer bacterial)	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera
Ciruelos	Gotero	Bajo	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera

Continuación Cuadro 12.

Cultivo	Tipo emisor	Suscept. enfermedades del cuello	Disposición más común
Almendros	Gotero	Muy alto (<i>phytophthora</i> y cancro)	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera
Nogal	Microaspersor	Muy alto (<i>phytophthora</i>)	Uno o dos microaspersores por planta sin mojar tronco
Vides viníferas	Gotero	Bajo	Un lateral con gotero de 2 ó 4 l/h a 1 m sobre hilera,
Vides de mesa	Gotero	Bajo	Uno o dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera
Cítricos	Gotero	Alto (<i>phytophthora</i>)	Dos laterales con goteros de 4 l/h a 1 m sobre la hilera, o dos laterales con goteros de 2 l/h cada 0,5 m sobre hilera
Palto	Microaspersor	Bajo	Un microaspersor por planta
Arándano	Gotero	Bajo	Uno o dos laterales con gotero de 1,6 l/h a 1 m sobre la hilera
Frutilla	Gotero	Bajo	Uno o dos laterales con gotero de 1,6 l/h a 1 m sobre la hilera

Para comprender el funcionamiento de un sistema de riego localizado es básico conocer sus componentes y sus funciones.

5.1 Componentes de un sistema

En general, un sistema de riego localizado o aspersión fija está compuesto por:

- Cabezal de control.
- Red de distribución.
- Emisores.

5.1.1 Cabezal de control

El centro de control está compuesto por una unidad de impulsión, que por lo general es una motobomba centrífuga aunque en algunos casos esta función la realiza una bomba de pozo profundo. Además en el cabezal se ubican la unidad de filtrado, la de inyección de fertilizantes y los elementos de regulación de presión y caudal (válvulas y manómetros). En el cabezal también se ubican unidades de comando y control del equipo como son el tablero eléctrico y el reloj programador (Figura 36).

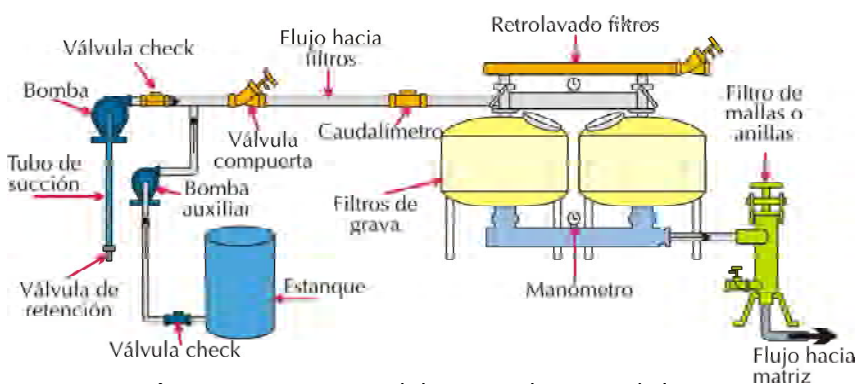


Figura 36. Esquema del centro de control de un equipo localizado o aspersión fija.

En resumen, el cabezal de riego consta de 4 unidades fundamentales:

- Unidad de impulsión.
- Unidad de filtraje.
- Unidad de fertilización.
- Unidades de comando y control.

Funciones de los principales componentes del cabezal:

a) Unidad de impulsión

Es una de las principales unidades de un sistema de riego presurizado, ya que la fuente impulsora es la que debe otorgar presión y caudal de agua para la correcta operación del sistema. Los caudales y presiones proporcionados por las bombas, están definidos por la potencia, las re-

voluciones por minuto a las cuales funciona y el diámetro del rodete. Es muy importante contar con una bomba que entregue el caudal y la presión requerida por el sistema con una alta eficiencia, lo que implica una menor potencia para realizar este trabajo y por consiguiente un menor consumo de energía al reponer los requerimientos de riego del cultivo.

b) Unidad de filtraje

Es una unidad muy importante y estratégica en el cabezal, dado que su acción impide el taponamiento de emisores. La selección del sistema de filtrado depende mucho del origen de la fuente de agua. Cuando el agua es de canal o río debieran utilizarse filtros con sistema autolimpiable (filtro de grava autolimpiable más filtro de malla manual; filtro de malla autolimpiable o filtro de anilla autolimpiable) y contar además con un sistema de prefiltro (**Foto 9**), que permita eliminar las partículas más gruesas antes de ingresar a los filtros.

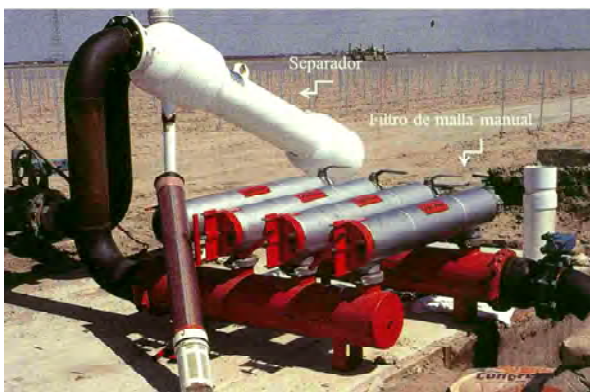


Foto 9. Prefiltro formado por un desarenador y un tranque de acumulación nocturna.

Si por el contrario la fuente es agua subterránea, basta con un filtro de malla o anilla manual. Si el pozo o la noria están entregando arena es necesario agregar un filtro que las detenga, ya sea un hidrociclón o un separador de arena (**Foto 10**).

La obturación de los emisores, como se indicó, es uno de los problemas más importantes de los sistemas de riego localizado. Suele producirse por partículas minerales (arena, limo, arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias, restos de plantas o animales), y sales precipitadas

Foto 10.
Cabezal equipo de riego localizado filtrando agua de pozo. Tiene solo filtros de Malla manual. Además, tiene un separador debido a que el pozo tira arena.



que provienen de los fertilizantes añadidos, o las que están presentes en el agua de riego. Si se producen obturaciones, el costo de mantenimiento de la red será mayor, la duración de los componentes de la instalación se verá reducida y el agua de riego se aplicará con mayor desuniformidad e incluso con caudales inferiores a los de diseño del equipo. Para impedir este problema todo cabezal debe contar con filtros; los filtros más usuales son:

Filtros de arena o grava (Foto 11). Se usan fundamentalmente para retener las partículas de limo, arenas finas o partículas orgánicas en suspensión. Son depósitos con arena o grava por la que circula el agua, dejando partículas minerales u orgánicas retenidas en los espacios que dejan las gravas. El diámetro del tanque está relacionado directamente con el caudal que se desea tratar (**Cuadro 13**), utilizándose como refe-

Foto 11.
Filtro de grava.



Cuadro 13. Caudal máximo que limpia un sistema de filtraje con arena, de acuerdo a diámetro y número de filtros.

Nº unidades	Diámetro (pulgadas)	Caudal máximo	
		(L/min)	(L/s)
1	24"	210	3,50
1	32"	390	6,50
2	24"	470	7,83
2	32"	840	14,00
2	36"	1.060	17,67
3	36"	1.600	26,67
2	48"	1.900	31,67
3	48"	2.850	47,50

rencia tasas de filtraje entre 10 y 15 l/s/m² de superficie filtrante. La limpieza de estos filtros se hace invirtiendo el flujo, lo que se logra con la apertura y cierre de la válvula (**Figura 37**). La operación de retrolavado debe efectuarse frecuentemente para que no se produzca disminución en la presión de operación del sistema, permitiéndose pérdidas de carga no superiores a los 4 a 6 metros columna de agua (m.c.a.) entre la entrada y salida de los filtros.

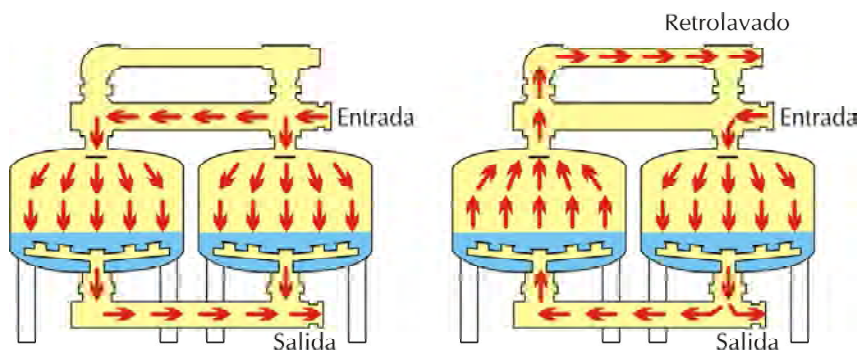


Figura 37. Filtro de grava en modo de filtración (izquierda) y en modo de retrolavado (derecha).

Filtros de malla (Foto 12). Los filtros de mallas retienen todo tipo de sólidos en suspensión. Las impurezas se retienen en la superficie de la malla que lo compone (Foto 12b), las cuales se fabrican en material no corrosivo (acero, plástico). A diferencia de los filtros de arena que trabajan por superficie y profundidad, los filtros de malla sólo lo hacen por superficie. Los filtros de malla fina de acero inoxidable permiten filtrar un caudal máximo de $250 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 de superficie filtrante y de nylon $100 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. En un filtro de malla las pérdidas de carga (diferencia entre el manómetro de entrada y salida del filtro), cuando está limpio, varían de 1 a 3 m.c.a. Los filtros deben limpiarse o retrolavarse cuando la diferencia entre la presión de entrada y salida del filtro aumenta, sobre los valores indicados, en 3 m.c.a.



Foto 12a. Filtro de malla de retrolavado automático.



Foto 12b. Filtro de malla manual.

Filtros de anillas (Foto 13). Los filtros de anillas tienen el mismo campo de aplicación que los filtros de malla y, aunque los principios de funcionamiento son diferentes, se puede utilizar indistintamente uno u otro. En el filtro de anillas, el elemento filtrante está constituido por un cartucho de anillas ranuradas, que se aprietan unas con otras, dejando pasar el agua y reteniendo aquellas partículas cuyo tamaño sea mayor al de paso de las ranuras. En algunos modelos de anillas, el recorrido del agua a través de las ranuras es bastante sinuoso, lo que según sus fabricantes le da al filtrado ciertas características de "profundidad", similares a las de los filtros de arena. La limpieza de los filtros de anillas se realiza soltando el cartucho, separando las anillas y sometiéndolas a la acción de un chorro de agua a presión, que arrastra las partículas retenidas. El lavado antes descrito se puede realizar en forma manual o automática dependiendo del modelo del filtro.



Foto 13. Cabezal de riego con filtro de anilla autolimpiable.

Al igual que en los filtros de malla, el tamaño de las partículas que es capaz de retener un filtro de anillas se suele dar por medio del número de mesh. En este caso el número de mesh para un filtro de anillas se establece por comparación, asignándole al filtro el número de mesh correspondiente al filtro de malla que retiene partículas del mismo tamaño. Los filtros de anillas, al igual que el resto de los elementos de filtrado, no deben provocar pérdidas de carga excesivas en la red. Las pérdidas de carga con un filtro limpio, para su caudal de funcionamiento, deben ser del orden de 2 m.c.a. y se debe proceder a su limpieza cuando dicho valor alcance los 5 m.c.a. Los fabricantes deben suministrar los datos de pérdida de carga que producen los filtros en función del caudal, para cada uno de los modelos.

En los últimos años se han desarrollado filtros de malla o de anilla de retrolavado automático que han tendido a reemplazar los filtros de grava autolimpiable mas filtro de malla manual, ocupando menos espacios en las casetas de riego.

La selección de los filtros se realiza en función de la cantidad de agua a filtrar y de las pérdidas de carga que se producen en el filtro, información que es proporcionada por los fabricantes

C) Unidad de fertilización

Actualmente existen diversos sistemas de inyección de fertilizantes y productos químicos a la red de riego. En general los sistemas más utilizados son los que se describen a continuación:

Tanque de fertilización con inyección en sistema Venturi (Figura 38).

Los venturi son dispositivos 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 permite el aumento de la velocidad del agua, para luego ensancharse gradualmente. El venturi funciona cuando hay diferencia entre la presión del agua entrante y saliente al sistema de riego. Este dispositivo generalmente se

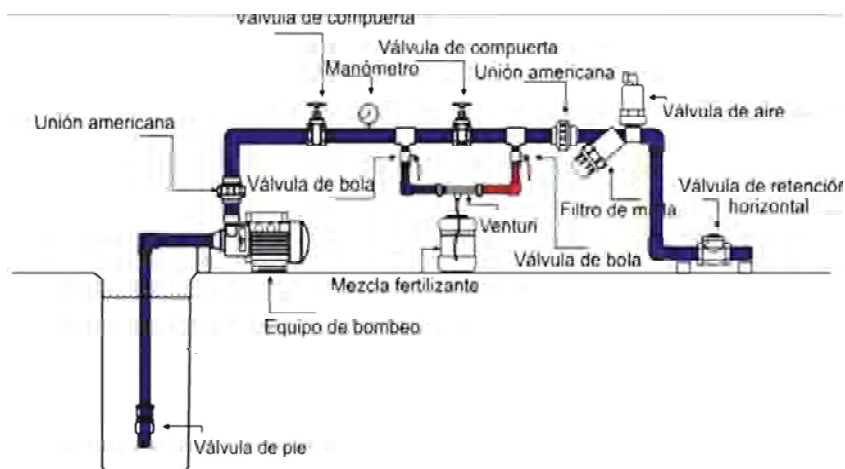


Figura 38. Cabezal de riego con una unidad de inyección de fertilizante formada por un Venturi.

instala en paralelo al flujo de agua (Figura 38), debido a que el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi. Por este motivo los dispositivos más utilizados se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión. Para seleccionar el venturi apropiado se requiere conocer el caudal del equipo, el caudal de inyección y la diferencia de presión requerida en el venturi. A continuación se presenta en el **Cuadro 14**, el rango de succión del Venturi frente a diferentes presiones. Este tipo de inyector se utiliza especialmente en superficie pequeña, principalmente invernaderos por sus bajas tasas de inyección de fertilizante.

Inyector de fertilizante con motobomba de acero inoxidable:

Estos inyectores al igual que el sistema anterior utilizan un estanque abierto en el que se agrega el fertilizante, siendo luego inyectado éste a la red a través de motobombas centrífugas de acero, como la de las **Fotos 14 y 15**.

Este tipo de inyector también puede incluir un sistema de monitoreo del pH y conductividad eléctrica.

Las tasas de inyección de estos sistemas son mayores a las de los Venturi solos, los cuales

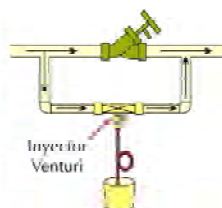


Foto 14.
Inyector
fertilizante
Venturi.



Foto 15. Sistema de inyección de fertilizante con bombas de acero inoxidable y sistema de control de pH y conductividad eléctrica.

Cuadro 14. Rango de succión de Venturi frente a diferentes presiones.

Presión Entrada (m.c.a)	Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081	
	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)
14,1	0,0	8,7	58,1	15,3	106,0	31,0	235,5	45,0	302,8	90,5	681,3	272,5
	3,5	8,7	58,1	15,9	87,1	31,0	235,5	45,0	283,9	86,7	643,5	272,5
	7,0	8,1	41,6	15,1	49,2	29,9	170,3	43,6	189,0	81,0	454,2	272,5
	8,4	7,9	30,3	14,8	34,1	29,1	143,8	40,5	140,0	78,9	359,6	250,7
	10,5	7,8	7,6	14,4	7,6	28,4	37,9	39,4	76,7	77,2	170,3	240,7
21,1	0,0	10,2	68,1	19,7	106,0	36,7	227,1	52,2	283,9	104,5	651,3	314,2
	3,5	10,2	68,1	19,7	98,4	36,7	227,1	52,2	283,9	104,5	651,3	314,2
	7,0	10,2	68,1	18,9	87,1	36,7	227,1	52,2	283,9	102,2	651,3	314,2
	10,5	9,8	49,2	18,2	68,1	36,0	196,8	50,3	221,1	98,0	514,8	310,4
	14,1	9,7	26,5	17,4	34,1	34,8	113,6	48,4	136,3	95,8	521,7	295,2
28,1	17,6	s/i	s/i	17,0	0,0	34,1	0,0	46,6	0,0	92,7	0,0	265,8
	0,0	11,7	68,1	22,0	94,5	40,9	227,1	59,0	283,9	117,7	681,3	348,2
	3,5	11,7	68,1	22,0	94,5	40,9	227,1	59,0	283,9	117,7	681,3	348,2
	7,0	11,7	68,1	22,0	94,5	40,9	227,1	59,0	283,9	117,7	681,3	348,2
	10,5	11,7	68,1	21,6	94,5	40,9	227,1	59,0	283,9	116,2	681,3	348,2
35,2	14,1	11,4	68,1	20,8	76,7	40,9	227,1	57,9	272,9	114,3	681,3	344,4
	17,6	11,2	41,6	20,4	49,2	39,7	170,3	56,8	196,8	113,6	307,4	336,9
	21,1	10,8	11,4	20,1	18,9	39,4	76,7	54,0	113,6	107,5	170,3	329,3
	0,0	12,9	64,3	24,2	94,6	45,4	227,1	64,7	283,9	129,4	581,3	382,3
	7,0	12,9	64,3	24,2	94,6	45,4	227,1	64,7	283,9	129,4	581,3	382,3

Continuación Cuadro 14.

Presión Entrada (m.c.a)	Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081	
	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)
10,5	12,9	64,3	24,2	94,6	45,4	227,1	64,7	283,9	129,4	581,3	382,3	1892,5
14,1	12,9	64,3	23,8	94,6	45,4	227,1	64,7	283,9	128,7	581,3	382,3	1892,5
17,6	12,9	56,8	23,5	90,8	45,0	227,1	64,3	283,9	127,2	562,4	382,3	1892,5
21,1	12,1	56,8	23,1	71,9	44,7	205,2	64,0	249,8	124,9	529,9	370,9	1551,9
24,5	12,3	30,3	22,7	41,6	44,3	132,5	82,8	177,9	122,3	340,7	367,1	1158,2
28,0	11,9	3,6	18,9	7,8	43,5	45,4	80,8	88,1	120,0	56,8	359,6	212,0
42,2	0,0	14,0	64,3	26,1	84,6	49,2	227,1	70,0	283,9	140,0	681,3	420,1
7,0	14,0	64,3	26,1	84,6	49,2	227,1	70,0	283,9	140,0	681,3	420,1	1892,5
14,1	14,0	64,3	26,1	84,6	49,2	227,1	70,0	283,9	140,0	681,3	420,1	1892,5
17,6	14,0	64,3	26,1	84,6	49,2	227,1	70,0	283,9	140,0	681,3	420,1	1892,5
21,1	14,0	64,3	26,1	84,6	49,2	227,1	70,0	283,9	140,0	681,3	420,1	1892,5
24,6	13,8	60,6	25,4	75,7	49,2	227,1	69,6	272,5	138,5	613,2	416,4	1665,4
28,1	13,6	45,4	25,0	58,8	48,8	195,8	68,9	227,1	135,5	473,1	408,8	1551,9
31,8	13,2	18,9	24,6	26,5	47,7	102,2	67,0	136,3	132,5	246,0	405,0	757,0
49,2	0,0	15,0	64,3	28,0	94,6	53,0	227,1	74,9	283,9	153,3	454,2	1892,5
7,0	15,0	64,3	26,7	94,6	53,0	227,1	74,9	283,9	153,3	681,3	454,2	1892,5
14,1	15,0	64,3	26,0	94,6	53,0	227,1	74,9	283,9	153,3	681,3	454,2	1892,5
21,1	15,0	64,3	28,0	94,8	53,0	227,1	74,9	283,9	153,3	681,3	454,2	1892,5
24,6	15,0	64,3	26,0	94,8	53,0	227,1	74,9	283,9	153,3	681,3	454,2	1892,5
28,1	15,0	64,3	27,6	87,1	53,0	227,1	74,5	266,0	151,4	624,5	454,2	1892,5
31,5	14,8	56,8	27,3	84,3	52,2	215,7	73,8	227,1	149,1	514,8	446,6	1416,6

Continuación Cuadro 14.

Presión Entrada (m.c.a)	Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081	
	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)
56,2	35,2	14,6	34,1	25,9	41,5	170,3	73,1	151,4	146,9	321,7	442,8	1400,5
	38,7	14,2	7,5	26,5	15,1	83,3	72,3	75,7	144,2	75,7	431,5	454,2
	0,0	15,9	64,3	29,5	94,6	227,1	82,1	283,9	162,8	681,3	484,5	1892,5
	14,1	15,9	64,3	29,5	94,6	227,1	82,1	283,9	162,8	681,3	484,5	1892,5
70,3	21,1	15,9	64,3	29,5	94,6	227,1	82,1	283,9	162,8	681,3	484,5	1892,5
	24,8	15,9	64,3	29,5	94,6	227,1	82,1	283,9	162,8	681,3	484,5	1892,5
	28,1	15,9	64,3	29,5	94,6	227,1	82,1	283,9	162,8	681,3	484,5	1892,5
	31,5	15,9	64,3	29,1	90,8	227,1	82,1	283,9	152,0	682,4	484,5	1892,5
70,3	35,2	15,9	64,3	28,8	75,5	227,1	81,0	268,7	150,9	557,6	484,5	1892,5
	38,7	15,7	45,4	28,4	53,0	189,3	80,2	230,9	159,0	473,1	480,7	1818,8
	42,2	15,4	30,3	28,0	30,0	113,6	79,5	158,0	157,1	325,5	469,3	1211,2
	45,7	15,2	0,0	27,6	3,8	34,1	78,3	49,2	155,2	56,8	465,6	418,4
70,3	0,0	17,8	64,3	33,7	94,6	227,1	92,0	283,9	181,7	681,3	545,0	1892,5
	14,1	17,8	64,3	33,7	94,6	227,1	92,0	283,9	181,7	681,3	545,0	1892,5
	28,1	17,8	64,3	33,7	94,6	227,1	92,0	283,9	181,7	681,3	545,0	1892,5
	39,2	17,8	64,3	33,7	94,6	227,1	92,0	283,9	181,7	681,3	545,0	1892,5
70,3	42,2	17,8	54,3	33,7	94,6	227,1	92,0	283,9	181,7	681,3	545,0	1892,5
	45,7	17,6	54,3	33,3	83,3	227,1	91,6	283,9	180,5	524,5	546,0	1892,5
	49,2	17,4	49,2	32,9	68,1	215,7	90,8	349,8	177,9	514,8	541,3	1779,0
	52,7	17,3	30,3	32,6	45,4	170,3	80,1	212,0	176,0	302,8	537,5	1285,9
56,2	17,0	3,8	32,2	15,1	51,3	90,8	88,6	113,6	174,1	132,5	529,9	681,3

depende de la potencia de la motobomba de acero inoxidable que deben vencer la presión a que se encuentra el agua en el cabezal (entre 3 a 5 bares).

Bomba de inyección hidráulica: en este tipo de inyector el motor se sustituye por uno de accionamiento hidráulico, que usa la propia energía del agua de la red para mover sus mecanismos. En general este tipo de inyector consume 2 a 3 veces el volumen de líquido inyectado. El principal inconveniente que presenta es su difícil mantención. En general tienen bajas tasas de inyección por lo cual se utilizan solo en equipos pequeños (**Foto 16**).



Foto 16. Inyector hidráulico.

Inyección a través de la succión de la motobomba de riego: muchos agricultores usan como inyector de fertilizante la propia bomba del sistema de riego. En este caso, la mezcla de fertilizante es ubicada en un tanque para luego ser aspirada por la bomba. A pesar de su bajo costo, este sistema no es recomendable debido al deterioro anticipado del rotor de la bomba (**Foto 17**).

La unidad de inyección de fertilizante además debe incluir un agitador de la solución de fertilizante para lograr una aplicación homogénea. La solución puede ser agitada con una bomba de aire (**Foto 18**) o un aspa impulsada por un motor (**Foto 19**).



Foto 17. Rodete de una bomba centrífuga desgastado en forma prematura por el paso de fertilizantes y ácidos.

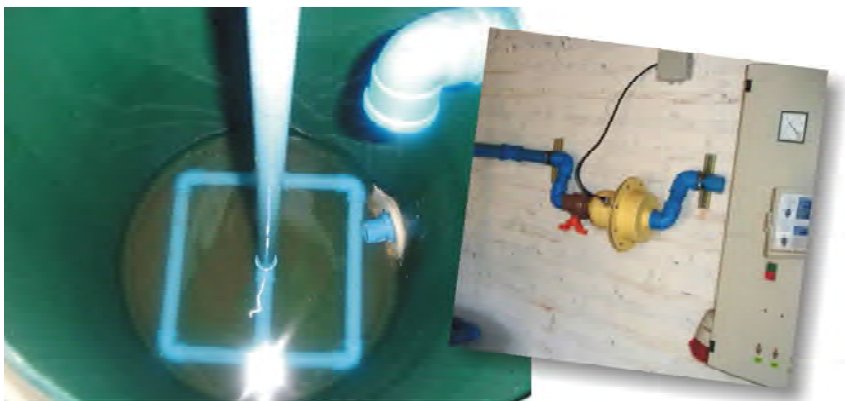


Foto 18. agitadores con bomba de aire.



Foto 19. agitador de fertilizantes a través de aspas en tanques inyector.

Es recomendable que en la unidad de fertilización se incluya un flujómetro o caudalímetro para conocer en terreno el caudal de inyección del fertilizante. Estos dispositivos están compuestos por dos partes principales, un tubo cónico y un flotador libre de movimiento cuya posición dentro del tubo es proporcional al flujo del fluido. La parte anterior del flujómetro es de vidrio y posee una escala graduada en la que puede leerse directamente el valor del caudal, de acuerdo a la posición del flotador (**Figura 39**).

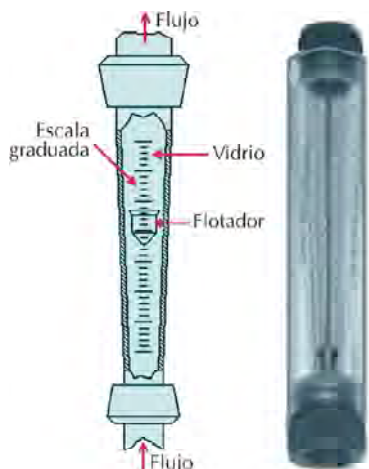


Figura 39. Flujómetro o medidor de caudal.

Unidad de comando y control de flujo. Son elementos electrónicos que permiten el accionamiento de la red y a la vez operar en forma secuencial el riego en distintos sectores. Se usan también para automatizar el proceso de limpieza de filtros. Esta unidad debe a lo menos estar formada por un tablero eléctrico y un reloj que permita automatizar la partida de la motobomba y la apertura de los sectores de riego. El tablero eléctrico (**Foto 20**), debiera incluir un amperímetro, un voltímetro y un horómetro,

que permita verificar el buen funcionamiento del sistema eléctrico. Cada vez adquiere más importancia la incorporación de válvulas volumétricas para el control real del agua que se aplica en cada riego.



Foto 20. Tablero eléctrico con reloj control que permita automatizar la partida de la motobomba y la apertura de los sectores de riego.

5.1.2 Redes de distribución

Las tuberías que se utilizan en las instalaciones de riego localizado y aspersión fija con micro aspersores son fundamentalmente de PVC y PE y últimamente de polipropileno y polibutireno. El conjunto de tuberías deben ser capaces de conducir, con la mayor eficiencia posible, el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la planta.

Las tuberías de una red de riego desde el cabezal al cultivo se clasifican en:

- **Principal o matriz:** conduce todo el caudal requerido por los diferentes sectores de riego, es la de mayor diámetro, usualmente es de PVC. Su función es conducir el agua hasta cada sector de riego; se instala bajo tierra a una profundidad mínima de 80 cm.
- **Terciarias, sub matriz o portallaterales:** estas son tuberías que distribuyen el agua hacia los goteros, o microaspersores actuando como cabecera de la línea portagoteros o lateral. Son generalmente de PVC y de diámetro más pequeño que las matrices, pudiendo combinarse varios diámetros en su diseño.
- **Laterales o porta emisores:** en estas tuberías se insertan los emisores (goteros, o microaspersores).



Foto 21. Redes de distribución de un sistema de riego localizado.

5.1.3 Emisores

Corresponden a los dispositivos que controlan la salida del agua desde las tuberías laterales localizando el agua cerca de la zona radical del cultivo.

Los emisores se clasifican de acuerdo al comportamiento del caudal emitido por el emisor respecto a su presión de funcionamiento, existiendo emisores autocompensados, en donde frente a una variación de la presión, el cambio del caudal emitido es mínimo, dentro de ciertos rangos; y los no autocompensados, donde la relación es más directa, es decir, a mayor presión mayor caudal. En la **Figura 40** se muestra la relación que existe entre la presión de operación del emisor y su descarga.

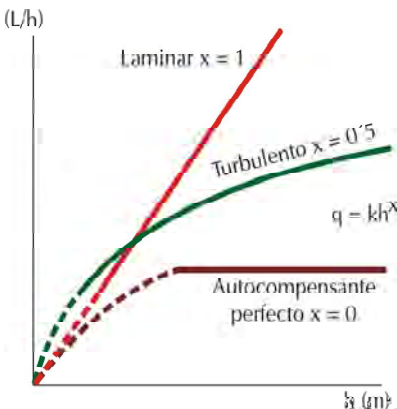


Figura 40. Curva característica de emisores de riego.

La descarga del emisor se expresa como un caudal nominal, sin embargo este puede variar con la presión de operación del equipo, como se muestra en la gráfica de la **Figura 41**. Por ejemplo, un emisor que tiene una descarga nominal de 3,8 L/h (línea roja en la figura) entrega este caudal con una presión de 1

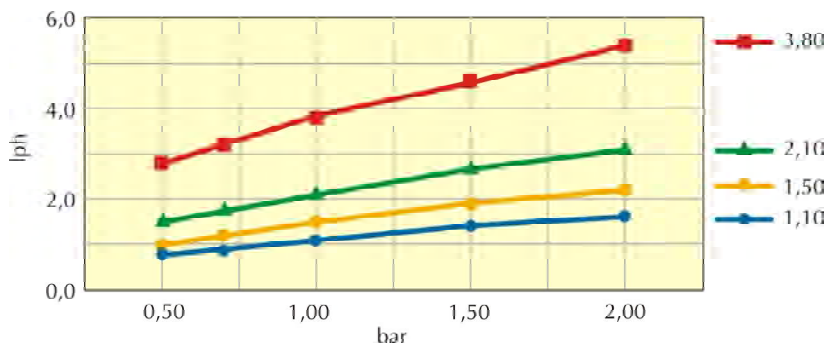


Figura 41. Relación entre la presión y el caudal entregado por un emisor normal.

bar (10 m.c.a), sin embargo con una presión de 1,5 bar (15 m.c.a), la descarga de este mismo emisor aumenta a 4,6 L/h. Si la presión disminuye a 0,5 bar (5 m.c.a), la descarga disminuye a 2,8 L/h. De aquí deriva la importancia de conocer en terreno la descarga de los emisores y su uniformidad.

En el caso de microaspersores, no sólo interesa seleccionar estos emisores por caudal y presión, sino también por el patrón de mojamiento que presentan, el cual depende del tipo de boquilla. Según el modelo y marca, el patrón de mojamiento de un microaspersor puede ser muy diferente. Existen microaspersores con un patrón de mojamiento homogéneo, mientras otros tienen áreas con mayor o menor precipitación, es por esto, que al momento de elegir el emisor debe pedirse al fabricante las características del patrón de mojamiento y como este puede cambiar por ejemplo de acuerdo a las presiones de trabajo.

Uno de los puntos más importante que deben cumplir los equipos de riego localizado o de aspersión fija es que la lamina de riego que entreguen sea capaz de suplir los requerimientos de riego del cultivo (Capítulo 4), que el área de suelo que se moje sea la adecuada, que el reparto de agua a las planta sea uniforme; que el consumo de energía sea razonable y que el predio disponga del caudal necesario para suplir los requerimientos de riego del cultivo. Este último tema se tocó en el Capítulo 4.

5.2 Capacidad del equipo de riego

Es importante que el equipo de riego entregue una lámina igual o un poco superior que los requerimientos de riego del cultivo, de manera de lograr con esto el máximo potencial productivo de la zona, si no hay otro factor que la limite. Muchos equipos, por ahorrar costo de inversión, se diseñan con lámina de reposición que son inferiores a los requerimientos de riego de los cultivos. Por lo anterior, antes de proyectar un equipo se deben conocer los requerimientos de riego de la especie (Capítulo 4).

En el **Cuadro 15** se presenta un ejemplo donde se puede conocer la capacidad de un equipo de riego, instalado o que se pretende emplatizar, a partir de algunas de sus características como: Caudal del emisor, número de emisores por hectárea que tiene el equipo, número de sectores de riego del equipo y el tiempo de operación máximo diario.

Cuadro 15. Capacidad máxima de riego de un equipo por micro aspersión en paltos.

Caudal emisor = q_e	45 l/h
Nº emisores por ha = N_e	417,0
Intensidad de precipitación del equipo = IPP	1,88 mm/h
Nº de sectores del equipo = NS	6
T operación = T.O.	20,0 h/día
T riego max = T_r máximo	3,3 h/día
Lámina de riego máxima equipo	6,3 mm/día
Donde IPP = $(q_e \times N^\circ \text{ emisores por ha}) / 10000$; T riego Max = T operación / Nº de sectores del equipo	

De los datos obtenidos en el Cuadro 15 se observa que si las necesidades de riego máxima (NB) del huerto de palto fuera 5,1 mm/día, como la del ejemplo 4.2.6 del Capítulo 4, este equipo podría suplirlas sin problema, incluso estaría sobre dimensionado. Este equipo puede reponer la demanda máxima de las plantas del ejemplo del capítulo 4 en menos de 20 horas diaria, ya que su lamina de riego (6,3 mm/día) es superior a las necesidades de riego del cultivos (5,1 mm/día).

5.3 Porcentaje de suelo mojado

Hasta qué punto se puede reducir el volumen de suelo mojado sin reducir los rendimientos es una cuestión muy importante sobre la cual los conocimientos son limitados. Una cifra del 30 a 40% es generalmente aceptada. Por debajo de esto se corre el riesgo de que sea insuficiente. Por encima de esos valores la situación es más segura. En observaciones realizada en terreno en cultivos frutales se ha visto que en suelos arenosos o franco arcillosos a arcilloso es necesario utilizar porcentaje de suelo mojado más altos que el 30 a 40%.

El valor del porcentaje de suelo mojado recomendado en función del tipo de cultivo, del clima y del tipo de suelo es el que se muestra en el **Cuadro 16**.

Cuadro 16. Porcentaje de suelo mojado recomendado en función del tipo de cultivo. Estos valores varían del inferior al superior al aumentar la aridez del clima y cuanto más arenosa o arcillosa sea la textura del suelo.

Cultivo	PSM (%)
Vides	30 - 40
Frutales	40 - 50
Hortalizas	55 - 65

El porcentaje de suelo mojado, PSM , se puede estimar como:

$$\text{Porcentaje de suelo mojado (PSM)} = \left(\frac{\text{Área mojada por emisores}}{\text{Área total}} \right) \times 100$$

5.4 Uniformidad del equipo de riego

El hecho de aplicar un programa de riego en base a registros y cálculos no asegura el éxito productivo, ya que existen una serie de factores que podrían estar provocando problemas en la operación de un equipo de riego: obturación de emisores, taponamiento de filtros, roturas de red de riego, problemas eléctricos, diseño, etc, y en consecuencia, no se esté entregando el agua necesaria para el cultivo, lo cual se ve reflejado en la relación presión/caudal necesaria para el buen funcionamiento del equipo de riego. Es necesario entonces contar con un sistema de control de la operación del equipo de riego.

El control de operación de los equipos de riego se debe realizar tanto a nivel del centro del control como a nivel de sectores de riego, evaluando caudal y presiones

5.4.1 Control de presión y amperaje en el cabezal de riego

Los manómetros y el amperímetro son dos elementos indispensables en todo cabezal de riego para conocer el funcionamiento del equipo. Se debe por lo tanto llevar un control y registro permanente de ellos en cada sector de riego y compararse con los valores del normal funcionamiento del equipo (dejados por la empresa instaladora del sistema de riego). En el **Cuadro 17** se presenta una interpretación de lecturas del amperímetro y manómetros en relación con el funcionamiento del equipo de riego, respecto al modo normal de operación.

Cuadro 17. Problemas en el equipo de riego que causan variación en amperímetros y manómetros.

Ampe- rímetro	Manómetro filtro arena entrada	Manómetro filtro arena salida	Manómetro filtro malla o anillas salida	Descripción del problema
Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Rotura en red de riego y/o más de 1 sector abierto
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Succión de bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua
Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Filtro de arena sucio
Bajo	Alto	Alto	Alto	Válvula en la red cerrada
Bajo	Alto	Alto	Bajo	Filtro de malla sucio

La clasificación "alto o bajo" indicada en el cuadro anterior es en relación a los valores de normal funcionamiento del equipo.

Además de los amperímetros y manómetros, los equipos pueden incluir medidores volumétricos, de pH y conductividad eléctrica (CE).

Ambos instrumentos, si están insertos en el sistema de riego, permiten controlar la inyección de fertilizantes y ácidos al sistema, manteniendo los índices requeridos dentro de un rango adecuado.

Los medidores volumétricos complementan la información entregada por amperímetros y manómetros al permitir conocer los volúmenes reales de agua entregados a cada sector, respecto del caudal nominal con que fueron diseñados. Estas alteraciones muchas veces no son detectadas oportunamente por el operador del equipo, al no disponer de esta instrumentación, pudiéndonos llegar a ocasionar graves daños en la producción. Las variaciones de los volúmenes reales registrados por el medidor volumétrico, respecto de los nominales se indican en el **Cuadro 18**.

Cuadro 18. Descripción de problemas en equipo de riego que causan variación en el volumen real respecto del volumen nominal.

Volumen real del equipo respecto al nominal	Causa del problema
Alto	Rotura de la red de riego y/o más de un sector abierto.
Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua.
Bajo	Filtro de arena o malla sucio.
Bajo	Válvula en la red cerrada (red obstruida).
Bajo	Emisores tapados

5.4.2 Control de la presión y descarga de los emisores de riego

Otra forma de conocer y prevenir problemas de aplicación de volúmenes de agua es realizar controles periódicos de presión y aforo en las líneas de riego de los diferentes sectores y subsectores.

Para medir la presión de funcionamiento de los emisores se debe realizar con un manómetro al final del lateral de riego y a la salida de la válvula del sector de riego (**Foto 22**).



Foto 22. Medición de presión al final del lateral y en la válvula del sector de riego.

Este control debe realizarse, por lo menos una vez al mes. Si los emisores no son autocompensados y existe sobre presión en las laterales se está aplicando más agua que la calculada en forma teórica. Por el contrario, si la presión está por debajo de la presión normal de funcionamiento, se estará regando menos que lo calculado.

Para medir el caudal que entregan los emisores se usa un recipiente aforado y un cronómetro (**Foto 23**).



Foto 23. Aforo de goteros y microaspersores.

El caudal se determina estableciendo una razón entre el volumen de agua colectado y el tiempo en que se colectó este volumen.

$$Q \text{ (L/h)} = (\text{Volumen (cc)}/T \text{ (s)}) \times 3,6$$

Donde

Q = Caudal del emisor (L/h).

V = volumen colectado, en centímetros cúbicos (cc).

T = tiempo en segundos (s).

3,6 es un factor de corrección para transformar cc/s en L/h.

Comúnmente todos los cálculos para programación de riego se realizan según el caudal nominal de fabricación del emisor, utilizado en el diseño del equipo; sin embargo este caudal varía con la presión de funcionamiento, temperatura y el grado de obstrucción que presenten los emisores. Por lo tanto, es muy importante determinar el caudal real que entregan los emisores para ajustar los tiempos de riego considerando los valores reales de descarga que estos presenten.

Por otra parte, las diferencias de presión o la obturación de los emisores no se produce por igual en todos los emisores del sector de riego, produciéndose una falta de uniformidad en la entrega de agua. Al existir desuniformidad en el caudal de emisores, algunas plantas estarán recibiendo menos y otras más agua de la que realmente necesitan, y se produce entonces una baja eficiencia, pérdida de productividad y en el caso de cultivos sensible a la falta de oxígeno en el suelo, asfixia de plantas en algunos sectores.

Para comprobar el grado de uniformidad del sistema de riego se debe medir el coeficiente de uniformidad (CU, índice de homogeneidad de la descarga) en cada unidad de riego.

a) Coeficiente de Uniformidad (CU)

Este coeficiente es un indicador de la uniformidad del reparto de agua de un sector de un sistema de riego localizado o de aspersión fija. Conocer el CU es indispensable para dosificar el agua y los elementos aportados con ella (abonos, pesticidas, etc). Incluso, la calidad de los equipos de riego se define por la magnitud del coeficiente de uniformidad (**Cuadro 19**).

Un bajo CU en un sistema de riego es señal de que pueden existir los siguientes problemas:

- Mal diseño.
- Falta de regulación de presiones en el equipo.
- Obturación de los emisores.

Para medir el coeficiente de uniformidad en sistemas de riego localizados se deben seguir los siguientes pasos:

Cuadro 19. Calificación de uniformidad de riego de acuerdo a CU calculado.

Valor de CU	Calificación
Mayor de 94%	Excelente
De 86% a 94%	Buena
De 80% a 86%	Aceptable
De 70% a 80%	Pobre
Menor de 70%	Inaceptable

Riego Localizado (Goteo o microaspersión)

- Efectuar una revisión y limpieza de todos los elementos del cabezal, comprobando que la presión que llega al sector a controlar sea la adecuada, de acuerdo al diseño.
- Regular la presión en cada sector de riego.
- Seleccionar en cada sector o subsector de riego cuatro líneas porta emisores (tuberías laterales); una línea cercana a la válvula, otra al término de la terciaria, y dos intermedias.
- De cada línea portagoteros elegida se seleccionan 4 emisores, uno en cada extremo de la lateral y dos intermedios. Todos los emisores elegidos se numeran y se marcan para sucesivos controles.
- Se mide la presión a la salida de la válvula solenoide y en las colas de cada una de las laterales seleccionadas.
- Se recoge el caudal de cada uno de los emisores en un tiempo igual para todos. El agua se recoge en un recipiente y se afora en una probeta graduada.

La forma en que se distribuyen los emisores a aforar se presentan en las **Figuras 42 y 43**.

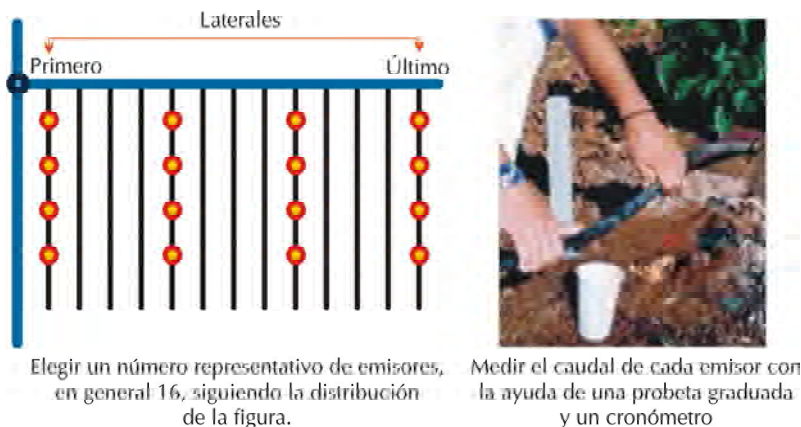


Figura 42. Distribución de emisores a aforar para determinar el coeficiente de uniformidad en riego localizado.



Figura 43. Esquema general de la distribución de emisores a aforar en un equipo de riego localizado para la determinación del CU.

5.4.2.1 Ejemplos de cálculo de Coeficiente de Uniformidad riego localizado (goteo)

Tal como se observa en la Figura 42, se seleccionaron 16 emisores, se regularon las presiones de los sectores de riego y luego se procedió a medir el caudal de cada emisor seleccionado mediante una probeta y un cronómetro.

Una vez colectados los 16 datos del sector, y determinado los caudales, se calcula el coeficiente de uniformidad, de la siguiente manera:

a) Datos colectados (Caudal (l/h) de los 16 emisores seleccionados).

Ubicación del lateral	Primer emisor	Emisor 1/3	Emisor 2/3	Último emisor	Presión (mca)	
					Inicial	Final
Primero	4,5	4,7	4,8	2,9	5	11
1/3	4,8	4,9	4,2	4,5	10	11
2/3	4,2	4,5	4,9	4,7	10	10
Último	4,5	3,4	4,2	4,0	10	10

b) Emisores ordenados de mayor a menor Caudal (l/h).

4,9	4,7	4,5	4,2
4,9	4,7	4,5	4,0
4,8	4,5	4,2	3,4
4,8	4,5	4,2	2,9

$$(1) \ q \ 25\% = 3,63$$

$$(2) \ q_a = 4,36$$

$$(3) \ CU = 83,21$$

CALIFICACIÓN DEL SECTOR
ACEPTABLE

$$(4,2+4,9+3,4+2,9)/4 = 3,63$$

$$(4,9+4,9+4,8+4,8+4,7+4,7+4,5+4,5+4,5+4,5+4,2+4,2+4,2+4,3+4,2+2,9)/16 = 4,36$$

$$CU = (3,63/4,36) \times 100 = 83,21\%$$

La medición de CU se debe realizar en cada sector de riego especialmente al recibir el equipo por parte de la empresa instaladora. Además es recomendable realizar esta medición una a dos veces por temporada de riego, por lo menos en los sectores más críticos. Las mediciones de presiones se pueden realizar en forma periódica, ya que es una operación fácil y rápida. Recordar que la equivalencia entre estas unidades es: $1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 10 \text{ mca} = 14,7 \text{ psi} = 1 \text{ kg/cm}^2$.

5.4.3 Mantenición de los equipos de riego

Para mantener un adecuado funcionamiento de los equipos de riego localizado hay que preocuparse de realizar una mantención, tanto a nivel de cabezal, red de tuberías y emisores. Esta es la única forma que los equipos conserven sus condiciones de operación de acuerdo al diseño original.

La mantención del sistema de riego es el conjunto de operaciones destinadas a que el equipo funcione en óptimas condiciones. El principal problema de un sistema de riego localizado es la obturación de emisores, por tal razón, el mantenimiento de un equipo de riego está orientado a prevenir las causas que ocasionan este problema, entre ellas están:

- Uso de aguas con alta carga de contaminantes físicos y biológicos.
- Ausencia de filtros o uso inadecuado de ellos.
- Desconocimiento del manejo adecuado de la red de riego.
- Ausencia de un plan de mantención del equipo.

Para establecer un plan de mantención es necesario conocer cada una de las partes del equipo de riego y cuál es su función dentro del sistema. Un sistema de riego presurizado conduce siempre una misma cantidad de agua en un tiempo determinado (caudal) con una presión de trabajo necesaria para que los emisores funcionen correctamente. Cuando los caudales o presiones varían, el sistema acusa problemas.

Un programa de mantenimiento incluye: limpiar los filtros, lavar las líneas, agregar cloro e inyectar ácidos. Si se llevan a cabo estas medidas preventivas, se puede evitar la necesidad de hacer reparaciones mayores, como reemplazar las partes dañadas y se puede extender la vida del sistema.

Es recomendable la realización de controles de la presión de operación en el cabezal de riego, y mediciones de presión y de uniformidad en los sectores de riego como se indicó anteriormente, ya que estos son buenos indicadores del grado de mantención de un equipo. Por ejemplo si CU del equipo disminuye de un año a otro es una señal de que el equipo se está obturando y el plan de mantención no está siendo el adecuado, por lo cual hay que realizar ajustes a este y aplicar tratamientos curativos.

Por lo tanto, para prever problemas es necesario tener un plan de mantención, que consiste en revisar permanentemente el estado y funcionamiento de cada una de las partes del sistema de riego, realizando tratamientos preventivos o curativos que permitan controlar los problemas normales que el sistema presenta por su uso.

5.4.3.1. Lavado de equipos de riego

Las partículas muy finas pasan por los filtros y pueden tapar los emisores. Mientras que la velocidad del agua sea alta y haya turbulencia en el agua, estas partículas permanecerán suspendidas. Si la velocidad del agua se vuelve más lenta o si hay menos turbulencia en el agua, estas partículas se sedimentarán. Esto normalmente ocurre en las puntas distantes de las líneas laterales. Si estas no se lavan, los emisores se taparán y la línea eventualmente se llenará con sedimento.

Los equipos de riego deben ser lavados periódicamente, la frecuencia y tipo de lavado dependerá del tipo de contaminante que se deposite en el interior de las redes de riego.

Para eliminar limos, arcillas u otros lodos, como los que se producen por la descomposición de algas, se puede aplicar un lavado con agua a presión de las tuberías del sistema, utilizando la misma capacidad de bombeo del equipo. Esto permite eliminar los sedimentos, que se depositan en la red de riego, por los desagües (despiches) instalados al final de las terciarias y tuberías laterales o portaemisores (descole), **Foto 24.**

Es importante lavar las líneas por lo menos cada 2 semanas durante la época de riego. El lavado, debe comenzar en el cabezal (filtros) y en la



Foto 24. Lavado de la red de riego con eliminación del agua en la submatriz o terciaria (izquierda) y fin de laterales (derecha).

conducción principal, manteniendo cerradas las válvulas de las unidades de riego. Para hacerlo, conviene instalar válvulas o tapones roscados en los extremos de las tuberías. Una vez aseada la conducción principal, se procede a limpiar la red terciaria o submatriz abriendo las válvulas de bola ubicadas al término de estas (foto 24). Finalmente se lavan todas las laterales del sector, abriendo las colas de 3 a 4 laterales en forma simultánea para mantener una presión adecuada (foto 24).

Este tipo de limpieza se recomienda realizarlo cada dos a tres semanas, dependiendo de las características del agua de riego.

5.4.3.2 Inyecciones de Cloro

Otra causa de obturación de emisores son las algas y bacterias. Para el control de algas y bacterias se pueden realizar aplicaciones de cloro a la red de riego. También para disminuir el problema de alga en el equipo de riego es recomendable en forma preventiva evitar que se desarrollen algas en los tranques o reservorios, de donde bombean los equipos de riego. En el tranque, para evitar el desarrollo de algas, se puede aplicar sulfato de cobre en dosis de 0,5 a 2 ppm (0,5 a 2 g/m³). No se deben usar elementos de aluminio en su preparación debido a la formación de compuestos tóxicos. Otra medida preventiva es poner malla que cubran o sombreen el tranque para evitar el desarrollo de algas a eliminar o disminuir la luz (**Foto 25**).



Foto 25. Izquierda, tranque con algas. Derecha tranque que está cubierto con una malla que reduce el paso de la luz disminuyendo el desarrollo de algas. Los reservorios o tranque de poca profundidad (1 m) desarrollan mas algas que los que tienen un espejo de agua superior a los 2 m.

Cuando las cantidades de algas sobrepasan los niveles normales debe aplicarse sulfato de cobre en dosis de 30 ppm (30 g/m³). Debido a las altas dosis sólo se trata el 25% del volumen de agua y luego de 8 a 12 horas de reposo se diluye llenando el tranque antes de aplicar el agua a la red de riego.

El cloro se comercializa bajo la forma de hipoclorito de sodio al 5% ó 10%. La acción biocida del cloro ocurre en un rango de pH entre 5 y 7,5 siendo óptimo entre 5,5 y 6,0. Para control de algas se debe lograr una concentración de 0,5 - 1 ppm de cloro libre en el último emisor (0,5 ppm para control preventivo y 1 ppm para control curativo). El agua con cloro debe aplicarse por 45 minutos como mínimo, de ser menor el tiempo se puede provocar un efecto contrario, ya que en ese caso las algas se debilitan pero luego reaccionan aumentando rápidamente la cantidad. Para conseguir 0,5 - 1 ppm de cloro libre pueden ser necesarias dosis de 3 - 10 ppm de cloro total. Se puede utilizar un equipo de muestreo para piscinas para determinar el cloro libre o residual al final de la línea lateral.

La frecuencia de esta labor dependerá de la intensidad del problema y la tolerancia del cultivo al cloro. Se puede iniciar con una frecuencia de cada 15 días.

Para calcular la cantidad de hipoclorito de sodio a aplicar a partir de distintas concentraciones de producto comercial se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{NaOCl} = C1 \times Q / ([NaOCl] \times Xa \text{ [ppm]})$$

Donde:

V_{NaOCl} = volumen de hipoclorito a aplicar en litros.

Q = caudal del sistema de riego (l/s o m³/h).

$C1$ = constante 0,295 para caudal en l/s y 0,083 para caudal en m³/h.

$[NaOCl]$ = concentración comercial del hipoclorito de sodio (%).

Xa = concentración de cloro deseada en el punto de inyección (3 a 10 ppm).

Debido a la alta sensibilidad de algunos cultivos a los cloruros, hay que tener cuidado en sus uso para controlar algas.

Los problemas más serios relacionados con las bacterias ocurren en aguas que contienen hierro, manganeso, o sulfuro. Concentraciones de hierro mayores de 0,1 ppm y de manganeso mayores de 0,15 ppm pueden promover el crecimiento bacterial que obstruye los emisores. El crecimiento bacterial por el hierro se ve rojizo mientras que el crecimiento bacterial por el manganeso se ve negro (**Foto 26**).



Foto 26. Casos extremos de baba bacteriana unida a limo y arcilla y depósitos de hierro (derecha) y Manganeso (Izquierda).

Este problema se combate con la aplicación de cloro en las dosis antes indicadas y ácido para evitar la precipitación del hierro (dosis en próxi-

mo capítulo). Si la concentración del hierro es alta y los problemas persisten, puede que se necesite airear el agua de riego para oxidar el hierro y permitir que precipite en los estanques. Los sulfuros también pueden formar un precipitado negro, insoluble. Por lo tanto, los problemas de sulfuro de hierro y manganeso se pueden resolver con una combinación de cloración, acidificación y aireación.

Sin embargo, en algunas circunstancias no sólo se trata de problemas de sólidos en suspensión en el agua de riego, también puede haber problemas de precipitados químicos que dificultan el lavado de la red y entonces es necesario hacer algunas aplicaciones de productos químicos.

5.4.3.3 Inyecciones de ácido

La aplicación de ácido permite evitar las precipitaciones de carbonato de calcio, óxido de hierro, y sales de manganeso (**Foto 27**).



Foto 27. Precipitación de carbonato de calcio y hidróxido férrico

Estas sales precipitan porque tienen muy baja solubilidad. Sin embargo, la solubilidad de estas sales varía fuertemente con el pH, aumentando considerablemente a pH ácidos. Una forma de evitar la acumulación de estas sales es hacer una acidulación preventiva del agua (aplicación de ácido) cuando esta presenta alto potencial de taponamiento (**Cuadro 20**). Si el equipo está total o parcialmente obturado (bajo CU) es necesario realizar tratamientos correctores o curativos.

Cuadro 20. Potencial de taponamiento causado por aguas con diferentes propiedades.

Propiedad química	Bajo	Moderado	Alto
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Bicarbonato (ppm)	< 100		
Fierro (ppm)	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Sulfuros (ppm)	< 0,2	0,2 - 2,0	> 2,0

Los tipos de ácidos más comunes en el mercado son sulfúrico, fosfórico, nítrico y clorhídrico, siendo los más utilizados sulfúrico y fosfórico.

Tratamiento curativo o corrector (cuando el equipo tiene algún grado de obturación por sales, bajo CU)

La acidulación del agua de riego evita o elimina precipitados de carbonatos de calcio, óxido de hierro y sales de manganeso, a continuación se indican los pasos a seguir para aplicar un tratamiento corrector:

- Si no se aplica el ácido concentrado directo al equipo de riego, se prepara en el tanque inyector de fertilizante una solución de ácido al 10%. (IMPORTANTE: primero aplicar el agua y luego el ácido si no se produce una reacción química que puede salpicar ácido y quemar al operario). EL OPERARIO DEBE OCUPAR TODOS LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD NECESARIO PARA EJECUTAR ESTA LABOR (Traje de goma, guantes, máscara, etc, ver **Foto 28**).
- Se comienza a inyectar la solución a baja presión con los emisores trabajando a caudal mínimo.
- La dosis a inyectar se debe ajustar de modo de lograr un pH 2-3 en el emisor más alejado del sector de riego. IMPORTANTE: al menos en la primera vez se debe confirmar que el pH es efectivamente 2-3, para esto se debe usar papel pH midiendo en el último emisor.

- Una vez que se alcanza el pH deseado se detiene el riego en el sector y se cierra el sistema dejándolo reposar por al menos 12 horas para dar tiempo suficiente a la disolución de las sales.
- Luego se hace funcionar el equipo de riego a alta presión para lavar tuberías y emisores como se indicó en el punto 5.4.3.1.



Foto 28. Elementos de seguridad para aplicaciones de ácido y productos químicos.

Por ejemplo, en palto, en suelo de pH 7,5 a 8, se han aplicado hasta 20 litros de ácido sulfúrico por hectárea, para destapar emisores, si presenta problemas el cultivo.

Tratamiento preventivo (cuando el agua es de mala calidad con alto potencial de obturación por precipitación de sales (Cuadro 20).

A continuación se indican los pasos a seguir para aplicar un tratamiento corrector:

- La dosis a inyectar se debe ajustar de modo de lograr un pH 2-3 en el emisor más alejado del sector de riego. **IMPORTANTE:** al menos en la primera vez se debe confirmar que el pH es efectivamente 2-3, para esto se debe usar papel pH midiendo en el último emisor.
- Aplicar el ácido durante la etapa final de cada riego, es una práctica que produce buenos resultados a un costo relativamente bajo al disminuir la cantidad de producto utilizado. De esta forma, sólo recibe tratamiento el agua que permanece dentro del sistema entre dos riegos consecutivos.

- Cada 15 días, después de 12 horas de haber aplicado el ácido, realizar un lavado de red del equipo de riego, a alta presión para lavar tuberías y emisores como se indicó en el punto 5.4.3.1.
- Cuando el agua del equipo de riego es de buena calidad, de acuerdo al cuadro 20, sólo es recomendable realizar dos aplicación de ácido en la temporada de acuerdo al procedimiento descrito en el tratamiento curativo o corrector, para de esta forma mantener el equipo en buen funcionamiento.

5.5 Inyección de fertilizantes

Se entiende por fertirrigación la aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego, de una forma continua o intermitente.

La fertirrigación comienza en el cabezal de riego, en donde son mezclados los fertilizantes (solución madre) e inyectados al sistema. Posteriormente esta disolución es conducida por tuberías y localizado en el suelo donde puede ser absorbido por las plantas.

La fertirrigación presenta las siguientes ventajas con respecto al abonado tradicional:

- Los fertilizantes se localizan en forma homogénea en el bulbo de mojado.
- La fertirrigación con fósforo y potasio puede alcanzar una profundidad de 50-60 cm, lo que facilita una mejor absorción por las plantas.
- Los fertilizantes se suministran a la planta conforme a sus necesidades en las distintas etapas de su desarrollo.
- Cuando aparecen síntomas carenciales se puede actuar con rapidez para corregirlos.
- Reducción de pérdidas por lavado y volatilización. Mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, ahorro puede alcanzar el 30%.

- Menor costo de aplicación de los elementos nutritivos. Sin embargo, necesita una fuerte inversión en implementación del equipo.
- Menor uso de maquinaria por ende menor compactación del suelo.

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método en sí, sino a un manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas. Por tal motivo, al momento de fertirrigar es necesario tomar las siguientes precauciones:

- Realizar la dosificación de fertilizantes de acuerdo a las necesidades de la planta para no producir daño al cultivo.
- Usar productos solubles para evitar que precipiten y minimizar las obturaciones en los sistemas de riego. Preocuparse de la solubilidad de cada fertilizante.
- Los fertilizantes que se usen en una misma solución deben ser compatibles entre sí. Es decir que no produzcan precipitados en el equipo de riego al mezclar los diferentes productos.

5.5.1 Salinidad

La respuesta productiva ante condiciones de salinidad no es igual para todos los cultivos; aún así existe un comportamiento general que puede considerarse para todos los casos (**Figura 44**).

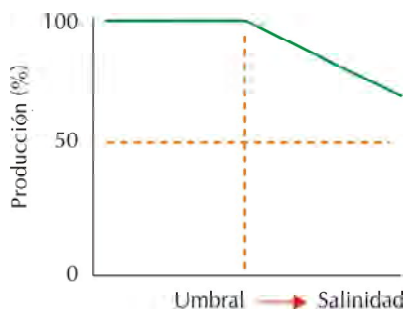


Figura 44. Variación de la producción debido a salinidad.

Para cualquier cultivo existe una zona (tramo horizontal de la Figura 44) en la que, pese a aumentar la salinidad, la producción no se ve afectada; pero a partir de un cierto valor, denominado umbral, cualquier aumento del contenido de sales produce un descenso del rendimiento del cultivo.

Cada cultivo posee un valor umbral característico, que indica si la tolerancia a la salinidad es elevada, media o baja, así como su sensibilidad

(tramo inclinado de la misma figura) que indica cuánto disminuye el rendimiento al aumentar la salinidad una unidad, a partir del umbral. En el **Cuadro 21** se muestran, para algunos frutales adultos, los valores del umbral de salinidad. Las plantaciones nuevas son más sensibles.

El contenido de sales, expresado en g/l, se puede obtener en forma aproximada a partir del dato de conductividad eléctrica del agua de riego:

Contenido de sales (g/l) = $0,64 \times \text{CE (mmhos/cm o dS/m)}$

Cuadro 21. Valores de umbral de salinidad en algunos frutales adultos.

Cultivo	CE (mmhos/cm)	g/l
Almendro	2,4	1,55
Ciruelo	2,5	1,60
Damasco	2,3	1,45
Duraznero	2,6	1,70
Granado	4,7	3,00
Higuera	4,7	3,00
Manzano	3,0	1,95
Naranja	3,0	1,95
Nogal	3,0	1,95
Olivo	4,7	3,00
Palto	1,3	0,83
Peral	3,0	1,95
Vid	3,3	2,10

Fuentes: Adaptado de Ayers y Westcot (1976 Calidad del agua para el riego Riego y drenaje FAO 29 81 p. CE conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo.

En resumen, las sales disueltas que originan el descenso del rendimiento de los cultivos, pueden provenir ya sea del suelo o bien del agua de riego. Desde el punto de vista de la fertirrigación interesan éstas últimas.

El agua de riego contiene sales disueltas (bicarbonatos, sulfatos, cloruros, sales de calcio, de magnesio, sodio, etc.) que le dan un grado de salinidad variable, según la cantidad que contengan. Los abonos que se emplean en fertirrigación, excepto la urea, son sales que al ser incorporadas al agua aumentan la salinidad. Por lo anterior, es preciso tener cuidado con la cantidad de abono que se incorpore, ya que la suma de las sales del agua más las que aportan los fertilizantes, puede sobrepasar el valor umbral de tolerancia del cultivo, provocándole problemas a las plantas.

Conociendo la salinidad del agua y la cantidad de sales que tolera el cultivo, se puede calcular la cantidad máxima de fertilizante que se puede incorporar en cada riego, con la siguiente expresión:

$$CMA = Q \times (Cm - Car)$$

Donde:

CMA= Cantidad máxima de fertilizante (kg).

Q = Cantidad de agua aplicada en un riego (m³).

Cm = Cantidad máxima de sales tolerable por el cultivo (g/l).

Car = Cantidad de sales en el agua de riego (g/l).

Si no es posible contar con la información de la salinidad del agua de riego se puede tomar como referencia, al momento de realizar la dosificación, que la concentración de productos no debe superar los 2 gr de producto fertilizante / l de agua aplicada a las plantas. (Ferreira *et al*, 2005).

Desde el punto de vista de la salinidad, el fraccionamiento de los aportes de nutrientes es deseable y conveniente para el buen desarrollo del cultivo, puesto que, si bien las plantas toleran incluso aportes superiores a la cantidad máxima de fertilizantes (CMA) aplicados de una vez, la pérdida de elementos nutritivos del bulbo de mojamiento puede llegar a ser muy importante a consecuencia del lavado que se produce con los riegos posteriores (sin fertilizantes) al de aplicación del fertilizante.

La dosis, época y tipo de fertilizante a usar, así como su método de aplicación, debe ser evaluado para cada caso específico.

Los equipos de inyección permiten aplicar fertilizantes en el sistema, junto con el agua de riego (fertirrigación). Para realizar esta operación, en general se utilizan estanques de 200 a 1000 litros, en donde se prepara la solución madre del fertilizante con agua y desde ahí es inyectada a la red de riego mediante un sistema de inyección.

Los diferentes sistemas de inyección se han explicado en el punto 5.1 de este capítulo.

5.5.2. Algunos Fertilizantes utilizados en fertirrigación

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos.

De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de nitrógeno en porcentaje (%), el segundo indica el contenido de fósforo en la forma de P_2O_5 (%) y el tercero el contenido de potasio en la forma de K_2O (%). Por ejemplo el nitrato de calcio posee los siguientes números [15,5-0-0] por lo tanto este fertilizante no contiene fósforo ni potasio (**Figura 45**).



Figura 45. Forma de describir a los fertilizantes.

5.5.2.1 Principales productos comerciales y sus características.

Urea ($CO(NH_2)_2$) [46-0-0]. La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua, por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos. La urea baja la temperatura del agua en el proceso de mezcla y disolución. Existe en forma perlada y cristalina. Ambas pue-

den ser utilizadas en fertirrigación. La primera posee un 1% más de biuret, compuesto derivado de la manufactura de la urea, el cual en altas concentraciones puede producir fitotoxicidad. La segunda formulación de la urea es más soluble y contiene menos impurezas por lo que resulta de mayor costo.

Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) [15,5-0-0]. Aunque prácticamente abandonado en los programas de fertilización tradicional debido al alto costo de la unidad de nitrógeno, este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio cuando este elemento es necesario.

Nitrato de potasio (Salitre potásico) (KNO_3) [15-0-14]. El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno (100% nítrico) y un 14% de potasio. Este fertilizante no se disuelve completamente dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.

Nitrato de potasio (KNO_3) [13-0-44]. El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio (KCl); es muy utilizada debido a que no contiene iones cloruros.

Nitrato de amonio (NH_4NO_3) [34,5-0-0]: Se trata de un compuesto incoloro e higroscópico, altamente soluble en el agua. Es un fertilizante de alta concentración de nitrógeno, con 34,5% de N, donde 17,25% corresponde a N nítrico y 17,25% a N amoniacal; lo anterior, a diferencia de la urea reduce el riesgo de absorción excesiva de amonio por la planta lo que puede ser perjudicial para su desarrollo. Su acción es más rápida que la Urea, más aún en épocas invernales. Otra ventaja de este fertilizante es su menor riesgo de volatilización que la urea y que los nitratos de amonio con cal. No deja residuo salino y su reacción en el suelo es levemente ácida, ventajosa en suelos de pH alcalino.

Como desventaja este fertilizante presenta la complicación de ser explosivo y autodetonante en ausencia de agua o aplicación de calor o fuego, por lo cual se debe tener cuidado en su almacenamiento y manipulación.

Sulfato de amonio ($\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$) [20,5-0-0]. El sulfato de amonio posee un 59% de sulfato, es un abono amoniacal, de alta solubilidad en agua. También posee propiedad acidificante por lo cual su uso es recomendado en suelos de pH alto. Puede ser mezclado con fosfatos sin precaución alguna.

Como medidas de seguridad se recomienda no preparar sino al último momento en mezcla con cloruro de potasio, sulfato potásico y superfosfatos, debido al riesgo de precipitación. También hay que evitar mezclar el sulfato de amonio, salvo en el momento del empleo, con productos alcalinos como la cal para evitar posibles pérdidas de nitrógeno. Igualmente hay que evitar la adición de herbicidas a base de clorato, debido al peligro de explosión.

Ácido fosfórico (H_3PO_4) [0-51-0] verde [0-54-0] blanco. El H_3PO_4 contiene entre un 51 y 54 % de P_2O_5 . El ácido fosfórico al 85% (producto comercial) viene en formulación líquida y tiene una densidad de 1685 g/ml. Aquel que posee un contenido de 51% es de color verde, debido a las impurezas que le otorgan ese color. El de 54% es de color blanco. La mezcla de agua en ácido fosfórico libera calor el cual se disipa en corto tiempo. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas en sistemas de riego localizado, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precio.

Fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) [16-48-0]. Con una concentración alta de nitrógeno y P_2O_5 , tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0,9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.

Sulfato de potasio (K_2SO_4) [0-0-50]. El K_2SO_4 es fuente de potasio y azufre. No es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro.

Sulfato de magnesio (MgSO_4) [0-0-0], 16% Mg, 13% S. Producto que contiene como componente esencial sulfato de magnesio con siete moléculas de agua ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; peso molecular de 246,3). Es la fuente de magnesio más utilizada.

Acido sulfúrico (H_2SO_4) [0-0-0]. El ácido sulfúrico no es un fertilizante, por eso su ley es 0-0-0 (no contiene nitrógeno, fósforo ni potasio). Se encuentra en forma líquida con una densidad de 1,83 kg/l al estar concentrado. El ácido sulfúrico es un líquido claro y transparente, no tiene olor. Se utiliza para reducir el pH del agua de riego. Cuando se mezcla con agua libera una apreciable cantidad de calor. El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente peligroso y se requiere mucho cuidado en su manipulación, transporte y almacenaje. Los tambores de almacenaje deben ser herméticos para evitar filtraciones o evitar el contacto del líquido en alguna fuente de agua. Al igual que el ácido fosfórico se utiliza para bajar el pH y realizar lavados químicos de la red de riego para evitar taponamientos.

5.5.3 Solubilidad de los fertilizantes

La solubilidad es la capacidad de disolución de algún producto en el agua. En fertirrigación se pueden combinar dos o más fertilizantes, sin embargo puede hacer menos soluble la mezcla final. Los productos de baja solubilidad o menos solubles, no deben ser utilizados ya que pueden provocar problemas de taponamiento de los emisores, desuniformidad en el sistemas de riego y por lo tanto problemas productivos al no cumplir con los requerimientos de demanda hídrica del cultivo.

Algunos fertilizantes se disuelven muy bien como es el caso de la urea, el nitrato de calcio, el nitrato de sodio. Otros son de mediana solubilidad como: cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio. Los menos solubles son el sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro.

Existen en el mercado líneas de fertilizantes solubles preparados para riego por goteo, que son comercializados por diferentes empresas químicas. En el **Cuadro 22** se presenta una lista de la solubilidad de los principales productos usados en fertirrigación.

Hoy también existen fertilizantes líquidos, de muy alta solubilidad y eficiencia.

Cuadro 22. Solubilidad de algunos fertilizantes.

Fertilizante	Solubilidad g/L				C.E. mmhos /cm	pH
	0°C	20°C	40°C	100°C		
KNO ₃ Nitrato de Potasio	133	316	639	2452	1,30	7,0
KCl Cloruro de potasio estándar	282	342	403	562	1,90	6,6
K ₂ SO ₄ Sulfato de Potasio soluble	75	111	148	241	1,40	7,0
KH ₂ PO ₄ Fosfato monopotásico	143	227	339		0,75	4,1
NH ₄ NO ₃ Nitrato de Amonio	1185	1877	2830		1,60	5,5
(NH ₄) ₂ SO ₄ Sulfato de amonio	704	754	812	1020	1,80	5,5
(NH ₄) ₂ HPO ₄ Fosfato diamónico soluble	575	686	818	1100	0,90	4,1
NH ₄ H ₂ PO ₄ Fosfato monoamónico soluble	227	368	567	1740	0,80	4,9
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O Nitrato de Calcio soluble	1010	1294	1960		1,20	6,5
CaCl ₂ · 6H ₂ O Cloruro de Calcio	603	745			1,60	
MgSO ₄ · 7H ₂ O Sulfato de Magnesio Hept,		356	454		0,80	5,6
Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O Nitrato de Magnesio	639	701	818		0,50	6,0
NaCl Cloruro de sodio		359	364	392	2,00	
CO (NH ₂) ₂ Urea	670	1080	1670	2510	0,015	5,8
H ₃ NO ₃ Ácido bórico	270	500	870			
H ₃ PO ₄ Ácido fosfórico 85%		100%			1,80	2,5

Otras consideraciones:

La urea no ocasiona problemas, excepto si el agua contiene la enzima ureasa, que se presenta cuando está cargada de algas. Las algas no son eliminadas por la filtración, por esto, hay que vigilar el agua de pozos con altos contenidos de nitratos.

El ion nitrato se desplaza con el agua de riego y acaba localizándose en los bordes del bulbo húmedo, por lo que disminuye su eficiencia. Por ello, resulta más satisfactoria su aplicación en pequeñas dosis en cada riego.

El fósforo es el elemento más difícil de aplicar, pues, además de su baja solubilidad, existe el peligro de precipitación al reaccionar con el calcio que puede contener el agua de riego y que produce el paso del fosfato monocalcico a bicálcico. Similares efectos se producen al mezclar fósforo y magnesio.

Los microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn) se aplican en forma de quelatos, los cuales son complejos órgano-metálicos estables, donde el metal es insertado en una molécula complejante o quelatadora que adopta una forma curvada en anillo o pinza en torno al ión metálico. La estructura resultante preserva al ión metal de la formación de compuestos insolubles con otros agentes (aniones fosfato, por ejemplo) así como de la fijación por las arcillas del suelo. La estabilidad del enlace entre el quelato y el metal depende del agente quelatante, del metal quelatado y de las condiciones fisicoquímicas del suelo (sobre todo pH). Los más utilizados son los quelatos de Hierro, Zinc y Manganeseo. Las formulaciones comerciales son en su mayoría de muy alta solubilidad por lo cual, se recomienda su uso en fertirriego.

5.5.4. Compatibilidad de productos

Cuando se mezclan dos o más tipos de fertilizantes en una misma solución, es posible que se produzca la reacción de los compuestos que los forman.

Si se aplica ácido, este se debe aplicar antes que los fertilizantes. El ácido se aplica sobre el agua, lentamente (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido). En seguida se aplican los fertilizantes, partiendo de los menos solubles. Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen de agua a utilizar. Agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar el volumen total de agua.

En general, no se debe mezclar fertilizantes con alto contenido de calcio (nitrato cálcico) con ácido fosfórico. La reacción química de ambos productos puede formar fosfato de calcio, el cual obstruye los emisores.

Si se debe aplicar nitrato de calcio, se recomienda aplicar sólo agregando ácido nítrico concentrado, en una relación de 0.3 litros por Kg de nitrato de calcio. El ácido nítrico aporta 16% de nitrógeno, por lo que sería necesario descontarlo al momento de realizar el programa de riego.

En general, se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes señaladas en los envases de los diferentes productos y, en caso de duda, realizar un test de compatibilidad. Este test consiste en colocar los fertilizantes a utilizar en un balde con la misma agua que se usará para regar, observando si existe la ocurrencia de precipitados o turbidez. Estos fenómenos deberán aparecer en un tiempo de una o dos horas. Si hay turbidez, la inyección de esa mezcla en el sistema de riego podría causar el taponamiento de los goteros. Se recomienda utilizar una dilución aproximada a la esperada en las líneas de goteo.

En el **Cuadro 23** se presenta la compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes.

5.5.5 Calibración de la tasa de inyección de los fertilizantes

Los fabricantes de los diferentes equipos de inyección proporcionan, por medio de catálogos, información muy útil para el manejo del sistema. Sin embargo, los equipos deben ser calibrados a la tasa de inyección deseada. En muchos casos, el éxito de los programas de fertirrigación no depende del tipo de sistema de inyección empleado, sino de

Cuadro 23. Compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes.

NITRATO AMÓNICO	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C
UREA	↑	C	L	L	C	C	C	C	C	C
SULFATO AMÓNICO		↑	C	C	C	C	C	C	C	I
SUPERFOSFATO TRIPLE			↑	C	L	C	C	C	C	I
SUPERFOSFATO SIMPLE				↑	L	C	C	C	C	I
FOSFATO DIAMÓNICO					↑	C	C	C	C	I
FOSFATO MONOAMÓNICO						↑	C	C	C	I
CLORURO POTÁSICO							↑	C	C	C
SULFATO POTÁSICO								↑	C	I
NITRATO POTÁSICO									↑	C
NITRATO CÁLCICO										↑

I = Incompatible, C = Compatible, L = Compatibilidad limitada.

una calibración adecuada, ya que el uso no controlado puede sobrepasar las concentraciones límites de sales en el agua de riego, o simplemente no cumplir con los tiempos de aplicación adecuados, quedando residuos al interior de las tuberías.

La tasa de inyección se determina midiendo el volumen de solución inyectada durante un determinado tiempo. El volumen dependerá del tipo de inyector a utilizar. Para inyectores de tipo venturi o bombas inyectoras auxiliares de membrana se recomienda trabajar con un volumen entre 10 a 15 litros/minutos. Inyectores de succión positiva o bombas centrífugas pueden requerir de volúmenes del orden de 100 a 200 litros/minuto. Es aconsejable trabajar con unidades de tiempo en minutos y unidades de volumen en litros para facilitar los cálculos y la fácil comprensión de lo que está sucediendo. Para facilitar esta labor, se puede incorporar al sistema de fertirrigación un caudalímetro. Me-

diante una válvula de paso se puede regular o calibrar la tasa de inyección de fertilizante que se quiere que pase por el caudalímetro, siempre que esta se encuentre dentro del rango de funcionamiento del modelo de inyector que está instalado en el cabezal del equipo.

5.5.6 Dosificación de fertilizantes

Para realizar la dosificación de fertilizantes y su posterior aplicación a través del sistema de riego localizado se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cálculo de los fertilizantes de la solución madre
- Conocer los requerimientos nutricionales del cultivo y los posibles aportes del suelo.
- Realizar un programa de fertilización para cada especie del predio (unidades/ha).
- Calcular los requerimientos de productos comerciales para cada sector de riego del predio.
- Determinar los porcentajes a aplicar en cada etapa fenológica del cultivo.
- Distribuir la dosificación mensualmente.
- Estimar el número de riegos mensuales en los que se realizará la fertirrigación.
- Calcular la cantidad de fertilizantes que corresponde aplicar en cada riego.

5.5.7. Preparación y aplicación de la solución madre

Para preparar la solución madre de fertilizantes se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Preparar la mezcla de solución madre teniendo en cuenta la solubilidad de cada uno de los elementos a aplicar. Cuando el programa considera la mezcla de dos o más fertilizantes a aplicar, la disolución debe comenzar con el producto menos soluble. Como la solubilidad de las mezclas es más baja que la de cada producto individualmente, se sugiere aumentar el volumen de agua de la solución madre en un 20%.

- Mantener una agitación permanente mientras se disuelven los productos.
- Calcular el tiempo total de inyección en función de tasa (de inyección) del equipo y el tamaño del estanque mezclador.
- Aplicar la solución de fertilizantes, teniendo en cuenta que esto debe comenzar unos 15 minutos luego de iniciado el riego, a objeto de que se haya estabilizado el flujo en el sistema (cuando se hayan llenado las tuberías de agua) y debe finalizar unos 20 a 30 minutos antes de finalizado el riego para que en las tuberías no permanezcan residuos de fertilizantes.

La concentración total de elementos fertilizantes en el agua de riego no debe sobrepasar los 2 gr/l de agua aplicada. Si la concentración sobrepasa los niveles señalados, ya sea por la capacidad del estanque mezclador o por la capacidad de inyección del equipo, se debe parcializar la dosificación en las veces que sea necesario.

Ejemplos:

Ejercicio 1: Revisar si la concentración de la solución que llega a las planta y el volumen del estanque de fertirrigación son adecuados para el siguiente programa de fertirrigación.

Programa de fertilización en palto para el período 100 días después de cuaja.

Producto	gr/planta	Producto comercial
1. Sulfato de Magnesio	8,1	Sulfato de magnesio (16% MgO, 13% S)
2. Ácido Fosfórico	24	Acido fosfórico (54% P ₂ O ₅)
3. Nitrato de Potasio	40	Nitrato de potasio (44% K ₂ O, 13% N)
4. Urea	5,29	Urea (46%)
5. Nitrato de Calcio	12	Nitrato de calcio (15,5% N, 30% Ca)
6. Ácido Nítrico	5	Ácido Nítrico (HNO ₃) aporta 16% de nitrógeno

Las características del equipo de riego son las siguientes. El equipo tiene 6 sectores. Cada sector de riego posee 1.383 plantas de palto a 6 x 4 m. Cada planta posee un microaspersor de 45 L/h. El tiempo de riego por sector es de 8 horas, con una frecuencia de riego cada 2 días. El equipo tiene dos estanques fertilizadores de 250 litros. La tasa de inyección de la bomba inyectora es de 4 l/min.

Por lo tanto se tiene lo siguiente:

Tiempo de inyección: $250 \text{ L} / 4 \text{ L/min} = 62,5$ minutos.

Cantidad de agua descargada por el equipo en el tiempo de inyección:
 $45 \text{ L/60 min} \times 62,5 \text{ min} \times 1383 \text{ plantas} = 64.828 \text{ litros (64,83 m}^3\text{)}$.

Consideraciones básicas

La concentración total de productos en el agua de riego no debe superar 2 g/l de agua aplicada. Es necesario utilizar productos solubles.

Preparar la mezcla de solución madre teniendo en cuenta la solubilidad de cada uno de los elementos a aplicar. Cuando el programa considera la mezcla de dos o más fertilizantes a aplicar, la disolución debe comenzar con el producto menos soluble. Como la solubilidad de las mezclas es más baja que la de cada producto individualmente, se sugiere aumentar el volumen de agua de la solución madre en un 20%.

Los productos que se utilicen simultáneamente en una misma solución deben ser compatibles entre sí, es decir no producir precipitados.

El Nitrato de Calcio es recomendable aplicarlo con Ácido Nítrico concentrado, en una relación de 1: 0.42 kg. El Ácido Nítrico aporta 16% de nitrógeno, cantidad que es necesario tomar en cuenta, si no se desea sobrepasar la dosis de nitrógeno recomendada.

El Nitrato de Calcio es incompatible con productos que contengan sulfatos y con productos fosforados, por lo cual no es recomendable aplicar en este caso el Nitrato de Calcio junto con el Sulfato de Magnesio o con el Ácido Fosfórico. El ácido fosfórico sí se puede aplicar junto con el Nitrato de Potasio. No existe incompatibilidad entre la urea y el Nitrato de Potasio.

Por lo tanto, para cumplir con el plan de fertilización para palto, se recomienda separar en dos estanques los fertilizantes recomendados. En el estanque 1: sulfato de magnesio y ácido fosfórico. En el estanque 2: ácido nítrico, nitrato de calcio, urea, nitrato de potasio (ver Cuadros de los ejemplos 1 y 2 en páginas 50 y 53).

Nota: De acuerdo a los cálculos realizados, el tamaño del estanque 1 es adecuado para el programa de fertilización (el estanque es de 250 l y el tamaño mínimo calculado es 37,8 l). El estanque 1 tiene incluso capacidad para preparar la solución madre en una sola oportunidad para los 4 sectores de riego que tiene el equipo ($37,8 \times 4 = 151$ l). Por el contrario el estanque 2 solo puede prepara la solución para un sector de riego a la vez. Respecto a la concentración de la solución que llega a las plantas es adecuada (1,39 g/l suma de la concentración de todo los fertilizante), ya que es inferior a 2 g/l.

Ejercicio 2: Determinar capacidad del equipo inyector (tasa de inyección mínima) y volumen mínimo de los estanque fertilizantes.

Se requiere conocer la capacidad que debiera tener el equipo inyector de fertilizante (tasa de inyección mínima) y volumen mínimo de los estanque fertilizantes de un equipo que riega 100 has de un cultivo de tiene una demanda anual de 9110 m³/ha/año lo que equivale a 911 mm/año. El programa de fertilización anual es 400 kg/ha/año de nitrato de calcio; 150 Kg/ha/año de Nitrato de amonio; 300 Kg/ha/año de Nitrato de potasio y 180 Kg/ha/año de sulfato de potasio. La solubilidad de los productos se obtiene del Cuadro 22.

Paso de cálculo

Lo primero que se calcula son los litros de solución anual a preparar:
 $(400 \text{ kg (ha/año)} / 1,29 \text{ kg/l} \times 100 \text{ ha} + 150 / 1,877 \times 100 + \dots)$
= 296.098 litros solución año).

Luego se calcula la capacidad del equipo (solución a aplicar al año (L)/ (requerimiento de riego del cultivo (m³/ha/año x superficie equipo de riego / frecuencia de riego = 0,65 L solución/m³ de agua de riego aplicada). Este valor en general es cercano a 0,7 l solución/m³ de agua de riego aplicada.

Cálculo de la concentración de la solución aplicada a las plantas y del tamaño mínimo que debiera tener el estanque de fertilizante.

Producto	gr/ planta	gr/ planta/ sector	gr/sector (1 x 2)	Solubilidad (g/l)	Volumen agua para disolver el producto (l) (3 / 4)	Caudal emisor (l/h)	Tasa de inyección (l/min)	Tiempo inyección (min). **(Volumen estanque/7)	Cantidad de agua descargada por el equipo durante la fertilización (l)	Concentración gr/litro agua de riego
Estanque 1										
Sulfato de Magnesio	8,1	1383	11202	356	37,8	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,17
Ácido. Fosfórico	24	1383	33192	100%	0,0	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,00
Volumen mínimo del estanque (l) *					37,8					
Estanque 2										
Nitrato de Potasio	40	1383	55320	316	210,1	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,85
Urea	5,29	1383	7316,1	1080	8,1	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,11
Nitrato de Calcio	12	1383	16596	1294	15,4	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,26
Ácido Nítrico	5	1383	6915	100%	0,0	45,0	4,0	62,5	64828,1	0,00
Volumen mínimo del estanque (l) *					233,6					
Concentración solución planta g/l										1,39

Resultado final óvalo amarillo

* Como la solubilidad de las mezclas es más baja que la de cada producto individualmente, se aumenta el volumen de agua de la solución madre en un 20%.

** Tiempo de inyección debe ser igual o inferior al tiempo de riego.

Tasa mínima de inyección del fertilizante que debe cumplir el inyector seleccionado, corresponde al caudal del equipo de riego ($360 \text{ m}^3/\text{h}$) multiplicado por la capacidad que debe tener el equipo inyector ($0,65 \text{ L solución}/\text{m}^3$ de agua de riego aplicada) en este ejemplo la tasa mínima de inyección del inyector de fertilizante debe ser de 262 l/h .

El volumen del estanque se estima conociendo el volumen de la solución a inyectar en el año (296.098 L) dividido por el periodo de aplicación del fertilizante (360 días) y multiplicado por la frecuencia de aplicación de los fertilizantes (cada 2 riego) lo que para este caso corresponde a 1.645 L ($1,6 \text{ m}^3$). Es necesario ver compatibilidad de fertilizante para decidir el número de estanque.

A continuación, se presenta detalle de cálculo.

Capacidad del equipo inyector y volumen de estanque.

Superficie equipo de Riego	100 Has
Requerimiento de riego cultivo	911 mm/año
Dosis fertilizante N°1 Nitrato de calcio	400 kg/año/ha
Dosis fertilizante N°2 Nitrato de amonio	150 kg/año/ha
Dosis fertilizante N°3 Nitrato de potasio	300 kg/año/ha
Dosis fertilizante N°4 sulfato de potasio	180 kg/año/ha
Solubilidad fertilizante N°1	1,29 kg/l
Solubilidad fertilizante N°2	1,877 kg/l
Solubilidad fertilizante N°3	0,316 kg/l
Solubilidad fertilizante N°4	0,111 kg/l
Solución aplicada año	296.098 Litros solución/año
Frecuencia aplicación fertilizante cada	2 riego
Capacidad del equipo	$0,65 \text{ l solución}/\text{m}^3$ agua riego
Caudal equipo de riego	$360 \text{ m}^3/\text{h}$
Tasa inyector	$234 \text{ l solución}/\text{h}$
Período de fertilización	360 días
Volumen estanques (ver compatibilidad)	$1,645 \text{ m}^3$

5.6 Costos de operación de equipos

Es muy importante contar con un equipo de riego (método de riego y/o diseño y/o equipo de bombeo) que entregue a las plantas el agua que requieren con una alta eficiencia, lo que implica una menor potencia para realizar este trabajo y por consiguiente un menor consumo de energía. Por lo anterior, en la evaluación de los equipos de riego presurizado es necesario estimar el costo en energía del equipo instalado o proyectado y analizarlos respecto a los aumentos en rendimiento esperado.

Para conocer los costos de energía de un equipo de riego es necesario seguir los siguientes pasos:

- Estimar los requerimientos de riego del cultivo o necesidades brutas (NB) en mm/año, como se describió en el capítulo 4 de este manual.
- Conocer la intensidad de precipitación del equipo (IPP):

$$IPP = (qa \times Ne) / 10000$$

Donde:

IPP = intensidad de precipitación en mm/h.

qa = caudal del emisor (l/h).

Ne = número de emisores por ha (u/ha).

- Calcular el tiempo de riego anual por sector (Tr sector):

$$Tr \text{ sector (h/año)} = NB \text{ (mm/año)} / IPP \text{ (mm/h)}$$

Donde:

Tr sector = tiempo de riego anual por sector (horas/año).

NB = Necesidades de riego del cultivo o necesidades brutas (mm/año).

IPP = Intensidad de precipitación (mm/h).

- Estimar el tiempo de riego de equipo al año:

$$Tr \text{ equipo } (h/año) = Tr \text{ sector } (h/años) \times NS$$

Donde:

Tr equipo = tiempo de riego anual por equipo (horas/año).

Tr sector = tiempo de riego anual por sector (horas/año).

NS = número de sectores del equipo.

- Conocer la potencia que consume el equipo de bombeo en los motores eléctrico en KW (1 HP = 0,75 KWH) o en litros/horas de diesel en los motores de combustión interna.
- Conocer el consumo total de energía eléctrica o diesel
Consumo Motobomba eléctrica (KWh/año) = KW x Tr equipo (h)
Consumo Motobomba diesel (l/año) = Consumo equipo diesel (l/h) x Tr equipo (h)
- Conocer cuál es el costo del equipo al año en energía
Costo energía US\$/año = Consumo Motobomba eléctrica (KWh/año) x costo KWH \$US/KWH
Costo energía US\$/año = Consumo Motobomba diesel (l/h) x costo diesel \$US/l
Si se divide por la superficie del equipo se obtiene los costos en energía por hectárea al año.

A continuación, se presentan dos ejemplos donde se estima los costos de energía de un equipo de riego un huerto de palto de 35 has, regadas por microaspersores. En un ejemplo la bomba es accionada por un motor diesel y otro por un motor eléctrico. En ambos ejemplos, el requerimiento de riego de 864 mm/año, el equipo tiene una intensidad de precipitación de 1,88 mm/h y está dividido en 6 sectores de riego. Al calcular el tiempo de operación anual del equipo es de 2765 horas por lo cual el costo por hectárea del equipo operado por motor diesel es de US\$ 2065 por hectárea y el operado por motor eléctrico es de US\$ 522 por hectárea. A partir de esto hay que evaluar la eficiencia del equipo de riego y la rentabilidad de implementar riego.

Cálculo de los ejemplos:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
ETo mm/día	5,68	5,93	4,45	3,33	2,00	1,13	0,77	1,10	2,07	3,23	4,60	5,32	
Kc	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
ETc mm/día	4,09	4,27	3,21	2,40	1,44	0,82	0,56	0,79	1,49	2,32	3,31	3,83	
ETC mm/mes	126,72	119,52	99,36	72,00	44,64	24,48	17,28	24,48	44,64	72,00	99,36	118,80	
PP 85 PO mm/mes	6,4	6,8	10,5	25,0	85,0	101,0	85,0	71,0	31,0	18,0	11,0	7,3	
Peí mm/mes	0,0	0,0	0,0	9,0	48,0	60,8	48,0	36,6	12,6	4,8	0,0	0,0	
AC mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
NN mm/mes	126,7	119,5	99,4	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	67,2	99,4	118,8	
Efa (K)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
LR	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1 - LR (K)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
NB mm/mes	150,9	142,3	118,3	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	80,0	118,3	141,4	864,3
NB l/s/ha	0,56	0,59	0,44	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,30	0,46	0,53	
Superficie predio (ha)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
NB total l/s	19,7	20,6	15,5	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	10,5	16,0	18,5	
NB Total m³/mes	1508,6	1422,9	1182,9	750,0	0,0	0,0	0,0	0,0	381,4	800,0	1182,9	1414,3	

N ^a sectores	6
N ^a emisores ha	416,6667
qemisor	45 l/h
lpp	1,875 mm/h
T riego equipo año	2765,7 Horas

Diesel	
Consumo motor	18,0 l/h
Costo diesel	1,5 US/l
Costo operación equipo año	72185,1 US año
Superficie	35,0 has
Costo/ha	2062,4 US/ha

Eléctrico	
Potencia motor consumo	40,0 HP
Potencia motor consumo	33,0 KW
KWH/año	91268,6 KWH
Costo KWH	0,2 US
Costo operación equipo año	18253,7 US
Superficie	35,0 has
Costo/ha	521,5 US/ha

6. MANEJO DEL AGUA DE RIEGO

El suelo, la planta y la atmósfera constituyen un sistema continuo, en el cual el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas, además del almacenaje de agua y oxígeno que absorben las raíces. La atmósfera constituye una fuente de demandas de agua ilimitada y la planta es la unidad conductora entre el suelo y la atmósfera, ya que absorbe el agua del suelo, luego esta circula por el xilema, y finalmente sale a través de los estomas de las hojas hacia la atmósfera en un proceso conocido como transpiración. El flujo de agua se produce en respuesta a un gradiente de energía o de potenciales que existe entre el suelo y la atmósfera, de acuerdo a la siguiente ecuación y representado por la **Figura 46**.

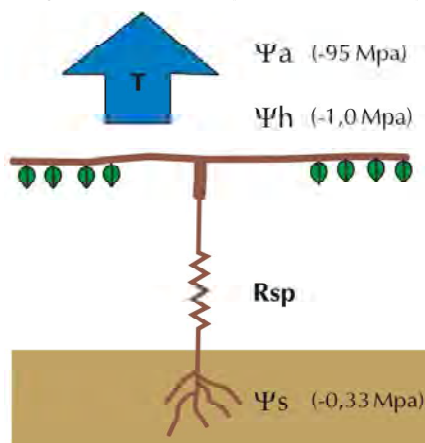


Figura 46. Flujo transpiratorio en respuesta a gradientes de potenciales hídricos en el sistema suelo-planta-atmósfera. Entre paréntesis se indican potenciales hídricos representativos en las diferentes partes del sistema.

En la Figura 46, T , es la transpiración de la planta; Ψ_a , Ψ_h y Ψ_s son los potenciales totales del agua en la atmósfera, en la hoja y en el suelo respectivamente; R_{est} es la resistencia estomática y R_{sp} , es la resistencia a la circulación del agua entre el suelo y la planta (resistencia de raíces y de los sistemas conductores hasta llegar a las hojas). La transpiración constituye la fuerza motriz del ascenso de agua en las plantas. A nivel de las hojas, y en respuesta al gradiente de potencial hídrico entre la atmósfera y la hoja, se produce salida de agua desde estas en forma de vapor a través de los estomas, disminuyendo su potencial hídrico. Esta reducción de potencial hídrico foliar aumenta el gradiente entre la hoja y el suelo, lo que provoca un

flujo de agua desde la zona de raíces. En la medida que la disponibilidad de agua del suelo disminuye (disminuye el potencial mátrico y la conductividad hidráulica del suelo), el flujo de agua hacia la planta es cada vez menor, llegando a un momento en que la absorción no puede igualar a la transpiración, produciéndose un déficit hídrico en la planta, lo que induce un cierre estomático. Por otra parte, los excesos de agua en el suelo provocan problemas de aireación, afectando el metabolismo radicular, lo que también afecta el desarrollo del cultivo en general.

Por lo tanto, es necesario mantener niveles de humedad adecuados en el suelo para satisfacer las necesidades de transpiración de las plantas y no provocar déficit o excesos hídricos, que afecten su crecimiento y desarrollo (Figura 47).

La aplicación de cantidades de agua concordes con los requerimientos de las plantas y la eficiencia de la aplicación del sistema de riego que se utilice, permite ahorrar agua y energía, controlar las pérdidas de nutrientes por lixiviación y aumentar los rendimientos y calidad de la producción.

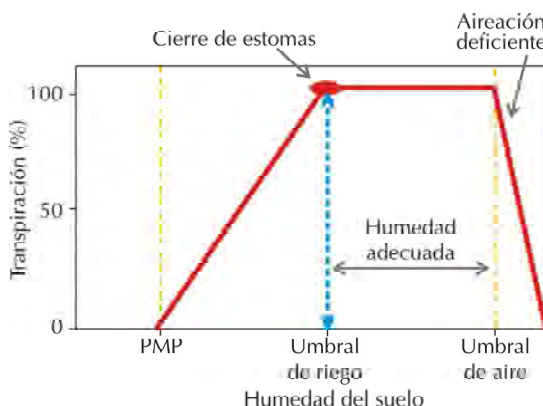


Figura 47. Relación entre el contenido de humedad del suelo y el desarrollo del cultivo. El rango de humedad adecuado es menor en cultivos de arraigamiento superficial y de mayor demanda evaporativa.

6.1 Programación de riego

La programación de riego consiste en estimar el agua requerida por el cultivo para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuado, con el objetivo de maximizar su producción o bien obtener un producto de calidad definida.

La programación de riego hay que dividirla en dos etapas, una predictiva que corresponde a la programación propiamente tal y una etapa de control de ésta, a través de la cuantificación de la humedad del suelo y/o el estado hídrico de la planta.

La etapa predictiva de la programación de riego tiene por finalidad establecer a priori los tiempos y las frecuencias entre riegos que permitan obtener un adecuado desarrollo de los cultivos.

A objeto que la programación pueda funcionar adecuadamente es necesario considerar una serie de factores, entre los cuales intervienen:

- Condiciones del clima, que determinan la demanda evaporativa de la atmósfera o la evapotranspiración de referencia (ET_o).
- Características propias del cultivo, como son su estado de desarrollo, el período fenológico (coeficiente K_c) y la distribución del sistema radicular.
- Características propias del suelo, tales como capacidad de retención de humedad, aireación, profundidad y su variabilidad espacial, entre otras.

En el caso de utilizar equipos de riego presurizado, se debe considerar las características propias de este, como es la intensidad de precipitación real del equipo o el caudal aplicado por planta.

En la **Figura 48** se muestra como se relación los factores antes indicados.

6.1.1 Cómo elaborar un programa de riego

Para realizar un programa de riego es necesario analizar el sistema suelo en forma integral, viendo la posible interacción entre la aireación, la retención de humedad y la resistencia mecánica del suelo. En consecuencia, una adecuada programación de riego requiere de un reconocimiento previo del suelo. Este se logra mediante un estudio agrologico (estudio de suelo, ver capítulo 3), a escala apropiada, que permita se-

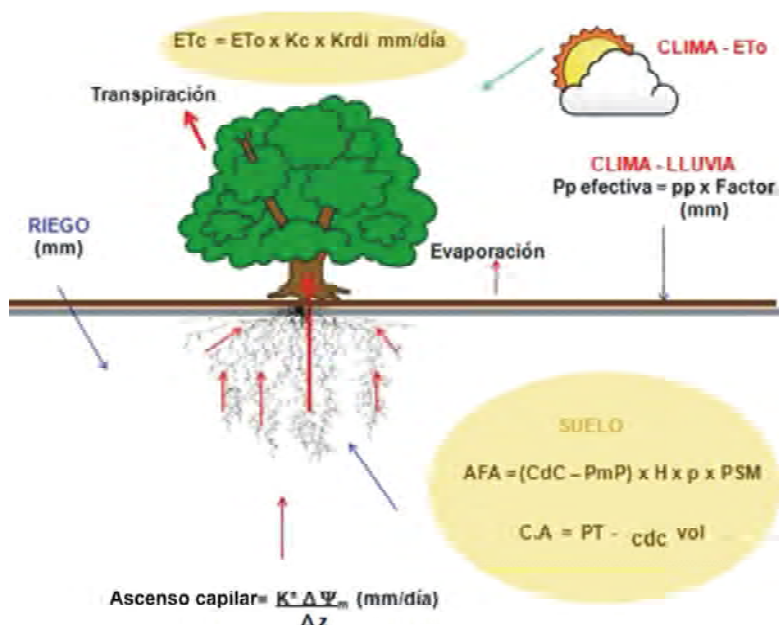


Figura 48. Factores que intervienen en la programación del riego.
 AFA = Agua fácilmente aprovechable; CC% = Capacidad de Campo del suelo base volumen (%); PMP% = Porcentaje de marchites permanente base volumen (%); H = profundidad de raíces (mm); P = fracción de agotamiento o umbral de riego Pied = Fracción de piedras presentes en el perfil de suelo; PSM = Fracción de suelo mojado por los emisores de riego.

parar unidades de suelo homogéneas, en cuanto a su textura, estructura, secuencia de estratas; profundidad y agua fácilmente aprovechable (AFA). Incluso el diseño de los equipos de riego debiera considerar la variabilidad de suelos existentes, para evitar problemas posteriores en el manejo de tiempos y frecuencias de riego. Para cada unidad homogénea de suelo es recomendable realizar una determinación insitu (sin alterar mayormente su estructura) de su densidad aparente y capacidad de campo, para derivar parámetros tales como la porosidad total y capacidad de aire del suelo (estimación de la macroporosidad), en particular en aquellos de texturas finas, que son los que presentan las mayores dificultades de manejo del agua de riego en cultivos sensible a la falta de oxígeno en el suelo.

Por lo tanto, como paso preliminar, para realizar un programa de riego, es necesario conocer la variabilidad espacial que presentan los suelos en los diferentes cuarteles, de tal manera de planificar el riego de acuerdo a unidades homogéneas.

Tomando en consideración los antecedentes anteriores, es posible establecer tiempos y frecuencias de riego que permitan definir un programa de riego para el cultivo.

6.1.1.1 Frecuencia de riego

En el riego localizados en frutales hasta hace algunos años atrás, los programas de riego localizado sólo consideraban altas frecuencias de aplicación de agua (riegos diarios) para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo, independiente del tipo de suelo. Actualmente, la experiencia ha mostrado que los riegos de alta frecuencia son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas, de una alta macroporosidad y delgados. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de humedad y de baja macroporosidad, los riegos de baja frecuencia (cada 2 ó 3 días o más) se han mostrado más promisorios. Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo pueden significar problemas desde el punto de vista de la aireación del suelo, desarrollo de ciertas enfermedades y una escasa área de suelo mojada.

Para definir la frecuencia de riego más apropiada es necesario disponer de antecedentes que permitan determinar por una parte la humedad aprovechable del suelo o el agua disponible total (ADT) de cada cuartel o sector de riego y la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Una tabla práctica de agua disponible total (ADT) según clases texturales se presenta en el **Cuadro 24**, expresada como mm de agua por cada cm de profundidad de suelo. También desde Internet, en el sitio <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>, se puede bajar una calculadora de agua disponible total (ADT) en función de la textura del suelo.

Cuadro 24. Agua disponible total (ADT) en suelo de diferente textura (PSM =1 y Pied = 0).

Textura de suelo	ADT (mm/cm)
Arenoso	0,6 - 1,0
Franco arenoso	0,9 - 1,5
Franco	1,4 - 2,0
Franco arcilloso	1,6 - 2,2
Arcilloso arenoso	1,8 - 2,3
Arcilloso	2,0 - 2,5

ADT = Agua disponible total o humedad aprovechable;

Pied = Fracción de piedras presentes en el perfil de suelo;

PSM = Fracción de suelo mojado por los emisores de riego.

La frecuencia de riego se puede calcular a través de la siguiente relación:

$$\text{Frecuencia entre riegos (días)} = \text{AFA (mm)} / \text{ETc (mm/día)}$$

Donde:

AFA = Agua Fácilmente Aprovechable (mm) $\text{AFA} = \text{ADT} \times \text{p}$.

P = Fracción de agotamiento o umbral de riego de acuerdo al cultivo (ver Capítulo 3).

ADT = Agua disponible total (mm) ver cálculo en Capítulo 3.

6.1.1.2. Tiempo de riego (cantidad de agua a aplicar)

El tiempo de riego corresponde a las horas que debe operar cada sector del equipo de riego para suplir la ETc del cultivo. En zonas de lluvia se debe considerar la magnitud de las precipitaciones, ya que parte de las necesidades de agua del cultivo serán suplidas por éstas (ver capítulo 4).

El tiempo de riego requerido necesario para suplir los requerimientos de riego del cultivo debe considerar la evapotranspiración del cultivo, la precipitación efectiva y la intensidad de precipitación del equipo de riego, de acuerdo a la siguiente relación:

$$Tr = NB / IPP$$

Donde:

Tr = tiempo de riego en horas/día.

NB = requerimiento de riego del cultivo o necesidades brutas (mm/día).

NB = (ETc - pef) / (K).

Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Pef = precipitación efectiva (mm).

K = Efa; K = (1-FL); su usa el menor valor de K ETc = Efa = Eficiencia de aplicación del método de riego (%/100).

FL = fracción de lavado de sales.

IPP = intensidad de precipitación del equipo (mm/h).

IPP = qa x Ne / 10000.

qa = caudal emisor l/h).

Ne = número de emisores por hectárea.

Dada la relevancia que adquiere la descarga de los emisores en la determinación del tiempo de riego, es muy importante realizar evaluaciones periódicas del caudal de los emisores (ver capítulo 5).

El tiempo de riego se puede calcular como horas de riego por día. Sin embargo, como se vio en el punto anterior, dependiendo del agua fácilmente aprovechable (AFA) la frecuencia de riego puede ser más distanciada. En el caso de riegos de baja frecuencia, el tiempo de riego se obtiene multiplicando el tiempo de riego diario (hrs/día) por la frecuencia de riego (días).

Ejemplo 1:

Determinar frecuencia y tiempo de riego de un cultivo de Cerezos regados por goteo, en el mes de noviembre. La ETc del cultivo en ese período es de 4,5 mm/día. AFA = 18 mm.

La cantidad de goteros por há es de 8.000, con una descarga de 2 L/hr. La Efa es de 90% (0,9). No hay problemas de sales (LF =0), por lo tanto K = 0,9.

Frecuencia de riego:

(FR) = 18 (mm)/4,5 (mm/d) = 4 días

Tiempo de riego por sector:

$$NB = ET_c/K = 4,5 \text{ (mm/d)}/0,9 = 5 \text{ mm/d}$$

$$IPP = q_{axNe}/10.000 = 2 \text{ (L/h)} \times 8000/10.000 = 1,6 \text{ mm/hr}$$

$$TR \text{ diario} = NB/IPP = 5 \text{ (mm/d)}/1,6 \text{ (mm/hr)} = 3,12 \text{ hr/d}$$

Tiempo de riego total por sector para la frecuencia de riego = 4 (días) x 3,12 (hr/d) = 12,5 hr.

Hay que recalcar que el administrador y los encargados de riego del predio deben tener muy claro el tipo de suelos y la variabilidad espacial que presentan entre diferentes sectores de riego, ya que el agua fácilmente aprovechable depende de las características físicas del suelo de cada sector de riego.

De esta forma, un buen manejo de riego hace necesario contar con un mapa o plano de suelos donde se agrupen los sectores similares desde el punto de agua disponible total (ADT) o agua fácilmente aprovechable (AFA). Estos estudios se obtienen mediante análisis de calicatas, cada 1 ha, en las que se les determina la textura, la profundidad de raíces, presencia de piedras y, capacidad de retención de agua, entre otras propiedades. Estos planos deben ser complementarios a los topográficos para el diseño de nuevos equipos de riego.

Los tiempos y frecuencias de riego van cambiando permanentemente, en función de la variación de ET_c en el curso de la temporada, por lo cual es conveniente contar con una planilla de cálculo (tipo Excel) que permita ir realizando los cálculos en forma dinámica. En esta planilla de cálculo se pueden incluir las horas teórica y las horas reales aplicadas, ya que muchas veces los cálculos no se pueden llevar a la práctica y esto no sucede de acuerdo a lo planeado por diversos motivos. Es por esto que debe exigirse al encargado de riego una planilla donde anote el tiempo real aplicado, para poder realizar correcciones posteriores a los déficits que se vayan generando. El sistema de control mejoraría más aún si se establecieran caudalímetros a la salida de la bomba para determinar el volumen real de agua que se aplica por sector.

Ejemplo 2:

Desarrollo de un programa de riego mensual en uva de mesa, (mes de noviembre). La distancia de plantación es de 3,5 x 1,8 (var Red Globe). Doble línea de riego con emisores de 2 L/h a 0,5 m. Efa = 90% (0,9), no hay problemas de salinidad ni ascenso capilar.

Cálculo de AFA:

CC	38,2 % vol.
PMP	17 % vol.
PSM	0,4 %/100
H	700 mm
P	0,35
Pied	0 %/100
AFA	20,78 mm

Cálculo de IPP

qa	2 L/h
Ne por hectárea	11.429
Área	10.000 m ²
IPP	2,29 mm/h

Planilla programa de riego.

Día	Eto actual (mm/día)	kc	Etc (mm/día)	PP (mm)	Etc acum. (mm)	Db acum. (mm)	TR (hrs)	TR real (hrs)
1	4,80	0,61	2,93	0,0	2,93			
2	4,90	0,62	3,04	0,0	5,97			
3	4,90	0,65	3,19	0,0	9,15			
4	5,20	0,55	2,86	0,0	12,01			
5	5,00	0,56	2,80	0,0	14,81			
6	5,20	0,56	2,91	0,0	17,72			
7	4,80	0,57	2,74	0,0	20,46	22,7	9,9	11,0
8	4,40	0,58	2,55	0,0	2,55			
9	4,20	0,59	2,48	0,0	5,03			
10	4,40	0,59	2,60	0,0	7,63			
11	4,60	0,60	2,76	0,0	10,39			
12	5,20	0,61	3,17	0,0	13,56			
13	5,80	0,61	3,54	0,0	17,10			
14	5,40	0,62	3,22	0,0	20,32	22,6	9,9	10,0
15	5,40	0,63	3,65	0,0	3,65			

Continuación planilla programa de riego.

Día	Eto actual (mm/día)	kc	Etc (mm/ día)	PP (mm)	Etc acum. (mm)	Db acum. (mm)	TR (hrs)	TR real (hrs)
16	4,80	0,64	3,46	0,0	7,11			
17	5,20	0,64	3,46	0,0	10,57			
18	5,20	0,65	3,12	0,0	13,69			
19	5,20	0,66	3,43	0,0	17,12			
20	5,60	0,66	3,43	0,0	20,55			
21	6,00	0,67	3,48	0,0	24,03	26,7	11,7	12,0
22	5,40	0,68	3,81	0,0	3,81			
23	6,20	0,69	4,14	0,0	7,95			
24	6,40	0,69	3,73	0,0	11,67			
25	6,10	0,70	4,34	0,0	16,01			
26	6,40	0,71	4,54	0,0	20,56	22,8	10,0	10,0
27	6,70	0,71	4,33	0,0	4,33			
28	7,00	0,72	4,61	0,0	8,94			
29	6,40	0,73	4,89	0,0	13,83			
30	5,40	0,74	5,18	0,0	19,01			

Ejemplo3:

Desarrollo de un programa de riego, utilizando datos diarios, en un cultivo de palto.

Cálculo del agua fácilmente aprovechable (AFA) del sector de riego.

CC	38,25 % vol.
PMP	17 % vol.
PSM	0,5 %/100
H	500 mm
P	0,4
Pied	0 %/100
AFA	21,25 mm

$$\text{AFA (mm)} = \text{ADT} \times \text{P}$$

$$\text{ADT} = [(\text{CC}\% - \text{PMP}\%)/100] \times \text{H} \times \text{PSM} \times (1 - \text{Pied})$$

ADT = agua disponible total o humedad aprovechable.

AFA = agua fácilmente aprovechable.

P = fracción de agotamiento o umbral de riego.

CC% = capacidad de Campo del suelo base volumen (%).

PMP% = porcentaje de marchitez permanente base volumen (%).

Da = densidad aparente del suelo (g/cm³).

H = profundidad de raíces (mm).

Pied = fracción de piedras presentes en el perfil de suelo.

PSM = fracción de suelo mojado por los emisores de riego.

Cálculo de la intensidad de precipitación del equipo de riego en el sector.

IPP = intensidad de precipitación del equipo (mm/h).

IPP = $qa \times Ne / 10.000$.

qa = caudal emisor l/h.

Ne = número de emisores por hectárea.

qa	45 L/h
Ne por hectárea	417
Área	10.000 m ²
IPP	1,88 mm/h

Planilla programa de riego, utilizando datos diarios, en un cultivo de paltos.

Sector 1

AFA 21,3 mm. Mes: Diciembre

IPP 1,875 mm/h. Efa 0,85

Día	Eto mm/ día	Kc	Etc mm/ día	A capilar mm/ día	PP mm	Balance mm/ día	Riego mm/ día	Tr mm	Tr horas
1	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6	23,6	12,6
2	5,10	0,72	3,7	0		17,6	13,9		
3	5,10	0,72	3,7	0		13,9	10,2		
4	5,10	0,72	3,7	0		10,2	6,6		
5	5,10	0,72	3,7	0		6,6	2,9		
6	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6	21,7	11,6
7	5,10	0,72	3,7	0		17,6	14,0		
8	5,10	0,72	3,7	0		14,0	10,3		
9	5,10	0,72	3,7	0	30	10,3	21,3		
10	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6		
11	5,10	0,72	3,7	0		17,6	13,9		

Continuación de Planilla programa de riego.

Día	Eto mm/ día	Kc	Etc mm/ día	A capilar mm/ día	PP mm	Balance mm/ día	Riego mm/ día	Tr mm	Tr horas
12	5,10	0,72	3,7	0		13,9	10,2		
13	5,10	0,72	3,7	0		10,2	6,6		
14	5,10	0,72	3,7	0		6,6	2,9		
15	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6	21,7	11,6
16	5,10	0,72	3,7	0		17,6	14,0		
17	5,10	0,72	3,7	0		14,0	10,3		
18	5,10	0,72	3,7	0		10,3	6,6		
19	5,10	0,72	3,7	0		6,6	2,9		
20	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6	21,6	11,5
21	5,10	0,72	3,7	0		17,6	14,0		
22	5,10	0,72	3,7	0		14,0	10,3		
23	5,10	0,72	3,7	0	19	10,3	21,3		
24	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6		
25	5,10	0,72	3,7	0		17,6	13,9		
26	5,10	0,72	3,7	0		13,9	10,2		
27	5,10	0,72	3,7	0		10,2	6,6		
28	5,10	0,72	3,7	0		6,6	2,9		
29	5,10	0,72	3,7	0		21,3	17,6	21,7	11,6
30	5,10	0,72	3,7	0		17,6	14,0		
31	5,10	0,72	3,7	0		14,0	10,3		

Observación: nótese que en este ejemplo existe un registro de las horas reales aplicadas por riego, y un registro de volumen aplicado. Muchas veces los cálculos se tratan de llevar a la práctica y esto no sucede de acuerdo a lo planeado por diversos motivos. Es por esto que debe exigirse al encargado de riego una planilla donde anote el tiempo real aplicado. El sistema de control mejoraría más aún si se establecieran caudalímetros a la salida de la bomba para determinar

Ejemplo 4:

Desarrollo de un programa de riego, utilizando datos históricos, en un huerto de paltos.

Cálculo del agua fácilmente aprovechable (AFA) del sector de riego.

CC	38,25 % vol.
PMP	17 % vol.
PSM	0,5 %/100
H	500 mm
P	0,4
Pied	0 %/100
AFA	21,25 mm

$AFA (mm) = ADT \times P$.

$ADT = [(CC\% - PMP\%)/100] \times H \times PSM \times (1 - Pied)$

ADT = agua disponible total o humedad aprovechable

AFA = agua fácilmente aprovechable

P = fracción de agotamiento o umbral de riego

CC% = capacidad de Campo del suelo base volumen (%)

PMP% = porcentaje de marchitez permanente base volumen (%)

Da = densidad aparente del suelo (g/cm³)

H = profundidad de raíces (mm)

Pied = fracción de piedras presentes en el perfil de suelo

PSM = fracción de suelo mojado por los emisores de riego

Cálculo de la intensidad de precipitación del equipo de riego en el sector.

IPP = intensidad de precipitación del equipo (mm/h).

$IPP = qa \times Ne / 10.000$.

qa = caudal emisor l/h).

Ne = número de emisores por hectárea.

qa	45 L/h
Ne por hectárea	417
Área	10.000 m ²
IPP	1,88 mm/h

Planilla programa de riego, utilizando datos medios mensuales.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo mm/día	5,68	5,93	4,45	3,33	2,00	1,13	0,77	1,10	2,07	3,23	4,60	5,32
Kc	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
ETc mm/día	4,09	4,27	3,21	2,40	Controlar con sensores				1,49	2,32	3,31	3,83
ETC mm/mes	126,72	119,52	99,36	72,00					44,64	69,68	99,36	118,8
PP 85 PO mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
Pef mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
AC mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
NIN mm/mes	126,7	119,5	99,4	72,0					44,6	69,7	99,4	118,8
Efa	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
NB mm/mes	149,1	140,6	116,9	84,7					52,5	82,0	116,9	139,8
NB mm/día	4,81	5,02	3,90	2,73					1,69	2,64	3,90	4,51
IPP mm/día	1,875	1,875	1,875	1,875					1,875	1,875	1,875	1,875
Tiempo de riego (h)	2,6	2,7	2,1	1,5					0,9	1,4	2,1	8,5
AFA	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
Frecuencia riego (h)	6,1	5,9	7,8	10,4					16,8	10,8	7,6	6,5

Nota: si llueve más de 10 mm ajustar programa con observación de humedad en terreno o sensor tipo FDR.

6.2 Sistemas de control del riego

6.2.1 Control del estado hídrico del suelo

Monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. El monitorear la humedad del suelo puede ayudar a tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como el determinar la cantidad de agua a aplicar y cuándo aplicarla. También le puede ayudar a igualar los requerimientos de agua del cultivo con la cantidad aplicada con el riego; y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda o por escurrimientos o bien evitar aplicar una cantidad insuficiente. El exceso de riego puede incrementar el consumo de energía, el uso de agua y el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular.

El control de la humedad del suelo permite conocer el nivel de disponibilidad de agua en forma cualitativa o cuantitativa, esto último midiendo el contenido de humedad (gravimétrico o volumétrico) o el potencial mátrico del agua en el suelo.

Se debe tener presente que previo al establecimiento de cualquier sistema de control, se debe conocer la variabilidad espacial de los suelos para lograr una clara interpretación de los resultados que se obtengan y que sirvan como una herramienta adecuada para mejorar el manejo de riego del cultivo.

6.2.1.1 Uso de barrenos y calicatas. Estimación cualitativa de la humedad de suelo

Entre los métodos de control de suelo, el más sencillo es el control sensorial del perfil por medio de calicatas o barreno. Consiste en tomar muestras de suelo a distintas profundidades y observar el contenido aparente de humedad. Este método es de muy fácil aplicación, pero requiere de cierta experiencia.

El uso de calicatas es siempre recomendable, pues permite una visualización más completa de la humedad del suelo y, además, permite ob-

servar el estado general del perfil y el desarrollo de raíces para comprobar la calidad del riego que se está utilizando.

Las calicatas deben ser anchas y profundas, de tal manera que se pueda apreciar toda la zona de desarrollo de raíces (**Foto 29**).

La estimación de si la humedad del suelo es adecuada o no para el desarrollo de las plantas se realiza en forma cualitativa, de manera sensorial. En las figuras siguientes se entrega una pauta que puede ayudar para tener una interpretación adecuada de la sensación de humedad al tacto, según la textura del suelo.



Foto 29. Uso de calicata para controlar el riego



**Suelo Franco - Arcilloso
y Franco Arcillo Limoso.**

Contenido de humedad entre 0 y 25 % de humedad. Se desmorona fácilmente. Se rompe con facilidad y no es posible formar una bola.



**Suelo Franco - Arcilloso y
Franco Arcillo Limoso.**

Contenido de humedad entre 25 a 50% de humedad No se desmorona, tiene un grado elevado de consistencia y se hace una bola bajo presión.



**Suelo Franco - Arcilloso y
Franco Arcillo Limoso.**

Contenido de humedad entre 50 a 75 %. Se forma una bola rápidamente, brota entre los dedos índice y pulgar. Algo aceitosa al tacto.



**Suelo Franco - Arcilloso
y Franco Arcillo Limoso.**

Contenido de humedad entre 75 a 100 % de humedad. Se forma una bola rápidamente, brota entre los dedos índice y pulgar. Algo aceitosa al tacto.



Suelo Franco. Contenido de humedad entre 0 a 25 %. Se desmorona fácilmente pero tiende a compactarse al apretarlo con la mano.



Suelo Franco. 25 al 50% de humedad. Se desmorona algo. Se mantiene consistente con la presión.



Suelo Franco. 50 a 75 % de humedad. Se hace bola fácilmente y bajo presión puede alisarse ligeramente.



Suelo Franco. 75 a 100 % de humedad. Se hace bola fácilmente, es bastante moldeable y se alisa con facilidad.



Suelo arenoso. Entre 0 y 25% de humedad. Seca, suelta tiende a fluir entre los dedos.



Suelo arenoso. Entre 25 a 50% de humedad. Tiene apariencia seca. No forma bola con la presión.



Suelo arenoso. Entre 50 a 75 % de humedad. Bajo presión forma bola poco consistente. No se mantiene unida al soltar la mano.



Suelo arenoso. 75 al 100% de humedad. Se forma bola de poca consistencia que se rompe fácilmente y no se puede alisar.

6.2.1.2 Humedad del suelo. Determinaciones cuantitativas

El control de humedad del suelo se puede evaluar mediante el uso de instrumentos que pueden cuantificar ya sea la energía de retención del agua en el suelo (potencial mátrico) o bien el contenido de humedad volumétrico del suelo. Ambos parámetros están íntimamente relacionados, ya que a medida que disminuye el contenido de agua del suelo, aumenta la energía de retención del agua por parte de la matriz del suelo (es decir, disminuye el potencial mátrico). Esta relación depende de las características de la textura y de la estructura del suelo.

Entre los instrumentos que miden la energía del agua en el suelo se encuentran los tensiómetros (**Foto 30**) y los sensores en base a resistencia eléctrica (como los sensores Watermarker (**Foto 31**)).



Foto 30. Tensiómetros instalados en palto.



Foto 31. Sensor Watermark.

Los tensiómetros miden la energía de retención del agua en el suelo hasta 60 a 70 kPa o centibares (cb), rango en que se encuentra más del 50% del agua disponible total (ADT). Los sensores de resistencia eléctrica pueden registrar valores mayores (0 a 200 cb), sin embargo muestran una baja sensibilidad a rangos altos de humedad en el suelo, que son comunes y normales en la práctica del riego localizado. En el **Cuadro 25** se presentan los rangos utilizados para riego.

Aunque estos instrumentos pueden ser muy útiles, requieren de una instalación y mantención rigurosa, así como una localización muy precisa respecto del sistema radicular de las plantas.

Cuadro 25. Estado del agua en el suelo según lectura del tensiómetro y Watermark (centíbares, cb).

Lectura en centíbares (cb)	Estado del agua en el suelo
0 - 10	Suelo saturado.
30 - 40	Valor al que se debe regar en riego localizado.
40 - 50	Valor al que se debe regar en riego superficial
60 - 100	Rango de suelo seco.
100 - 200	Rango de suelo muy seco.

Entre los equipos que miden humedad de suelo destacan los sensores conocidos con el nombre de sondas capacitivas o FDR (Frequency Domain Reflectometry), que basan su medición en la constante dieléctrica del suelo. Consiste en un capacitor que consta de dos placas de un material conductor que están separadas por una distancia muy corta (menos de 10 mm). Se aplica un voltaje en un extremo de la placa y el material que está entre las dos placas almacena cierto voltaje. Un medidor lee el voltaje conducido entre las placas.

Cuando el material entre las placas es aire, el capacitor mide 1 (la constante dieléctrica del aire). La mayoría de los materiales del suelo, tales como la arena, arcilla y material orgánico poseen una constante dieléctrica de 2 a 4. El agua tiene la constante dieléctrica más alta, que es de 78. Por lo tanto, variaciones del contenido de agua del suelo hacen variar la constante dieléctrica del sistema agua-suelo. A mayor contenido de humedad mayor constante dieléctrica. Los cambios en la constante dieléctrica, entonces permiten estimar indirectamente el contenido de agua del suelo.

Algunos de los sensores disponibles basados en la capacitancia incluyen los sensores Decagon® (FDR), EnviroSCAN® (FDR) y Reflectómetro de Dominio de Tiempo (TDR) (**Foto 32**).



Foto 32. Sensores de humedad basados en sondas capacitivas.

6.2.1.2.1 Funcionamiento

Estos sensores disponen de una curva de calibración interna que les permite proporcionar sus lecturas como contenido volumétrico de agua en el suelo a la profundidad a la que se colocan (m^3 de agua/ m^3 de suelo). Típicamente la humedad del suelo oscila de 0 a $0,4 \text{ m}^3$ de agua por m^3 de suelo. Como ya se ha indicado, estos sensores ya están precalibrados para usarse en una amplia gama de tipos de suelo. Sin embargo, para suelos con altos contenidos de arena (texturas gruesas) y suelos con altos contenidos de sal, la calibración estándar no será exacta. Por lo tanto, se deberán realizar ajustes en estos suelos.

Como criterio de interpretación general, un valor de 0 a $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ indica el rango de un suelo seco o cerca del punto de marchitamiento permanente y un valor de $0,3$ a $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ representa el rango de humedad de un suelo de capacidad de campo a saturado. Sin embargo, este criterio puede variar según la textura del suelo. Por tal razón en condiciones de campo es útil regar a saturación y dejar drenar el suelo hasta capacidad de campo, y en estas condiciones definir qué lectura que entregan los sensores, para tomarla como referencia e interpretación de los valores que se midan.

Los sensores se conectan a un Datalogger, el cual permite mantener un registro continuo de datos, realizando mediciones cada 30 ó 60 minutos, y almacenar los datos medidos, los cuales pueden ser recuperados periódicamente para su análisis e interpretación.

6.2.1.2.2 Instalación y lectura

Los sensores se deben colocar a diferentes profundidades en áreas representativas del terreno con el fin de dar seguimiento al movimiento del agua del suelo y a su agotamiento dentro de la zona radicular. Esto permitirá monitorear la humedad y determinar el uso del agua por el cultivo a través del tiempo.

Ya que los sensores miden el contenido de agua cerca de su superficie, es importante evitar las bolsas de aire y la compactación excesiva del suelo alrededor de los sensores para obtener lecturas más representativas del suelo natural.

Los sensores se deben separar a una distancia de al menos 33 cm unos de otros o se deben separar de otras superficies metálicas. Se pueden colocar perpendicular o verticalmente a la superficie del suelo.

Para colocar un sensor en instalaciones más profundas, se debe hacer un agujero previamente (Foto 32). Posteriormente, se debe cubrir el sensor colocando tierra alrededor del mismo, asegurándose que exista un buen contacto entre el suelo y el sensor. Los cables del sensor deben estar accesibles para poder ser conectados al sistema de registro de datos. Si se insertan los cables a través de un conducto podrán durar más tiempo ya que éste los puede proteger de posibles daños causados por animales, productos químicos y de los rayos ultravioletas.

Se necesita un programa de computación para bajar la información del registro de (Foto 32). El registrador de datos se puede programar para realizar lecturas del sensor de humedad a diferentes intervalos de tiempo (ej. 1 lectura cada 0,5 ó 1 horas). Con este sistema es posible registrar la información del contenido de agua en el suelo durante toda la temporada del cultivo.

6.2.1.2.3 Interpretación de lecturas entregada por los sensores

Los sensores a través de un programa computacional entregan gráficas como la presentada en la **Figura 49**. En el eje Y se gráfica la humedad del suelo como agua disponible total (ADT %) y en el X el tiempo.

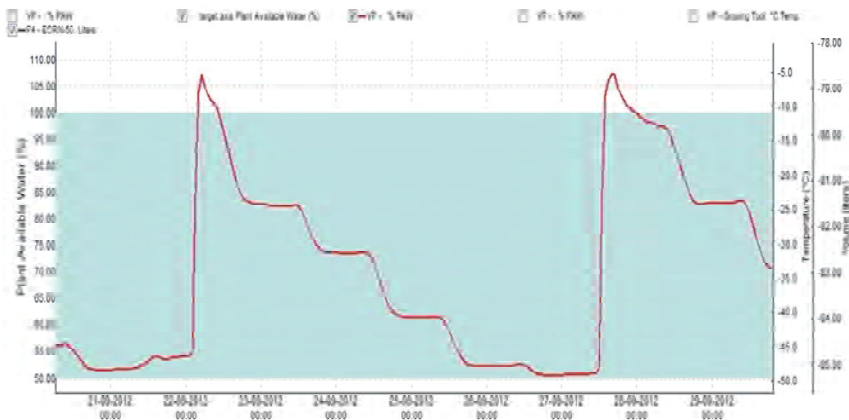


Figura 49. Gráficas entregadas por los sensores de capacitancia (FDR).

Cuando el agua disponible total (plant available water) marca "100 %" indica que el suelo está a capacidad de campo (CC) y cuando marca "0 %" indica que el suelo está a punto de marchitez permanente (PMP) (Figura 49). En las gráficas se observa que la humedad disminuye por un periodo y luego se estabiliza. Cuando disminuye corresponde a pérdidas de humedad del suelo por evapotranspiración de las plantas o por drenaje en profundidad. Cuando la humedad del suelo no disminuye (está estable) puede corresponder a los períodos en que las plantas dejan de evapotranspirar (noche) y el suelo ya dejó de drenar. Hay que recordar que cuando el suelo comienza a dejar de drenar es capacidad de campo la cual se puede observar en la gráficas (Figura 49).

En la **Figura 50** se puede observar la variación del agua disponible total en dos suelos cultivados con paltos. Las sondas están ubicadas a tres profundidades, la curva verde está a 20 cm, la roja a 40 cm y la azul a 70. En la parte superior de la Figura 50, se presenta la variaciones de humedad en un huerto de palto, que muestra una alta actividad radicular, sobre todo en los estratos superficiales. En la parte inferior se observa la variación de humedad en un huerto de la misma especie, pero con baja actividad radicular, posiblemente por asfisia producto del tipo de suelo y/o manejo del riego. Las barras rosas, de la misma figura, son sensores que indican el momento e intensidad del riego. En la Figura

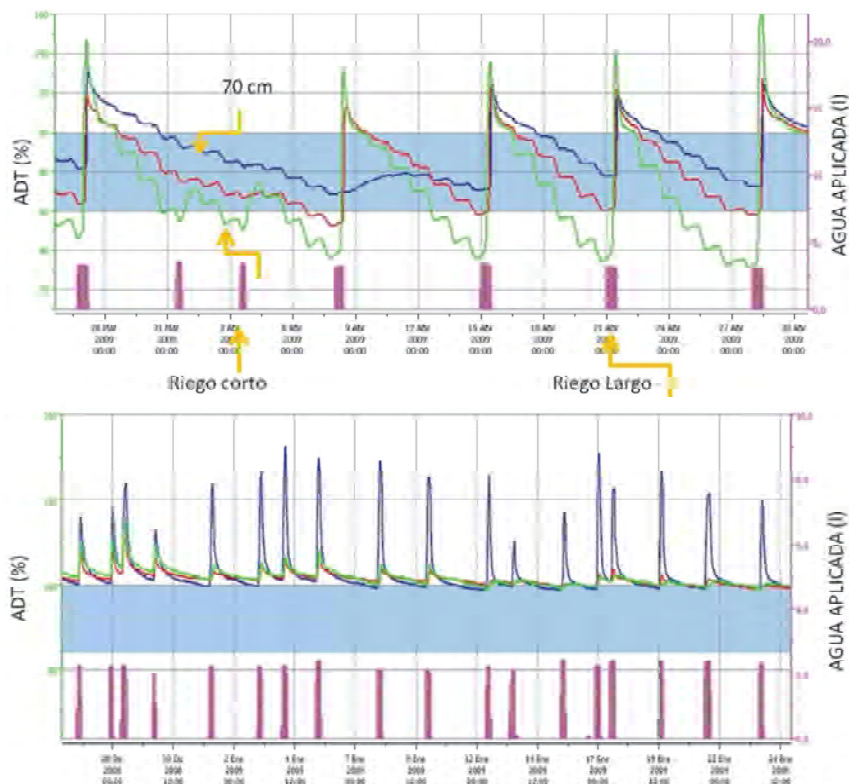


Figura 50. Variación del agua disponible total (ADT) en dos suelos cultivados con palto con alta (superior) y baja (inferior) actividad radicular. Verde variaciones de humedad, agua disponible total (ADT) a los 20 cm, Rojo a los 40 cm y azul a los 70 cm. ADT= 100% es Capacidad de campo y 0% es punto de marchitez permanente.

50 superior se puede observar que los paltos está siendo regados cuando se agota entre un 40 a 60% del ADT en cambio los de la figura 50 inferior está siendo regados cuando el suelo está recién comenzado a dejar de drenar (suelo cerca de la capacidad de campo), por lo cual el suelo está al 100% del ADT. Es muy probable que el suelo de la figura 50 inferior sea un suelo con baja capacidad de aire y se esté regando muy frecuentemente, limitando la evapotranspiración de las plantas por falta de oxígeno en la zona de raíces.

En la **Figura 51** se presenta un caso donde las plantas de paltos presentan dificultades en la absorción de agua, que queda representada por el cambio de pendiente que se observa en las curvas de humedad de suelo. En este caso el palto presenta una disminución en la tasa de transpiración, asociado a una menor disponibilidad de agua y probablemente a cierre estomático. En el palto este hecho ocurre con valores entre un 50 a 60% de agotamiento del ADT del suelo. En el caso de la Figura 51, los paltos se riegan cuando se ha agotado casi un 70% del ADT, el cambio de pendiente de las curvas de variación de humedad indican que este valor es demasiado extremo. Los riegos se deberían realizar cuando se agote entre un 50 a 60% de la ADT. En la misma figura, también se puede observar que los tiempos de riego que se están aplicando son muy largos, ya que se está perdiendo agua en profundidad, fuera de la zona de raíces. Esto queda reflejado en que el contenido de humedad en el estrato de 70 cm (línea azul), sobrepasa la Capacidad de Campo (100% ADT) en forma importante, después de cada riego.

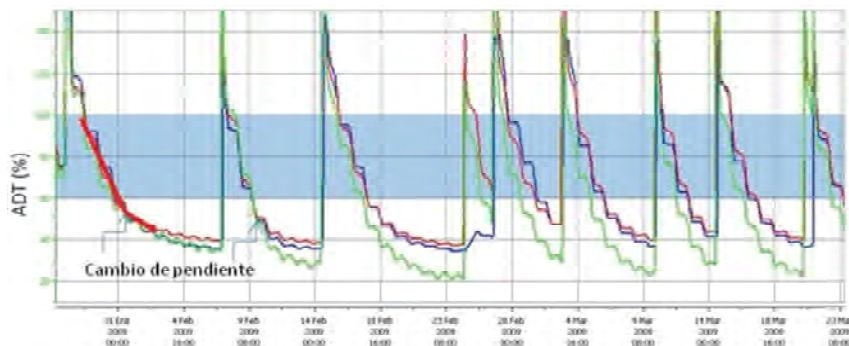


Figura 51. En este caso se observa que las paltas que se riegan cuando se ha agotado casi un 70% del ADT. Verde variaciones de humedad, agua disponible total (ADT) a los 20 cm, Rojo a los 40 cm y azul a los 70 cm. ADT = 100% es Capacidad de campo y 0% es punto de marchitez permanente.

Como se aprecia, este tipo de sensores entregan información respecto de los dos parámetros relevantes; el tiempo y la frecuencia de riego. La Figura 51 muestra tiempos de riego largos, ya que el sensor ubicado a 70 cm sobre pasa los valores de capacidad de campo. La **Figura 52** indica el caso contrario, tiempos de riego demasiado cortos, donde el

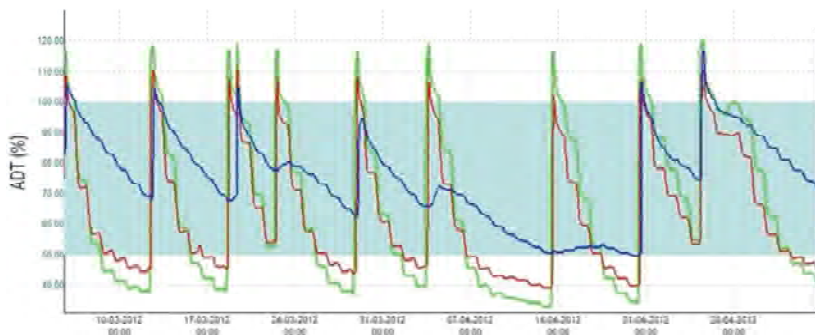


Figura 52. Huerto de palta donde los tiempos de riego son insuficientes para lograr que la sonda de 70 cm (azul) vuelva a capacidad de campo después de algunos riegos. Verde variaciones de humedad, agua disponible total (ADT) a los 20 cm, Rojo a los 40 cm y azul a los 70 cm. ADT = 100% es Capacidad de campo y 0% es punto de marchitez permanente.

sensor ubicado a la misma profundidad no aumenta el contenido de después de los riegos, situación que se corrige con el riego del día 21 de abril.

En resumen, a través de los ejemplos indicados, los sensores de capacitancia (FDR) permiten tener información cuantitativa de los niveles de humedad en el suelo, y poder determinar si los tiempos de riego fueron suficientes para volver el suelo a capacidad de campo, si el momento del riego es el adecuado, y establecer cómo está la actividad radicular en las diferentes profundidades, entre otros factores de interpretación.

6.2.1.2.4 Ajuste de un programa de riego usando sondas capacitivas (FDR)

Un buen programa de riego, que considere la evapotranspiración de referencia (E_{to}), el coeficiente de cultivo (K_c) y retención de humedad del suelo permite una buena aproximación a los requerimientos reales de riego del cultivo. Con el uso complementario de sondas de medición continua de la humedad del suelo (FDR) se puede mejorar la estimación de los requerimientos de agua del cultivo y con esto disminuir

los volúmenes de agua que se pierden por percolación profunda, disminuyendo los costos debido a energía eléctrica y optimizar la relación agua - aire en el suelo.

En la **Figura 53** se presenta a manera de ejemplo el resultado de un programa de riego en uva de mesa. Se estableció un programa de riego considerando un agotamiento del 30% del agua disponible ($p=0,3$), lo que entregó un AFA del orden de 30 mm. La frecuencia teórica de riego en el mes de noviembre es de 10 días, en diciembre de 5 días y en enero de 4 días. Los sensores muestran (Figura 53), que la frecuencia teórica calculada se ajustó de una forma bastante razonable con lo indicado por las sondas de humedad

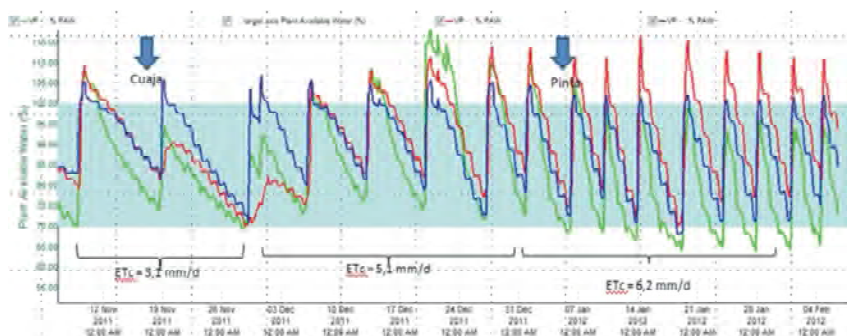


Figura 53. Variación de la Humedad aprovechable del suelo en respuesta a un programa de riego en uva de mesa, cultivar Thompson Seedless. ET_c , corresponde a la evapotranspiración del cultivo.

En ciertas situaciones es necesario ajustar el valor de AFA. En la **Figura 54** se muestra como a través del análisis de las curvas de humedad de suelo, obtenida con un sensor FDR, se puede ajustar un programa de riego, modificando el AFA, en este caso, en palto. En este ejemplo se ajusto el agua fácilmente aprovechable (AFA) y los requerimientos de lavados. El programa de riego se inicio con una estimación del AFA de 13 mm y se termino ajustándola a 20 mm. Esto no significo un aumento o disminución de la cantidad de agua a aplicar, solo tuvo que ver con mejorar la oportunidad del riego, lo que permitió aumentar la extracción de agua del suelo por las plantas (transpiración) ante un mismo

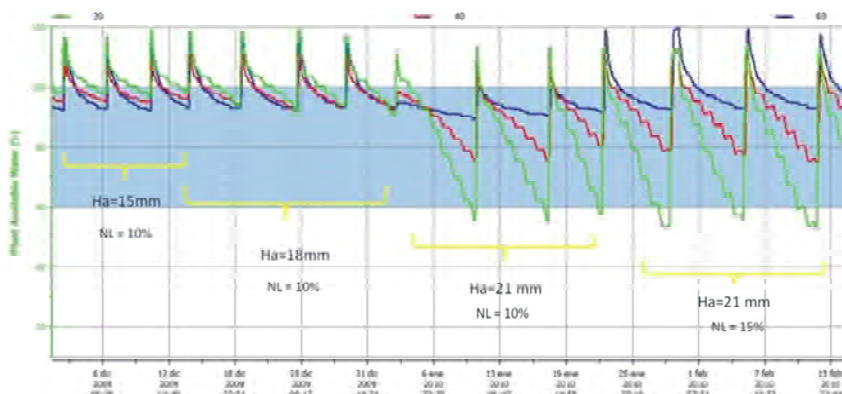


Figura 54. Ejemplo de ajuste de un programa de riego a través del uso de sensores de humedad continuos (FDR). Línea verde agua disponible para las planta a los 20 cm profundidad, rojo a los 40 cm profundidad y azul a los 60 cm profundidad. Entre 100 y 60% es el agua útil, la que corresponde al 40% de agotamiento del agua disponible para las plantas.

volumen de agua aplicado. Esto se podría deber a que cuando los niveles de oxígeno son bajos las plantas restringen la transpiración afectando el crecimiento.

6.3 Control de estado hídrico de la planta

Otra forma de evaluar si los riegos se están realizando en forma adecuada, es medir el estado hídrico de las plantas. Estos tienen la ventaja de que integran el contenido de humedad del suelo disponible en toda la zona radicular del cultivo y las condiciones de demanda evaporativa imperantes en el momento de la medición.

El estado hídrico de la plantas se puede medir evaluando ya se a el potencial hídrico xilemático, que es un método rápido y sencillo, o bien realizando un seguimiento continuo de otro indicador, como es la microvariación diámetro de los troncos, medida con dendrómetros.

Potencial hídrico xilemático

El potencial xilemático corresponde a la tensión con que se encuentra el agua en el xilema de la planta, y se mide en unidades de presión, normalmente el megapascal (MPa). Los valores medidos se expresan en términos negativos, ya que el agua en el xilema de las plantas se encuentra a presiones inferiores a la atmosférica. La tensión del agua en el xilema se puede medir con una cámara de presión conocida también con el nombre de bomba Scholander (**Figura 55**).

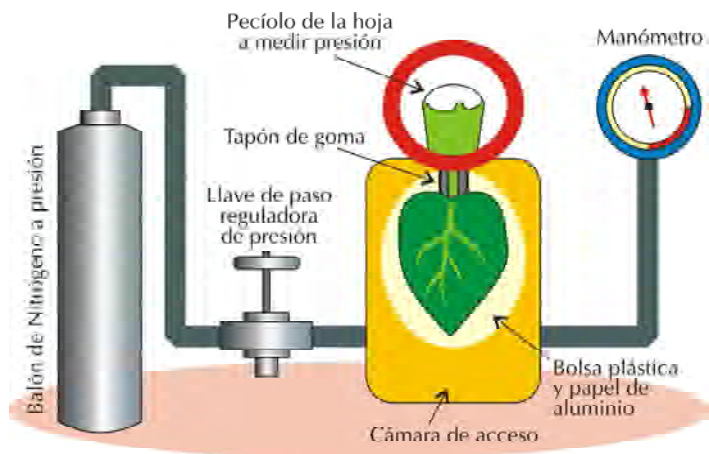


Figura 55. a) Superior cámara de presión tipo Scholander.
b) inferior. Representación esquemática de una cámara de presión para medición de potencial hídrico.

Para obtener el potencial xilemático (Ψ_x) es necesario envolver las hojas a medir en una bolsa plástica y papel de aluminio, para bloquear la transpiración, y luego de una hora, las hojas envueltas cortan al nivel del pecíolo y se colocan (sin quitar el envoltorio) al interior de la cámara y se aplica una presión hasta que aparezca jugo xilemático en el extremo del pecíolo cortado, lo cual se detecta por observación visual, mediante una lupa. Esta presión es equivalente a la tensión a que se encuentra el agua en el xilema previo al corte y que corresponde al potencial hídrico del xilema de la planta. Para realizar estas mediciones se debe tener especial cuidado en el muestreo y en el tiempo transcurrido entre el corte y la medición de las hojas, para que no se

deshidratan durante la manipulación. Es posible realizar varias repeticiones, de acuerdo a variedades y tipos de suelo.

Durante el día, el potencial hídrico disminuye (se hace más negativo) como consecuencia del aumento en la demanda evaporativa de la atmósfera, llegando a su punto mínimo cerca del medio día (Potencial mínimo). El valor más alto se obtiene antes del amanecer (Potencial de base), cuando no hay transpiración. Por lo anterior, es importante realizar las mediciones en las horas donde existan algunos valores estándares de comparación, para la interpretación correcta de los potenciales xilemáticos. Lo estándar es medir el potencial xilemático (hojas cubiertas) al mediodía (entre las 14 y 16 hrs.), en días despejados. Mientras más negativo es el potencial hídrico xilemático, mayor es el déficit hídrico del cultivo (**Figura 56**).

La cámara de presión es un buen complemento de las mediciones de contenido de humedad de suelo. En condiciones de campo se ha encontrado una estrecha correlación entre el contenido de agua del suelo y los potenciales xilemáticos medidos a medio día.

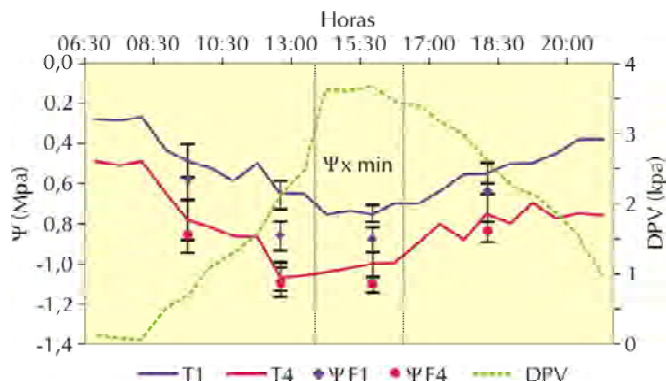


Figura 56. Evolución diaria del potencia hídrico xilemático (Ψ_x) en MPa, para dos tratamiento T1 y T4, el día 79 DDB, en el cultivar Crimson Seedless, temporada 2003/04. El contenido de humedad de suelo (Hs) fue de 323 mm (capacidad de campo) para T1 y 171 mm para T2. A la derecha se presenta el déficit de presión de vapor del aire (DPV kPa). Las líneas punteadas limitan el período de medición del potencial hídrico mínimo ($\Psi_x \min$) (adaptado de Ferreyra *et al*, 2006).

Por lo tanto mediante el uso de la sonda FDR se puede determinar profundidad y distribución de agua en el suelo, y mediante el uso de la cámara de presión se puede saber si esas condiciones están dando un adecuado estado hídrico a las plantas (**Figura 57**). La cámara de presión tiene la ventaja que permite realizar muchas mediciones en un tiempo relativamente corto.

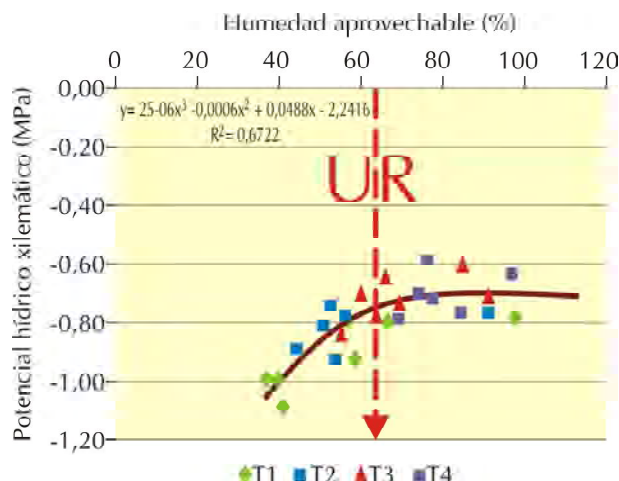


Figura 57. Relación entre la Humedad Aprovechable del agua en el suelo (%) y el potencial hídrico xilemático medido a mediodía. T1, T2, T3 y T4 corresponden a tratamientos de riego que han recibido 60, 80, 120 150% de ETC durante toda la temporada. Cv Thompson Seedless/Freedom. Valle de Aconcagua. Temporada 2010/2011. UR corresponde al umbral de riego.

En el **Cuadro 26** se presentan valores de potencial hídrico xilemático a medio día referenciales en plantas sin déficit hídrico

Microvariación del diámetro de troncos

Otra forma de evaluar el estado hídrico de la planta, que ha comenzado a despertar interés en países más desarrollados, es la medición de las microvariaciones diarias de diámetro que presentan los órganos de la planta, particularmente el diámetro de los troncos. Este método se

Cuadro 26. Valores de parámetros de la relación suelo-planta-agua para plantas sin déficit hídrico.

Cultivo	Potencial hídrico xilemático a medio día (MPa)
Almendro	-0,8 a -1,0 MPa
Cerezo	-0,7 a -0,9 MPa
Cítricos (clementinas)	-1,1 MPa
Ciruelo	-0,77 a -1,0 MPa
Duraznero	-0,7 a -1,0 MPa
Nogal	-0,6 a -0,8 MPa
Olivo	-1,1 a -1,6 MPa
Palto	-0,5 a -0,8 MPa
Vides:	
Cabernet Sauvignon	-0,7 a -1,0 MPa
Chardonnay	-0,5 a -0,9 MPa
Thompson Seedless	-0,6 a -0,8 MPa
Flame Seedless	-0,65 a -0,9 MPa
Crimson Seedless	-0,7 a -0,85 MPa

presenta promisorio en el caso de árboles frutales, donde este indicador ha mostrado ser muy sensible del estado hídrico de la planta.

En el transcurso del tiempo, el diámetro del tronco o de cualquier otro órgano, presenta variaciones irreversibles de diámetro, debido al crecimiento celular; y variaciones reversibles, causadas por variaciones del contenido de agua de los diferentes órganos. Así, en un ciclo de 24 horas, durante el período diurno, donde la transpiración es elevada, se produce una fase de reducción de diámetro o contracción de entre una decena a una centena de micrones, seguido de un proceso de rehidratación y crecimiento, durante el período nocturno (**Figura 58**). A medida que disminuye la disponibilidad de agua del suelo como consecuencia de la extracción que realiza la planta, el crecimiento o expansión nocturna decrece, pudiendo llegar a ser nulo e incluso ne-

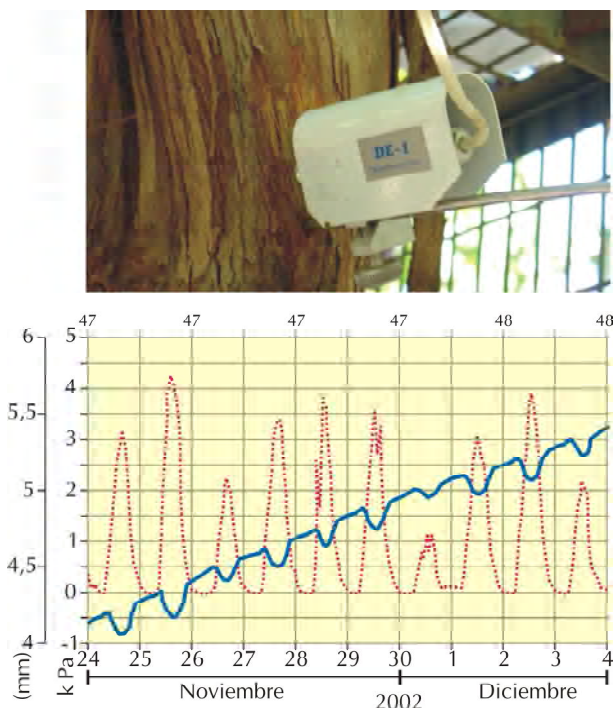


Figura 58. a) Superior. Dendrómetro en el tronco de una parra. b) Inferior. Secuencia de la variación diaria del diámetro del tronco en vid de mesa var. Crimsom Sedles. La línea punteada corresponde a la demanda evaporativa de la atmósfera (Fuente: INIA, Selles *et al*, datos no publicados, proyecto FONDECYT 1020836).

gativo. La tendencia del crecimiento diario permite determinar si las condiciones de riego son óptimas o no, en cada período fenológico. En el caso particular de uva de mesa, la tendencia del crecimiento pareciera ser el criterio más adecuado. Es importante tener en cuenta el estado fenológico por el que atraviesan las bayas en el momento de la interpretación de la variación de diámetro de tronco, ya que existe una alta interacción entre esos dos procesos.

7. RESPUESTA DE LOS FRUTALES AL RIEGO

En la programación de riego es necesario tomar en cuenta aspectos fisiológicos y fenológicos de las diferentes especies. No todos los procesos fisiológicos básicos de las plantas presentan el mismo grado de respuesta al déficit hídrico, existiendo algunos más sensibles que otros, por lo tanto, para someterlo a Riego Deficitario Controlado (RDC) es necesario conocer su ciclo fenológico, su fisiología y la respuesta al déficit hídrico. En el presente capítulo se entregan antecedentes de una serie de especies frutales que pueden ser útiles al momento de tomar decisiones de manejo de riego.

7.1 Almendro

Ciclo fenológico

La brotación del almendro comienza temprano en la temporada. El crecimiento se inicia con las reservas de carbohidratos almacenados en la temporada anterior, en brotes terminales y laterales. Así se produce una rápida expansión de la copa del árbol, hasta mediados de noviembre. Luego, a medida que el crecimiento en longitud disminuye, el brote comienza a engrosar por el crecimiento secundario derivado de la actividad del cambium. Esta actividad puede continuar durante todo el verano si las condiciones hídricas son favorables, no obstante, si el déficit se produce desde comienzos de brotación, se afecta el crecimiento secundario incidiendo negativamente sobre la formación de tejido de reserva y, por consiguiente, sobre la capacidad de almacenaje de reservas para el año siguiente.



El ciclo reproductivo se inicia la temporada anterior, la inducción floral ocurre, aproximadamente, durante el mes de febrero. En el invierno se desarrollan las distintas partes florales a expensas de reservas alma-

cenadas en tejidos leñosos. A partir de la floración, que ocurre aproximadamente en julio, comienza a crecer el fruto alcanzando su máximo tamaño a principios de noviembre. Esta primera fase de crecimiento compite por el agua con la parte vegetativa. A partir de noviembre se inicia la segunda etapa, donde se desarrolla el embrión y se endurece la cáscara (endocarpo). Puede durar todo el mes de noviembre o hasta inicios de diciembre; un déficit hídrico durante esta fase puede resultar en un menor desarrollo del embrión, lo que implica una reducción del peso seco del grano y su calidad. Durante la tercera fase se produce la acumulación de materia seca y termina el endurecimiento de la cáscara. Esta etapa se puede prolongar hasta la cosecha.

También existen períodos específicos de caída de frutos, de los cuales el más importante es el que ocurre en diciembre, considerando un proceso natural donde el árbol regula la carga que es capaz de llevar a buen término. El estado del árbol y la disponibilidad de agua, entre otras condiciones, es determinante de la intensidad de esta caída.

Durante la etapa comprendida entre mediados de diciembre hasta mediados de febrero (curva de peso seco del grano, **Figura 59**), no se requieren grandes aportes de agua, aunque un corte total del suministro tampoco es recomendable (Goldhamer y Shackel, 1990; Girona *et al.*, 1994). En el período de postcosecha, el árbol requiere mantener su tasa fotosintética suficiente para asegurar las reservas que darán inicio al cre-

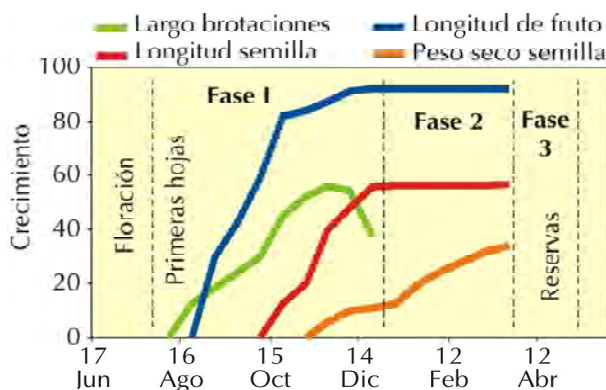


Figura 59. Fases del ciclo anual del almendro
(Adaptado de Girona y Marsal, 1995).

cimiento en la temporada siguiente, por lo que en este período un déficit hídrico severo puede comprometer el desarrollo futuro del árbol.

Dado que la producción del almendro comprende un ciclo de dos años, es importante considerar que los efectos de un estrés hídrico sobre la inducción y diferenciación floral se comenzarán a ver reflejados recién en el segundo año.

Experiencias con riego deficitario

Diversos autores consideran que la estrategia de RDC es una buena alternativa para el manejo de almendros en zonas con escasez de agua, ya que la disminución del suministro hídrico, en la precosecha, tendría poco efecto sobre la producción y permitiría importantes ahorros de agua. Sin embargo, esta estrategia no es tan beneficiosa si se aplica en postcosecha o cuando los árboles están en fase juvenil, ya que en los primeros años después de la plantación es importante formar árboles grandes, a los cuales se les podrá aplicar más tarde estrategias de RDC.

Déficits hídricos en precosecha

Si bien se han observado disminuciones en los rendimientos de los árboles sometidos a déficit hídrico durante la fase de llenado de semilla, esto se acompaña de importantes ahorros, de hasta un 28%, en la cantidad de agua utilizada (Romero *et al.*, 2004; García *et al.*, 2005; Girona *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2006). Lo anterior se ve traducido en un aumento en la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) de los árboles.

Por otro lado, Goldhammer y Schackel (1990), consiguieron ahorros de agua del 58% mediante la aplicación de RDC, que contemplaba regar al 80% de la ETc hasta que se completara el tamaño exterior del fruto y finalizara el crecimiento vegetativo.; luego se siguió con riegos al 60% de la ETc hasta que se completara el tamaño de la pepita; para continuar durante la fase de aumento en peso seco de la pepita, con un 40% de la ETc y un 60% de la ETc hasta la recolección. Las producciones obtenidas fueron similares a las del tratamiento testigo. Similares resultados fueron observados con suministros hídricos iguales al 20% de la ETc durante la fase II, los que consiguieron un ahorro de agua del

62% sin afectar la producción ni la calidad de la almendra (Girona, 1992). Nortes (2008), por su parte, obtuvo un ahorro de agua del 50 % en almendros bajo RDC y con producciones similares al control.

Déficits hídricos en postcosecha

Un déficit hídrico en postcosecha tiene un mayor impacto en la producción que un déficit hídrico en precosecha, aunque la cantidad de agua deficitaria haya sido mayor en la precosecha. Se postula que la mayor sensibilidad al déficit hídrico, luego de la cosecha de las almendras, se podría deber a la tardía diferenciación reproductiva del brote del almendro o a que los déficits de agua pueden dañar partes primordiales de la flor y/o acelerar la emergencia de los estambres durante la floración, disminuyendo su receptividad del polen (Goldhamer y Vivero, 2000).

Una restricción en el suministro hídrico, posterior a la recolección de la fruta, reduciría el número de flores en un 52,2% y la cuaja en un 94,3% en la siguiente temporada, lo que redundaría en reducciones de la carga de la fruta y de la producción de hasta 76,7% y 73,6%, respectivamente (Goldhamer y Vivero, 2000).

Puesto que la falta de agua en postcosecha es más perjudicial que un déficit hídrico en precosecha, se torna indispensable mantener los riegos desde la recolección de la fruta hasta que comience el período de lluvia.

7.2 Carozos (Durazno, Damasco, Cerezo y Ciruelos)

En carozos, la imposición de reducciones de agua de riego al final del ciclo como consecuencia de episodios de sequía y falta de agua, pueden generar una reducción en la producción y también una posible compensación de este efecto con una mejor calidad final del fruto. Además, la aplicación de estrategias



de riego deficitario controlado (RDC) durante las fases de crecimiento menos sensibles a dicha reducción, puede desembocar en un ahorro considerable de agua. Para lograr esto, es necesario, en principio, conocer la fenología de los cultivos a manejar.

Crecimiento vegetativo y reproductivo

El crecimiento vegetativo de los carozos, lo mismo que cualquier planta de hoja caduca, presenta una mayor tasa de crecimiento de brotes durante la primavera, período que coincide con las dos primeras etapas de crecimiento del fruto (Chalmers y Wilson, 1978 y Chalmers *et al*, 1981). A medida que avanza la temporada y se acerca el cambio de estación, el crecimiento va siendo menor hasta no detectarse. Un déficit hídrico en primavera trae como consecuencia una menor área foliar.

El fruto, sigue una curva de crecimiento que se divide en tres fases (**Figura 60**). La fase I se extiende desde plena flor hasta el inicio del endurecimiento del carozo. En esta etapa crece rápidamente, producto de una activa división celular alcanzando, según la variedad, entre un 35 y un 45% de su tamaño final. Durante la fase II, o período de endurecimiento del carozo y desarrollo del embrión, el crecimiento del fruto es muy lento (Richards y Rowe, 1977). Por último, durante la fase III, que abarca desde el término del endurecimiento del carozo hasta la

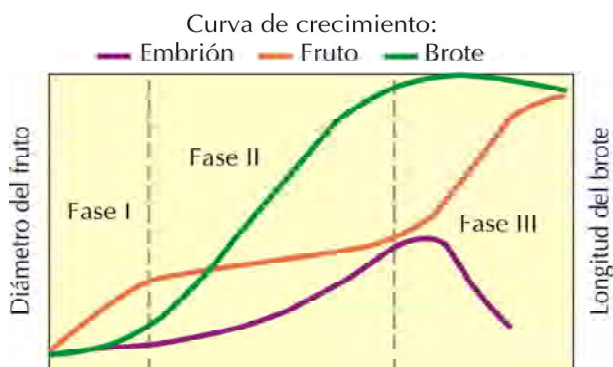


Figura 60. Curva de crecimiento del fruto de duraznero. (I: Fase de división celular del fruto; II: Endurecimiento de carozo; III: Elongación celular del fruto).

maduración del fruto, el crecimiento de nuevo se acelera a causa, principalmente, de la elongación celular, además disminuye la firmeza de la pulpa - debido a que la pared celular se hace más delgada - el color de fondo cambia y los sólidos solubles aumentan.

La fase II es más larga en carozos tardíos (ciruelos y variedades tardías de duraznero) y casi imperceptibles en carozos tempranos (cerezo, damasco y duraznos tempranos) pero, en general, la tasa de crecimiento de los frutos es prácticamente nula.

Respuesta al déficit hídrico

Consideraciones generales

El RDC, en frutales de carozo, puede ser considerado una estrategia útil en áreas semiáridas con recursos hídricos limitados (Pérez-Pastor *et al.*, 2009).

Los estudios realizados en carozos generalmente utilizan, como criterio para aplicar el déficit hídrico, las distintas etapas de desarrollo del fruto. Así, se han determinado "períodos críticos" para la especie, en donde la falta de agua puede afectar aspectos tales como el rendimiento.

En general, para carozos tardíos (ciruelos y duraznos), déficits en la Fase II no tienen mayores efectos sobre el rendimiento; no así si el estrés es producido en la Fase III de crecimiento, donde el tamaño de los frutos disminuye con la consiguiente baja en rendimientos. El déficit hídrico en la fase III es una desventaja para la producción de duraznos frescos, sin embargo, si se piensa en una producción destinada a la venta de frutos secos (como es el caso de ciruelos var. D'Agen) se transforma en una oportunidad para disminuir los costos en secado y concentrar sólidos solubles más rápidamente. En los carozos tardíos también se puede reducir la aplicación de agua en la postcosecha sin afectar en forma importante los rendimientos.

Cabe señalar que para carozos tempranos (cerezos, damascos y duraznos), los déficit hídricos solo se pueden realizar en postcosecha, ya que la fase II es de muy corta duración, por lo que el efecto de la

reducción de agua aplicada es poco significativo. El déficit hídrico en post cosecha, como se indicó, no afecta los rendimientos, sin embargo, generaría mayor aparición de frutos mellizos y un aumento en la floración en la temporada siguiente (Johnson *et al.*, 1992 y 1994).

Efecto del estrés hídrico en las diferentes fases de desarrollo del carozo

Efectos del estrés hídrico en la fase II

Es posible lograr una disminución del crecimiento vegetativo sin alterar la calidad de la fruta y su rendimiento, a través de una reducción del aporte de agua a la planta durante la fase II. Este efecto se explicaría por una menor competencia entre los puntos de crecimiento vegetativo y reproductivo, induciendo así una mayor capacidad de elongación celular durante la fase III, momento en que el suministro hídrico se ha normalizado (Chalmers *et al.*, 1981). Además, se recomiendan disminuir el agua a partir de la fase I sobre todo en suelos de alta retención de humedad, para lograr producir déficit hídrico en la fase II (Ferreyra *et al.*, 2002).

El riego deficitario aplicado durante la etapa II de desarrollo del fruto, no afectaría la producción de fruta durante el año ni tendría efecto sobre la producción de flores o frutos durante los años en que se aplica (Girona *et al.*, 2005). Similares resultados exponen Chalmers *et al.* (1983), que concluyen que el suministro reducido de agua durante las primeras etapas de crecimiento del fruto, es decir, desde fase I hasta fin de crecimiento de brotes, no afecta el tamaño final del fruto ni el rendimiento. Incluso Li *et al.* (1989), encontraron que, algunas veces, el déficit hídrico aplicado durante esas mismas etapas puede ser beneficioso para reducir la caída prematura de frutos, lo que incrementaría la producción en comparación con árboles regados normalmente. Huguet *et al.* (1990), obtuvieron resultados similares y agregan que, al parecer, un suministro hídrico restringido en las fases I y II de crecimiento del fruto reduce la incidencia de pudrición en postcosecha.

Por otra parte, Girona *et al.* (2005) indican que los frutos de durazneros sometidos a déficit de riego durante la fase II presentaron una deshidra-

tación considerable. Pero, al final de la Etapa III, la fruta recupera completamente todo el contenido de agua perdido durante la fase II. Sin embargo, hay autores que indican que al aplicar RDC en fase II en huertos con alta carga, aunque no se afecte el rendimiento, se puede afectar el calibre. Intrigliolo y Castel (2010), encontraron que en ciruelos para fresco un déficit hídrico durante la fase II afecta el calibre cuando el nivel de carga es comercial, no así, en árboles con baja carga. Esto concuerda con lo expuesto por Lampinen *et al.* (1995), quienes sostienen que la falta de agua durante toda la fase II, en ciruelos de la variedad D'Agen, está asociada a una reducción significativa del tamaño de la fruta. Resultados similares encontró Correa (2000), al someter a RDC un huerto de ciruelos variedad D'Agen durante la fase II de crecimiento del fruto, donde encontró que el rendimiento fue similar para árboles con riego del 100% y 27% de la ETc, pero con diferencias en el número de frutos y calibre: árboles estresados presentaron frutos de menor tamaño, lo cual fue compensado con un mayor número de ellos. Este efecto del déficit hídrico en la fase II sobre el calibre, es importante en carozos para fresco, sin embargo no es importante en carozos para seco, incluso puede ser beneficioso al disminuir el consumo de energía para el secado.

Por otro lado, reducciones en la cantidad de agua aplicada durante la fase II afectaría el crecimiento de los árboles, se asociaría a un incremento en la floración de la temporada siguiente (Lampinen *et al.*, 1995) y afectaría ligeramente el crecimiento de las ramillas (Ferreyra *et al.*, 2002).

Efectos del estrés hídrico en la fase III

En general, la fase III del crecimiento del fruto de los carozos es considerado un período crítico para la aplicación de déficit hídrico, ya que una restricción hídrica en esta etapa está asociada a disminuciones en el rendimiento. Referente a esto, Besset *et al.* (2001), estudiando la incidencia del estrés hídrico durante la fase III, en duraznos, encontraron que el mayor número de frutos de bajo calibre estaba en árboles estresados, lo que redundó en un menor rendimiento. Lo mismo sucede en damascos; donde árboles con restricción hídrica presentan reducciones en el rendimiento, lo que se debe a un tamaño más pequeño de la fruta en la cosecha (Torrecillas *et al.*, 2000). En ciruelo japonés, la

disminución del agua aplicada durante la fase III, también afectaría el rendimiento al reducir el peso promedio de los frutos (Intrigliolo y Castel, 2005).

Sin embargo, la disminución de los rendimientos se vería compensada por un aumento en la calidad de los frutos. La calidad del sabor de los duraznos se podría mejorar con déficits hídricos severos durante la etapa III al producirse frutos con mayor contenido de sólidos solubles (Besset *et al.*, 2001).

La aplicación de RDC durante la fase III, además, adelantaría la maduración de los frutos de damasco (Torrecillas *et al.*, 2000).

Efectos del estrés hídrico en postcosecha

Se ha observado que el estrés hídrico aplicado en la postcosecha de carozos no tendría efectos importantes en el corto plazo, sin embargo, su práctica durante temporadas sucesivas ha evidenciado consecuencias negativas para el cultivo. Aspectos tales como la disminución del crecimiento de los árboles, redundan en rendimientos menores para años posteriores.

Así lo afirman Intrigliolo y Castel (2005), quienes estudiaron el RDC aplicado después de la cosecha, durante cuatro años, en ciruelo japonés. La restricción no afectó al crecimiento de la fruta o el rendimiento, a corto plazo. Sin embargo, en el último año del experimento se observó una reducción del 10% en el rendimiento en comparación con árboles sin restricción. Lo mismo se observó en damasco, donde el estrés hídrico luego de la cosecha produjo un descenso significativo en el rendimiento de frutos al año siguiente (Torrecillas *et al.*, 2000), y en ciruelo europeo, donde el estrés en postcosecha repercutió negativamente en la carga frutal del año siguiente (Lampinen *et al.*, 1995).

La reducción en la productividad, a largo plazo, de árboles sometidos a restricción hídrica después de la cosecha se ha atribuido a distintos aspectos, tales como, los efectos acumulativos del déficit hídrico sobre el crecimiento de los árboles (Intrigliolo y Castel, 2005), una menor cuaja final derivada del aumento en la caída de frutos jóvenes (Torrecillas *et*

al., 2000), la reducción del número de botones florales y nudos por unidad de longitud de las ramas (Girona *et al.*, 2005) o a que se aumenta el número de frutos mellizos - que están en un mismo pedicelo- que no son comerciales (David Goldhammer, 1995, comunicación personal).

Cabe señalar que la restricción hídrica después de la cosecha podría considerarse en plantaciones comerciales como una herramienta para controlar el crecimiento vegetativo, debido a la generación de ramas más pequeñas. Sin embargo, se ha visto que no existe ningún beneficio con respecto a la disminución de los costos de poda, porque los podadores tienen que realizar el mismo número de cortes en los árboles (David Goldhammer, 1995, comunicación personal).

Efecto de poda severa de verano sobre el déficit hídrico

La poda severa de verano bajo condiciones de sequía produjo una mejora en el estado hídrico del árbol. Como una mejora en el estado hídrico tiene un efecto positivo en el crecimiento del fruto, podría esperarse que el crecimiento del fruto de árboles podados fuera superior al de árboles sin podar. Sin embargo, Girona en sus trabajo no observó ningún beneficio en el peso final del fruto en árboles podados. Se ha constatado que la reducción en la superficie foliar del árbol después de la aplicación de la poda severa provocó una limitación en la capacidad fotosintética de los árboles, reduciendo la capacidad de crecimiento de los frutos. La poda severa de verano no es una técnica interesante para mitigar los efectos negativos de una sequía, ya que no produce ningún beneficio sobre el crecimiento del fruto.

Consideraciones finales

Según lo expuesto en este capítulo, es posible aplicar el RDC como estrategia de ahorro de agua en carozos, logrando reducciones de hasta un 75% en el volumen aplicado. Sin embargo, para determinar el momento exacto en el cual el déficit no disminuirá los rendimientos y puede influenciar en la mejora de la calidad de los frutos, se deben tener en cuenta aspectos tales como el ciclo fenológico de la especie, el momento de cosecha del cultivo (variedades tardías versus variedades tempranas) y el destino de la producción (fresco o seco).

7.2.1 Cerezo

El cerezo es una especie de hoja caduca, muy adaptada a la zona centro-sur y sur del país, tanto por sus requerimientos de frío (700 a 1000 horas-frío) como por su preferencia a los suelos más bien ácidos. Estas cualidades del cerezo han permitido incorporar nuevas áreas geográficas a la fruticultura, que es hoy por hoy uno de los subsectores más dinámicos de la agricultura.



Ciclo anual de crecimiento

Durante el ciclo de desarrollo del cerezo, distintas fases fenológicas se suceden, cada una de ellas con particularidades desde el punto de vista del crecimiento de los distintos órganos. Un esquema del crecimiento anual en este cultivo se muestra en la **Figura 61**.

En esta figura, se puede apreciar que el desarrollo de frutos y semilla en el cerezo es de muy corta duración al compararlo con el crecimiento vegetativo. Esta característica hace del cerezo una especie en la que es particularmente importante controlar el excesivo crecimiento del árbol. Árboles muy grandes dificultan la cosecha y hacen más difícil su manejo.

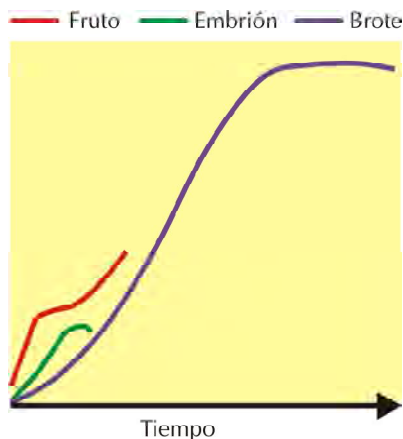


Figura 61. Crecimiento de diversos órganos en el cerezo.

Por otra parte, el desarrollo del fruto en cerezo se ajusta a una curva doble sigmoidea, como la que aparece en la **Figura 62**. Este tipo de crecimiento es común a todos los carozos, y en ella pueden identificarse tres etapas bien definidas, normalmente denominadas etapas I, II y III.

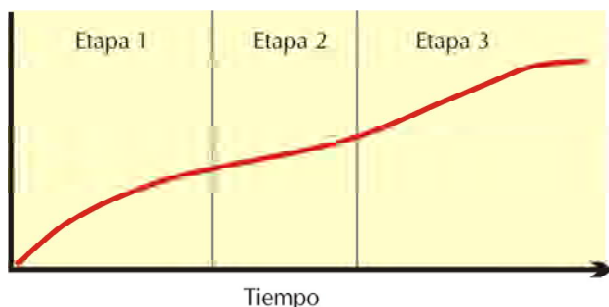


Figura 62. Evolución del diámetro de fruto en cerezos.

La etapa I se caracteriza por una activa división y crecimiento celular en el mesocarpio, aumentando fuertemente el diámetro del fruto.

La etapa II no manifiesta un aumento significativo en el tamaño del fruto, ya que durante esta etapa se lignifica el endocarpio (carozo) y se desarrolla el embrión en la semilla (almendra).

Al iniciarse la etapa III de crecimiento, el fruto retoma un acelerado crecimiento, debido a un proceso de elongación de las células de mesocarpio, además de iniciarse el proceso de maduración en el que se acumula activamente almidón - el que posteriormente se transforma en azúcares solubles - y se desarrollan los pigmentos que colorean al fruto.

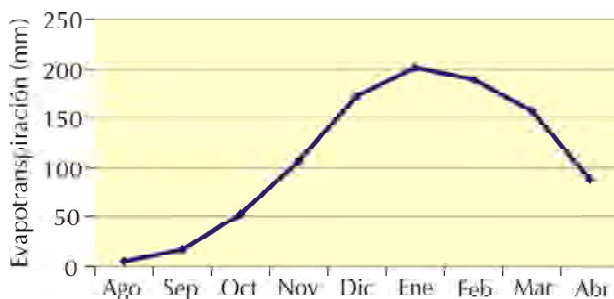
Existe, sin embargo, una característica del cerezo que lo diferencia de otros carozos; la temperatura de la época de cosecha. Así, mientras que en la mayoría de los carozos, la cosecha se realiza después de la época más calurosa del verano, en el cerezo la cosecha es realizada antes de que este evento ocurra.

Esta particularidad determina que las estrategias de riego tengan un objetivo ligeramente distinto que en otros carozos. En los carozos tardíos pueden usarse estrategias de riego en donde una restricción parcial del suministro hídrico permite disminuir el crecimiento vegetativo mientras el fruto está creciendo, fundamentalmente para evitar la competencia entre los crecimientos vegetativo y reproductivo.

En los cerezos, dado que la fecha de cosecha es bastante temprana, el crecimiento del fruto es coincidente con un rápido crecimiento vegetativo, por lo que es deseable mantener un estado hídrico de la planta adecuado y estable durante todo el período en que el fruto se encuentra en el árbol. Esto asegura que el tamaño del fruto sea máximo, factor muy importante en la comercialización de las cerezas, y se eviten situaciones de partidura de frutos.

Requerimientos hídricos del cultivo

El cerezo, como todos los cultivos, presenta una evolución de sus requerimientos hídricos a lo largo de la temporada de crecimiento. Estos son bajos a inicio de temporada, aumentando a medida que aumenta la demanda evaporativa de la atmósfera y el área foliar del cultivo, para disminuir hacia fines de la estación, cuando estos parámetros también disminuyen (**Figura 63**).



Figuras 63. Evolución de la evapotranspiración máxima del cultivo (Etc) para un huerto en la zona central a lo largo de la temporada.

Efectos del riego en el cerezo

Si bien, en términos generales, se sabe que un déficit hídrico producirá un cierre parcial o total de los estomas y por lo tanto una baja en la fotosíntesis total, los efectos de un déficit hídrico varían según el momento y la intensidad con que se produzca.

Tal como se mostró en la Figura 61, el crecimiento de diversos órganos vegetales no es simultáneo y no se efectúan con la misma velocidad a lo

largo del ciclo productivo. El hecho que el fruto se desarrolle temprano, con una cosecha antes que el crecimiento vegetativo se detenga, lleva a pensar que el período más importante desde el punto de vista de la producción es precisamente el comprendido entre floración y cosecha.

En la literatura se encuentran recomendaciones tendientes a asegurar un buen suministro hídrico durante todo el tiempo en que la fruta se encuentre en el árbol, especialmente en la etapa III de crecimiento del fruto. Sin embargo, dado que los procesos de inducción y diferenciación floral se producen la temporada anterior, el manejo de riego que se realice en post cosecha puede tener incidencias en el desarrollo de los frutos de la temporada siguiente

La disminución del suministro hídrico, posterior a la cosecha, en la etapa de diferenciación floral (fines de diciembre a mediados de marzo), no afecta la producción del año siguiente, sin embargo se puede producir un alto porcentaje de frutos dobles; fruto hijo, o frutos con sutura (**Figura 64**), dependiendo de la magnitud del estrés que se aplique. Es importante recordar que en el Cerezo la diferenciación floral ocurra una vez realizada la cosecha.



Figura 64. Frutos dobles y con sutura.

La presencia de estos desordenes fisiológicos estaría estrechamente ligado a las temperaturas existentes en el período de diferenciación del brote floral por lo que el control térmico de los huertos en estos períodos es una práctica importante. Es sabido que un estrés hídrico tiene asociado un alza de la temperatura de las hojas, incluso por sobre la

temperatura del aire, como consecuencia de una menor tasa de transpiración, producto del cierre estomático. Por lo tanto la mantención de un adecuado estado hídrico o de una restricción muy moderada de agua, entre fines de diciembre e inicios de marzo, que permita una adecuada transpiración de las plantas, favoreciendo el enfriamiento foliar, sobre todo en zonas calurosas, favorecen la disminución de estos desordenes. En áreas muy cálidas la literatura recomienda, además, la realización de riego por aspersión sobre la canopia o dosel de los árboles, entre fines de diciembre a inicios de marzo, especialmente de medio día hasta el atardecer, en forma intermitente, como una forma de mantener la temperatura foliar bajo 35°C y reducir estos desordenes fisiológicos en la fruta. El agua a utilizar en este tipo de prácticas debe ser baja en sodio, cloruros, carbonatos y boro, para no provocar quemaduras de carácter salino en las hojas.

Otro efecto que se ha observado en cerezo es el aumento del cancro bacteriano en plantas que son regadas inadecuadamente donde las árboles pasan de déficit hídrico a saturación con facilidad, ya que las plantas, en estas condiciones, son débiles y están presentes las condiciones para el desarrollo de esta enfermedad. Esta situación se puede encontrar con más facilidad en suelo con baja retención de humedad y fertilidad de suelo (**Figura 65**).

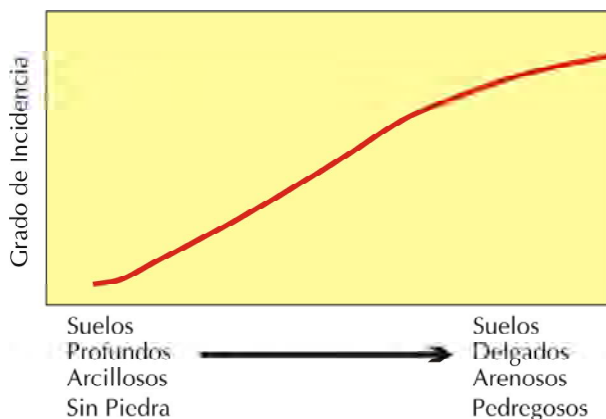


Figura 65. Efecto del tipo de suelo sobre la incidencia de cáncer bacteriano.

El cerezo se ve afectado también por *Phytophthora* tanto en las raíces como en el tronco o cuello. Los excesos de humedad, además de disminuir la aireación en el suelo y producir asfixia radical, aumentan la incidencia de *Phytophthora*. También es necesario evitar la saturación cercana al tronco producto del riego, o por acumulación de aguas lluvias.

Por otra parte, es necesario señalar que la magnitud del período de inundación afecta el desarrollo de las raíces, exista o no la presencia de *Phytophthora* en el medio, siendo mayor la reducción del desarrollo de raíces en plantas infectadas. La reducción del desarrollo de raíces bajo condiciones de inundación, aun cuando no exista *Phytophthora*, se debe a las deficientes condiciones de aireación en el suelo, que afectan el normal desarrollo de raíces, entre un 22 a 35%, en cerezos.

Efecto del riego en el cracking

El cracking o partidura es un problema que puede llegar a ser serio ya que provoca una pérdida del valor comercial del fruto. El problema de partidura o "cracking" tiene dos causas bien definidas. Por una parte, existe un problema de partidura en la zona del peciolo, que está relacionado con el agua que cae directamente sobre el fruto producto de la lluvia, y otro tipo de partidura, que se genera en la zona media y apical del fruto la que está relacionada con las condiciones ambientales (lluvia, humedad relativa) y/o con

los cambios abruptos en el contenido de humedad del suelo (**Figura 66**). Este último tipo puede ser evitado por medio del manejo del riego, manteniendo en forma permanente una humedad adecuada, en el suelo, evitando grandes fluctuaciones sobre todo durante la fase III del crecimiento del fruto (aunque siempre atentos al problema de *Phytophthora* en raíces).

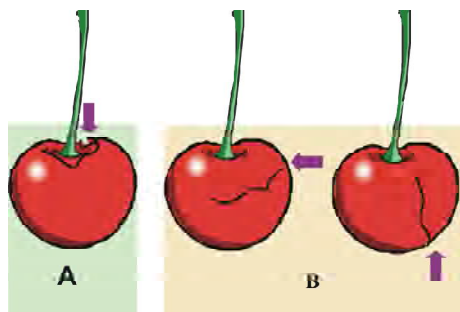


Figura 66. Cracking atribuida efecto de lluvia (A) y a condiciones ambientales y/o cambio brusco de la humedad de suelo (B).

Variaciones severas de agua en el suelo aumentan los problemas de cracking en la fruta. Así por ejemplo en el **Cuadro 27** se puede apreciar que si se riega en forma deficitaria previo a la cosecha e inmediatamente antes de esta se aplica una carga abundante de agua (T3) aumenta la fractura de la cutícula. La incidencia es menor en un régimen de riego en el cual se mantiene una humedad adecuada en el suelo previo a la cosecha, aún cuando inmediatamente antes de esta se aplique una abundante carga de agua (T2). La incidencia es menor aún si se mantiene un adecuado régimen de riego durante todo el período de desarrollo del fruto. Lo anterior muestra que fuertes variaciones en el potencial de turgor al interior de los frutos, son responsable de este fenómeno.

Cuadro 27. Efecto de diferentes tratamientos de riego antes de cosecha en el cracking de cerezas cv Vista.

Fuente: Sekse 1995. J. Hort. Sci. 70 (4) 631-635.

Tratamientos	Fractura de la cutícula
T1	2,38a
T2	2,65b
T3	3,15c

T1: Árboles regados adecuadamente. T2: Árboles regados adecuadamente, pero antes de cosecha se aplica abundante agua. T3: Árboles regados en forma deficitaria, pero antes de cosecha se aplica abundante agua. La escala de fractura de la cutícula es de 1 a 5; donde 1 corresponde a fracturas no visibles, y 5 frutos fracturados severamente.

Resultado en Inglaterra (east molling), indican que el riego en exceso desde mediados de noviembre a cosecha incrementa las partiduras. Un estrés hídrico moderado próximo a cosecha puede ser beneficioso en el control de la partidura.

De lo anterior se desprende entonces que el cracking se reduce cuando se mantienen regímenes de riego regulares, que eviten grandes fluctuaciones de humedad en el suelo.

Normalmente al inicio de temporada, al momento de la floración, los suelos se encuentran con altos contenidos de humedad, como consecuencia de las precipitaciones invernales, sin embargo si en este período la humedad del suelo es baja, se requeriría regar.

Reducción del vigor de los árboles

El cerezo es una especie con alto vigor, que tiende a formar árboles grandes en donde se dificulta la cosecha. Como una forma de reducir el vigor algunos autores recomiendan reducir el volumen suelo mojado, ya que se ha observado que una restricción de este puede provocar una reducción del crecimiento de raíces y en consecuencia del desarrollo aéreo (déficit hídrico posterior a cosecha).

Por otra parte el crecimiento se podría controlar aplicando regímenes de riego deficitarios después de la cosecha (Riego Deficitario Controlado), lo que afectaría el crecimiento de los brotes. Sin embargo esta estrategia se podría llevar a la práctica sólo si se cumple una serie de condiciones. La actividad total de las raíces debe ser suficiente como para no afectar el estado hídrico general del árbol (y así evitar problemas de cancro bacteriano, bajo calibre de frutos y mala diferenciación floral); y que la magnitud del estrés no afecte los procesos de inducción y diferenciación floral, que puedan llevar a la formación de frutos dobles y suturados la temporada siguiente. No existen antecedentes en la literatura que permitan definir la magnitud máxima de estrés a los que se puede llegar en este período.

El manejo de la frecuencia de riego, en riegos localizados es una posibilidad para limitar el volumen de suelo húmedo, sin bajar la cantidad de agua aplicada.

Finalmente se puede indicar, que en aquellas zonas donde las condiciones de suelo y clima estimulen el desarrollo de los árboles, se pueden seleccionar patrones que reduzcan el vigor de las plantas.

Métodos de riego en cerezo

La tendencia actual es a utilizar sistemas de riego localizado, goteo y la microaspersión, lo cual representa una economía de agua, facilita el manejo, permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes y disminuye la mano de obra empleada en el riego.

Dos consideraciones son necesarias tomar en cuenta al seleccionar un equipo de riego localizado, una de ellas es la disposición de los emisores, de manera que aseguren un área de suelo mojada suficiente para que no limite innecesariamente el desarrollo del cultivo, y la otra es evitar la saturación en la zona del tronco del árbol, para prevenir el desarrollo de enfermedades. En términos generales en Chile se prefiere utilizar riego por goteo, ya que se considera que la microaspersión, puede saturar el suelo cercano al tronco facilitando el desarrollo de cáncer bacterial y *Phytophthora*.

Dado que el cerezo es susceptible a los ataques de patógenos en el cuello o tronco, el emisor debe ser ubicado de tal manera que evite la saturación de estos sectores, además si las plantas son susceptibles a ataques de patógenos en las raíces, debemos preocuparnos del manejo del riego evitando los cambios bruscos de humedad, entre excesos y déficit de agua.

En el **Cuadro 28** se presenta el tipo y disposición de goteros en cerezos, de manera de lograr un adecuado porcentaje de suelo mojado.

Cuadro 28. Tipos y disposición de emisores en Cerezo considerando la susceptibilidad de esta a enfermedades en el tronco o cuello.

Cultivo	Tipo emisor	Susceptibilidad Enfermedades al cuello	Observaciones
Cerezo	Gotero	Alto (<i>Phytophthora</i> y cáncer bacterial)	Dos laterales por hilera de planta con goteros de 4 L/h a 1 m sobre la hilera, o goteros de 2 L/h cada 0,5 m

Trabajos realizados por Neilsen *et al* 2002, en un suelo franco arenoso con grava, muestran que el riego por goteo (doble línea) moja menos volumen de suelo que la microaspersión (**Figura 67**), afectando el crecimiento vegetativo (vigor) de los árboles y no la producción. En cerezo es necesario disponer de un volumen de entre 45 y 50% para no afectar el desarrollo de las plantas.

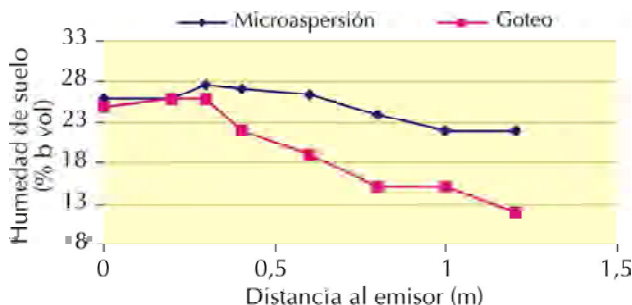


Figura 67. Humedad promedio en el suelo a medida que se distancia del emisor, en forma perpendicular a la línea de plantación. (Fuente Neilsen *et al.* 2002 45th Annual International Dwarf fruit tree association (IDFTA) conference).

7.3 Cítricos

Los cítricos son árboles de hoja perenne, por lo tanto transpiran durante todo el año. Se cultivan en regiones del mundo con climas templados cálidos, subtropicales y tropicales, donde las precipitaciones van desde 0 a 1.000 mm/año. Las necesidades totales de agua de estas especies varían entre 900 y 1.200 mm/año. En términos generales, se considera que el riego es innecesario cuando las precipitaciones superan los 750 mm/año, suplementarios cuando están entre 500 y 750 e indispensables cuando son menores de 500 mm/año.



En esta última situación se encuentran las zonas citrícolas de Chile, lo que ha generado la necesidad por conocer el comportamiento de los cítricos ante condiciones hídricas restringidas.

Desarrollo del cultivo

Desarrollo vegetativo

El crecimiento vegetativo se caracteriza por presentar tres épocas de brotación, las que se ubican en las siguientes fechas aproximadas:

- La primera tiene lugar en primavera, desde fines de agosto a principios de noviembre. Se distingue por la aparición de ramificaciones de color más claro que el resto, sobre las cuales, posteriormente, aparecerán nuevas brotaciones fructíferas en Octubre y Noviembre.
- En Enero y Febrero se desarrolla la brotación de verano, más o menos vigorosa según la temperatura, riego y vigor del árbol. En general es menos importante que las brotaciones de primavera y otoño.
- Entre Marzo y fines de Mayo, se produce la tercera brotación o de otoño, la que asegura en parte el rejuvenecimiento del follaje.
- En invierno, a pesar de que no hay actividad de crecimiento y desarrollo visible de nuevas ramas, el sistema radical sigue su actividad de absorción, aunque en forma más lenta.

Desarrollo floral y fructificación

La diferenciación floral normalmente se produce a fines de invierno, como resultado de la detención del crecimiento vegetativo debido a las bajas temperaturas. La floración tiene lugar aproximadamente a principios de Noviembre, al mismo tiempo que la brotación de primavera y es de un número elevado. De ella se originará la fruta que madura en invierno siguiente. No obstante, para ciertas especies como el limonero, puede haber una floración escalonada durante todo el año.

En el caso del limonero, a pesar de que florece durante todo el año, la mayor cantidad de flores se concentra en primavera. En la zona central de Chile, el período que transcurre entre apertura de flor, crecimiento y maduración es de nueve meses. Esto determina que el 70 por ciento de la producción se coseche entre los meses de Junio y Octubre.

Desarrollo de los frutos

El crecimiento del fruto en cítricos se ajusta a una curva de tipo sigmoidea simple, la cual se ha dividido en tres etapas (**Figura 68**). La etapa I corresponde al crecimiento inicial después de la cuaja, la cual se desarrolla a través de sucesivas divisiones en las células de los tejidos que conforman el fruto. En la etapa II, el fruto continúa creciendo, pero ya no por división, si no que por aumento del tamaño de las células y espacios intercelulares. En la etapa III, si bien el fruto todavía sigue creciendo, lo hace a una tasa menor. En esta etapa, llamada de maduración, se desencadenan los procesos que caracterizan al fruto maduro; éste va cambiando su coloración externa e, internamente, aumenta la cantidad de jugo y ocurren los cambios bioquímicos hasta alcanzar el equilibrio entre los azúcares y la acidez en el jugo (Razeto, 2002).

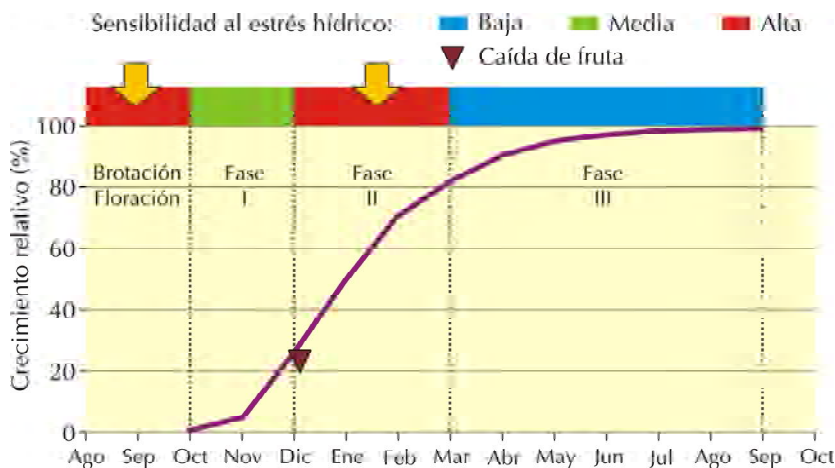


Figura 68. Curva y fases en las que se divide el crecimiento del fruto de cítricos.

Requerimientos hídricos

Los requerimientos hídricos de los cítricos (ETc) están relacionadas con la demanda climática o evapotranspiración de referencia (ETo) mediante un factor corrector denominado coeficiente de cultivo, Kc, de tal forma que $ETc = Kc \times ETo$.

Los valores de Kc obtenidos en naranjos adultos Salustiana y Washington Navel regados por gravedad (Castel *et al.* 1987), cuya validez para riego localizado se comprobó en Salustiana (Castel y Buj 1988) y Washington Navel (Buj *et al.* 1990) y de mandarinos regados por goteo (Castel 1991 y 1997) se incluyen en el **Cuadro 29** y **Figura 69**. Por otra parte Snyder R (U.C Davis California) reporta valores de Kc para Cítricos de 0,65 para toda la temporada, y Gama valores 0,6 excepto para junio y agosto que recomienda 1. Los valores reportados por Gama y Snyder son similares a lo reportados por Castel para cítricos con una cobertura del 70%.

Cuadro 29. Valores del coeficiente de cultivo Kc para cítricos en función del área sombreada y del control de malezas. (Datos de Castel *et al.* 1986 y Castel 1997). (a) Con control de malezas en primavera-verano y cubierta de *Oxalis* spp. en invierno. (b) Riego por goteo con control malezas durante todo el año.

% Área sombreada	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
As > 70 (a)	0,66	0,65	0,66	0,62	0,55	0,62	0,68	0,79	0,74	0,84	0,73	0,63
As = 50 (a)	0,52	0,54	0,40	0,54	0,51	0,60	0,55	0,67	0,56	0,70	0,77	0,78
As = 20 (b)	0,33	0,39	0,22	0,20	0,35	0,31	0,40	0,44	0,49	0,66	0,62	0,42

Los déficits hídricos en las plantas se producen principalmente por dos razones: 1) porque el contenido de agua en el suelo es bajo, 2) porque la demanda evaporativa del aire es alta (aire seco y temperatura elevada) como ocurre en algunas zonas en verano. En algunas ocasiones se pueden presentar déficits hídricos debido a condiciones en el sistema radicular tales como falta de aireación (suelos muy arcillosos con mal drena-

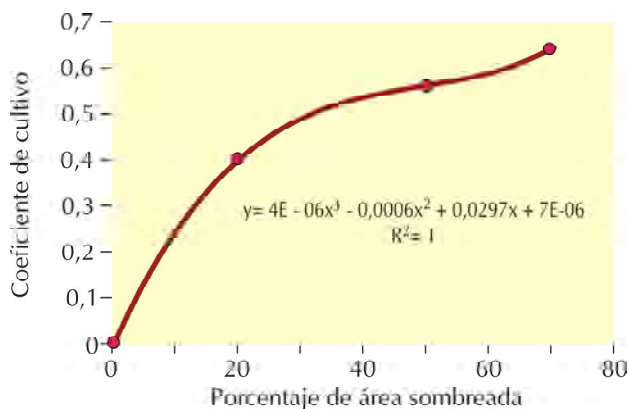


Figura 69. Coeficiente de cultivo para cítricos según el área de cobertura (Adaptado a partir de datos de Castel).

je), baja temperatura y enfermedades (tristeza, psoriasis, etc) que reducen su conductividad hidráulica. También pueden presentarse déficits hídricos cuando el agua de riego tiene un contenido excesivo en sales.

Sistema radicular y manejo del riego

De acuerdo al hábito radicular de los cítricos el agua de riego debe mojar en profundidad aproximadamente 100 cm, si el suelo no presenta impedimentos para su desarrollo (**Foto 33**). En la **Figura 70** se presenta la variación de contenido de humedad de suelo, producto de la actividad radicular, en dos huertos de Mandarina Murkott: se puede



Foto 33. Sistema radicular en cítricos (mandarina Murkott a la izquierda y limones a la derecha).

apreciar que el sistema radicular puede estar activo hasta los 90 cm si se le dan las condiciones para su desarrollo. En uno de los casos (Figura 70a) se riega en con alta frecuencia (riego cada dos días en Marzo - Abril) y otro (Figura 70b) con riego poco frecuentes (cada 4 días en Octubre). En el primer caso la actividad radicular es pobre en profundidad.

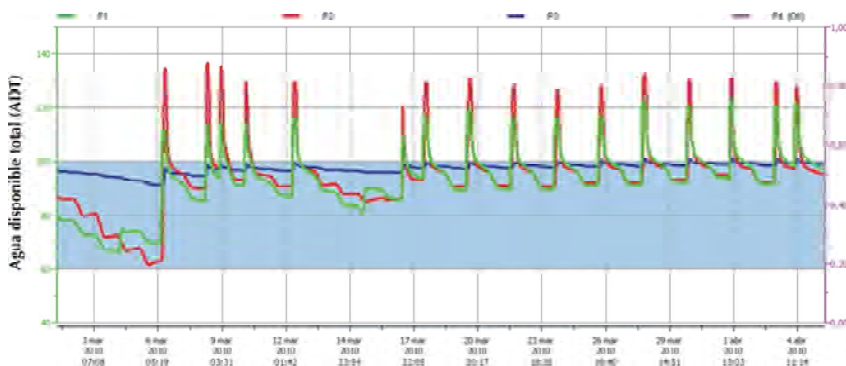


Figura 70a. Variación de la humedad en el suelo (actividad radicular) en tres profundidades de suelo (verde 30 cm, rojo 60 cm y azul 90 cm) en madarina Murkott en la zona de Limache.

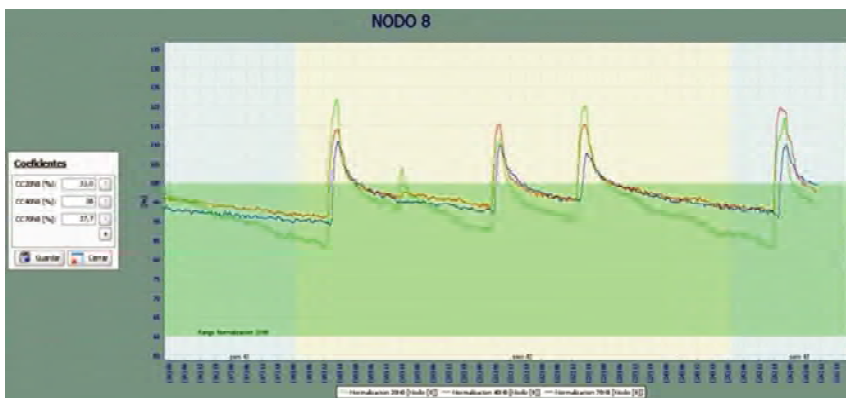


Figura 70b. Variación de la humedad en el suelo (actividad radicular) en tres profundidades de suelo (verde 20 cm, rojo 40 cm y azul 70 cm) en mandarina Murkott en la zona de Panquehue.

El reducir la cantidad de agua aplicada o aumentar el intervalo entre riego, puede inducir un sistema radicular más profundo. El desarrollo radicular de las plantas está definido genéticamente, por lo cual varía de acuerdo a la especie y las características del portainjerto. Sin embargo, las condiciones del medio pueden limitar o estimular el desarrollo de las raíces (por ejemplo, las propiedades físicas del suelo). En términos generales, existe un equilibrio funcional entre el desarrollo del sistema radicular y el comportamiento de la parte aérea y productivo de las plantas: a mayor desarrollo radicular, mayor producción. Normalmente las raíces de las plantas exploran y explotan un volumen de suelo mayor que el que humedece un emisor de riego localizado, en particular en zonas que se caracterizan por presentar precipitaciones invernales y tienen una alta capacidad de retención de humedad.

Esto tiene como resultado que durante la temporada, una parte importante del sistema radicular se mantiene en un suelo seco. De hecho, muchas veces la cantidad total de agua que se aplica a cada planta es la adecuada, pero se entrega en forma muy puntual, provocando saturación de suelo y pérdidas de agua en profundidad. La distribución del agua en un área mayor, es la solución a este problema, sobre todo en suelo de textura fina (suelo arcilloso a franco arcilloso).

En el caso de riego por goteo, el tamaño del bulbo húmedo producido por los emisores está estrechamente ligado a las características físicas del suelo. En suelos de textura fina, el movimiento lateral es mayor, por lo tanto más ancho es el bulbo de mojamiento. Por el contrario, en los suelos arenosos, el bulbo se alarga en profundidad. En cítricos para tener un adecuado volumen de suelo mojado es necesario utilizar riego por goteo con doble línea. Con esto se logra un porcentaje de suelo mojado entre 40 y 55%, lo que es adecuado en suelos con baja capacidad de aire (arcillosos o franco limoso) o en suelos con baja retención de humedad (arenoso o franco arenoso).

Efecto del estrés hídrico en los diferentes períodos de desarrollo del cultivo

Los cítricos son altamente sensibles al déficit hídrico ya que cualquier falta de agua durante el desarrollo del fruto disminuye los rendimien-

tos, el calibre de la fruta y el jugo de la fruta. Por otra parte cuando las plantas son sometidas a un déficit hídrico aumenta los sólidos solubles; la acides del jugo, el grosor de la cascara, y el numero de fruta con clareta (**Cuadro 30**).

El efecto del déficit hídrico sobre la cosecha suele ser mayor en determinados períodos que por ello se denominan ‘críticos’. En la mayoría de los cultivares de cítricos el período de máxima sensibilidad a la falta de agua es el de floración y cuajado de los frutos, seguido del que comprende las fases de crecimiento inicial de los frutos hasta la caída de Diciembre. El período de maduración de los frutos suele ser el menos sensible (Figura 70). Esto se ha puesto de manifiesto en experimentos en distintas zonas citrícolas, tales como los de Ginestar y Castel (1996) en Clementina de Nules regados por goteo y Castel y Buj, (1993) en Naranjos salustiana (**Cuadro 31a** y **31b**). Sin embargo, es necesario indicar que, durante el período de maduración de los frutos, en nuestras condiciones, es difícil producir estrés hídrico por la baja demanda evaporativa en este período y la ocurrencia de precipitación.

Cuadro 30. Influencia del estrés hídrico sobre los diferentes parámetros de calidad del fruto de naranjo ‘Lane late’.

Parámetros de calidad del fruto	Cosecha (k/árbol)	Diámetro (mm)	Corteza (%)	Zumo (%)	SST	Acidez (g/L-1)	sst/acidez (g/L/100cc)	PHx (Mpa)
Control	47,5	82,5 a	39,1 e	54,7 a	7,1 d	11,3 de	6,28	-0,68 -0,96
Carrizo FII	20,5	67,5 e	42,8 bc	50,3 b	14,0 b	14,2 b	9,86	-0,97 -3,02
FIII	44,4	76,9 c	40,1 de	53,8 a	8,2 c	12,4 c	6,61	-1,11
FI + FIII	36,2	82,0 a	47,2 a	48,8 b	7,4 d	11,5 de	6,43	-0,67 -2,68

J.G. Pérez-Pérez et al, 2007. Murcia (Los estrés hídricos PHx es mayor en las fases II).

Cuadro 31a. Efecto de la supresión del riego (SR) en distintos períodos fenológicos sobre la producción y calidad del fruto de mandarinos 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1993 y 1994.

(Datos de Ginestar y Castel, 1996). La denominación de los tratamientos como SR (sin riego) indica la supresión total del riego durante el (los) períodos especificados, lo cual también se indica mediante el "0" en la línea inferior y "R" indica riego sin restricciones. Los períodos fueron: I (desde 1 Septiembre a 13 Diciembre en ambos años), II (desde 14 Diciembre a 6 Febrero en 1993 y a 25 Enero en 1994), y III (desde 7 Febrero a 16 Abril en 1993 y desde 26 Enero a 7 Marzo en 1994). El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a $P < 0.05$.

Parámetro	Control	SR	SR	SR	SR	SR	SR
	Sin déficit	P-I	P-II	P-III	P-I+II	P-I+III	P-II+III
	(_ _ _)	(0-R-R)	(R-0-R)	(R-R-0)	(0-0-R)	(0-R-0)	(R-0-0)
Riego (mm)	460	310	344	357	193	206	240
ET relativa (390 mm)	1,0	0,88	0,83	0,78	0,69	0,66	0,59
Estrés Hídrico (MPa·día)	42	42	58	138	134	155	163
Producción (kg/árbol)	35,8	14,8*y	15,3*	19,0*	5*	6,1*	7,7*
Nº Frutos/ árbol	370	140*	173*	324	56*	104*	137*
Peso Fruto (g)	104	109	87	62*	79	68*	43*
Azúcares (°Brix)	11,1	10,6	10,7	12,8*	9,7	12,9*	11,6
Acidez (g/l)	6,9	7,4	7,7	10,7*	8,7	11,7*	15*
SSTº/Acidez (g/100 cc)	16,1	14,3	13,9	12,0	11,1	11,0	7,7

Cuadro 31b. Producción y componentes de la producción en naranjos Salustiana en función del tratamiento de riego por goteo durante 1985-1992. (1) En cada fila los números seguidos de letra no común difieren significativamente $P < 0,05$. (2) El espesor medio de la corteza y el contenido de zumo de los frutos no fueron afectados por los tratamientos de riego y los valores medios del período oscilaron entre 5,3-5,7 mm y 44,5-46,5 % en peso, respectivamente. (Restricción hídrica durante todo el año (T), primavera (floración a cuaja) P y Otoño (Madurez)).

Parámetro	Tratamiento de riego				
	Control	20-T	40-T	40-P	40-O
Riego m ³ /ha-any	5.770	4.490	3.330	4.610	4.880
Producción Tm/ha	62,9 a ⁽¹⁾	57,9 b	49,4 c	58,0 b	60,5 ab
Peso medio fruto (g)	162 a	156 ab	151 b	158 a	160 a
Nº frutos/árbol	1.285 a	1.236 a	1.128 b	1.226 a	1.237 a
Azúcares (°Brix)	12,0 a	12,2 a	12,6 b	12,0 a	12,1 a
Acidez	7,0 a	7,4 a	7,3 a	6,8 a	7,6 a

El crecimiento del fruto sigue una curva sigmoidea (Figura 68), caracterizada por tres estados bien diferenciados:

- FASE I. El fruto presenta un crecimiento exponencial, hay una máxima división celular que le da un crecimiento en el grosor del pericarpio. Se forman los sacos que contendrán el jugo.
- FASE II. Dura varios meses, presenta un crecimiento lineal en el tiempo con un aumento del tamaño de las células, hay diferenciación de las células, el fruto absorbe gran cantidad de agua y alcanza su tamaño definitivo. Termina con el cambio de color de la capa superficial de la cáscara.

- FASE III. Hay una reducida tasa de crecimiento, ocurren todos los cambios asociados a su maduración, el contenido de sólidos solubles aumenta.

La caída fisiológica de los frutos ocurre a final de la fase I. Es un desorden probablemente relacionado con la competencia entre frutos por los carbohidratos, agua, hormonas y otros metabolitos. El problema sin embargo se acentúa mucho por el estrés, especialmente el causado por altas temperaturas y falta de agua. Consiguientemente la caída fisiológica suele ser más severa donde las temperaturas de las hojas pueden alcanzar los 35-40°C, y donde la escasez de agua crea problemas. Una hipótesis es que las altas temperaturas y la falta de agua ocasionan el cierre de los estomas con la consiguiente disminución en la asimilación neta de CO₂. Entonces hay abscisión en los frutos porque estos mantienen un equilibrio de carbono negativo.

El efecto del estrés hídrico en diferentes períodos fenológicos ha sido ampliamente estudiado en Clementina de Nules (González-Altozano y Castel, 1999; 2000a y b). Los resultados de cuatro años sobre la producción y calidad de los frutos de Clementina de Nules (**Cuadro 32 y 33**) muestran grandes diferencias de sensibilidad al estrés según el período fenológico en que se aplicaron los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC). Así, el período más crítico y por tanto el menos aconsejable para disminuir el agua, es la primavera, en que el RDC provocó una importante reducción de la cosecha (entre el 28 y 63%) debido al aumento de la 'caída de fruta' y consecuente disminución del número final de frutos por árbol. Además, el estrés en primavera provoca una sobreproducción de brotes florales en la siguiente brotación lo que origina frutos tardíos de nulo valor comercial. El RDC durante final del verano y principios de otoño, redujo de forma notable el tamaño del fruto y en algunos años provocó malformaciones externas (clareta, **Foto 34**) en una proporción importante de los mismos, aún en los tratamientos de menor restricción de agua en este período (50%-II, 50%-F+A, Cuadro 32 y 32) en que los niveles de estrés hídrico experimentados por los árboles fueron moderados.

Cuadro 32. Influencia de los tratamientos de riego en la producción y calidad del fruto de 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1995 y 1996. (Datos de González-Altozano y Castel, 1999). (X) Duración de los períodos: I) 20/3/95 a 3/7/95 y 1/4/96 a 1/7/96; II) 4/7/95 a 7/8/95 y 2/7/96 a 28/7/96; III) 8/8/95 a cosecha y 29/7/96 a cosecha. (y) El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a $P < 0,05$. (w) En 1995 casi un 23% de los frutos tenían 'clareta' y aunque en menor proporción también ocurrió en el 50%.

Parámetro	Control	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-Año
Riego (m ³ /ha)	3.840	2.750	3.090	3.350	3.540	2.670	2.880	1.700
Ahorro de agua (%)	--	28	20	13	8	30	25	56
Producción (kg/árbol)	54,7	20,1*y	38,7*	49,9	56,7	41,6	46,9	45,0
Producción relativa (%)	100	37	72	92	105	77	87	83
Nº Frutos/árbol	551	198*	387*	565	601	545	528	489
Peso medio fruto (g)	103	102	103	92*	99	77*w	92*w	94*
Azúcares (ºBrix)	11,3	10,6	11,0	11,4	11,0	14,2*	13,1*	12,5*
Acidez (g/l)	7,5	7,2	7,5	8,0	7,7	9,4*	8,2*	8,5*
SSTº/Acidez (g/100 cc)	15,1	14,7	14,7	14,3	14,3	15,1	16,0	14,7

Cuadro 33. Efecto de los tratamientos de RDC en la producción y calidad del fruto de 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1997 y 1998 (Datos de González-Altozano y Castel, 2000a). (y) El asterisco indica diferencias significativas respecto al Control en base al test de Dunnett a $P < 0,05$. (z). En 1998 un 30% de los frutos fueron afectados de 'clareta' y aunque en menor proporción también en 1997.

Parámetro	Control	25% -E	50% -E	50% E+F	75% -E+F	50% -F+A	75% -E+A	50 -Año
Riego (m ³ /ha)	4520	3980	4240	3540	4010	3530	3650	2080
Ahorro de agua (%)	--	12	6	22	11	22	19	54
Producción (kg/árbol)	69,3	71,3	70,0	69,3	66,6	57,1* ^y	72,5	53,4*
Producción Relativa (%)	100	103	101	100	96	82	105	77
Nº Frutos/árbol	656	771	741	735	673	730	898*	624
Peso medio Fruto (g)	109	95*	99	98	102	79* ^z	82*	88*
Azúcares (°Brix)	12,0	12,1	12,2	12,5	12,3	15,6*	14,2*	14,8*
Acidez (g/l)	7,5	7,8	7,4	8,2	7,9	9,8*	8,6*	9,8*
SSTº/Acidez (g/100cc)	16,0	15,5	16,5	15,2	15,6	15,9	16,5	15,1

E = Enero, F = Febrero, A = Abril.

Por lo indicado anteriormente, respecto a que el estrés hídrico afecta en forma importante los rendimientos en todos los períodos fenológicos y que en la fase III es difícil dar un estrés hídrico, es interesante analizar la información obtenida por Castel en lo referente al efecto del estrés hídrico leve en pleno verano (Enero y Febrero parte de la fase II), cuando tiene lugar la etapa inicial de crecimiento rápido del fruto.



Foto 34. Clareta o Creasing en cítrico.

Según Castel, este es el período más adecuado para la aplicación del RDC en 'Clementina de Nules', cuidando de no sobrepasar un valor de Ψ_h en torno a $-1,1$ MPa (que corresponde a un valor de potencial mátrico del suelo en torno al límite de lectura de los tensiómetros, -100 kPa o Cb), se pueden conseguir ahorros importantes de agua (entre el 6 y el 23%) sin afectar a la producción, ni al tamaño del fruto. Ello se debe a que los frutos de Clementina de Nules, así como los de otras especies de cítricos, son capaces de crecer a mayor velocidad "crecimiento compensatorio" cuando se restablece el riego sin limitación después de períodos de estrés moderado (Cuadro 33).

En el Cuadro 33 también se puede observar que los estrés hídricos leves en Enero y Febrero no afectan los rendimientos y calibre, pero si aumenta en alguna medida los sólidos solubles y la acidez. Esto es interesante ya que la fruta para ser exportada debe cumplir con ciertos niveles de sólidos solubles totales (9° a 10 brix), acidez ($1,3$ a $0,8$ g/100 cc) y jugo en la fruta (30%) lo cual podría ser manejado con déficit hídrico controlados en este período que no afectarían los rendimientos ni el calibre de la fruta.

7.4 Kiwi

Es un frutal originario del Sureste de Asia. En Chile, el kiwi se cultiva desde la V a la VIII región, encontrándose plantaciones menores también en las regiones IV, IX y X. Las principales variedades son Abbot, Allison, Bruno y Hayward (la más cultivada en Chile).



El kiwi es exigente en cuanto a condiciones climáticas, en especial en lo referente a temperaturas, humedad relativa y viento, factores que constituyen los principales limitantes para su cultivo.

Requiere un período de crecimiento de 240 a 260 días, en lo posible libre de heladas. Temperaturas menores de $-1,5^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos dañan brotes nuevos en primavera. En invierno, durante el período de receso, la planta puede soportar sin problemas hasta -12°C , en cambio en otoño cuando aún esta con hojas verdes, soporta sólo $-3,5^{\circ}\text{C}$ a -5°C si es adulto (mayor de 5 años).

Este cultivo requiere suelos fértiles de textura media, profundos (sobre 0,9 m), bien drenados, sin estratificaciones ni compactación, con pH 5,8 a 7,2 y bajo en contenido de sales (CIREN, 1988).

Desarrollo vegetativo

El desarrollo vegetativo del kiwi está ligado directamente al abastecimiento de agua de la planta, y este es mayor cuando esta bajo condiciones de riego. El crecimiento inicial de los brotes en el kiwi, es muy intenso y normalmente se prolonga hasta diciembre. Algunos brotes del año pueden alcanzar más de 10 m de largo y continuar su crecimiento hasta los primeros fríos del otoño. El engrosamiento de ramillas y tronco ocurre a lo largo de la estación de crecimiento y es también sensible al déficit de agua. El estrés hídrico es capaz de generar com-

petencia por el agua entre fructificación y desarrollo. La producción por brote y peso de frutos, está determinada en una alta proporción por la cantidad de agua aplicada. Un estrés provoca el cierre estomático, por lo cual interfiere la fotosíntesis y, por consiguiente, la tasa de asimilación de CO₂ disminuye. Esto provoca una inhibición del crecimiento de las hojas, incidiendo en la reducción del número potencial de frutos por unidad de suelo (Hsiao, 1990).

El kiwi es una planta muy sensible a los cambios en la humedad del suelo, de manera que un déficit o un exceso de agua provoca efectos marcados en el crecimiento y producción, pudiendo llevar a la muerte de plantas cuando algunas de estas situaciones se mantienen por un tiempo prolongado.

Desarrollo de Raíces

El crecimiento de las raíces depende en gran medida de los tipos de suelo en que se cultive y de manejos tales como las fertilizaciones y riego. En plantas que crecen en forma silvestre en China se describen crecimientos en profundidad de hasta 1 m, con una mayor concentración en los primeros 40 cm, observándose un mayor crecimiento en grietas y entre las rocas, donde existe baja resistencia mecánica y altos contenidos de aire. En suelos porosos el sistema radicular puede alcanzar un tamaño considerable y una excepcional densidad de finas raicillas.

Las primeras plantaciones comerciales se hicieron en la Bahía de Plenty en Nueva Zelanda, donde los suelos, derivados de cenizas volcánicas, son muy porosos y profundos reportándose en plantas de 15 años un peso fresco del sistema radicular muy cercano al de toda la parte aérea. Cuando las condiciones son adecuadas los kiwis pueden explorar una gran cantidad de suelo y por su densidad lo hacen con mucha eficiencia, toda vez que las raíces principales dan origen a raíces secundarias y a partir de estas se desarrollan muchas raíces finas de alta densidad, lo que favorecerá enormemente la capacidad de absorción de agua y nutrientes y su sensibilidad a la falta de estos. Se estima que aproximadamente un 40 a 50% del sistema radicular absorbente es reemplazado en cada temporada.

Riego

La zona central de Chile, se caracteriza por veranos calurosos, con ausencia de lluvias, con temperaturas máximas que superan los 39°C, y evaporaciones diarias que suman en primavera verano los 1.000 mm., con máximas diarias mayores a 6 mm. Estas características climáticas son muy diferentes a la del lugar de origen por lo que los manejos de riego serán determinantes en el éxito del cultivo. En un día de verano un huerto de kiwis con cobertura cercana al 90% puede llegar a transpirar 80 m³/ha. Cuando la humedad del suelo está bajo los niveles críticos, la planta tenderá a cerrar sus estomas y las láminas de las hojas subirán su temperatura llegando a quemarse. En los meses de mayor demanda de agua, es decir, entre los meses de diciembre a febrero, un cultivo adulto de kiwi tiene requerimientos que varían de 5 y 8 mm de agua al día, que deben ser suministrados mediante un sistema de riego.

El Kiwi es una de las especies frutales más sensible a las variaciones del contenido de agua del suelo, es por ello que para obtener altas producciones, es necesario asegurar que todo el volumen de suelo explorado por las raíces posea un contenido de agua (lo más cercano posible a la capacidad de campo, sin embargo hay que tener cuidado con las condiciones de capacidad de aire del suelo, ya que es sensible a los excesos de humedad. Por otra parte, la planta tiene una alta susceptibilidad a ataques de hongos patógenos (*Rhizoctonia solani*, *Mellea Armillaria*, *Phytophthora* spp.).

Los sistemas de riego más utilizados son los gravitacionales por surcos y en los presurizados por microaspersión, puesto que estos tienden a reducir las pérdidas de agua por evaporación y permiten mojar todo el suelo explorado por las raíces. Un parámetro a considerar en el momento del proyecto de riego, es la posibilidad de utilizar el sistema de riego como defensa de heladas de primavera u otoñales.

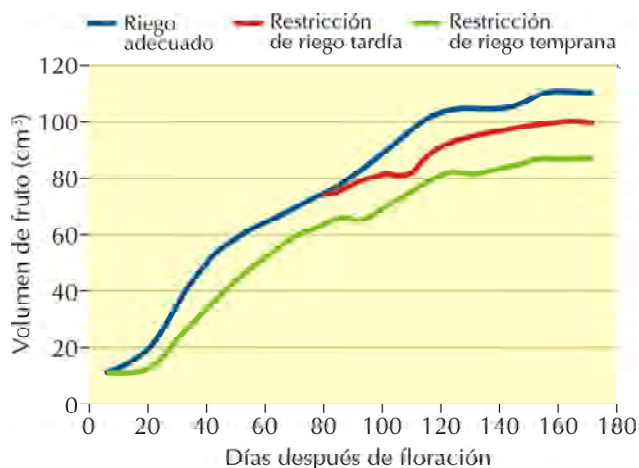


Figura 71. Estrés hídrico en las diferentes etapas fenológicas del kiwi. Fuente: (Xiloyanis *et al.*, 2012).

Hay que tener presente que el kiwi es muy sensible al déficit hídrico, afectándose el crecimiento y el calibre final del fruto (**Figura 71**), un estrés hídrico temprano (entre 10 a 30 días después de brotación), durante el período de división celular afecta el crecimiento del fruto, aún cuando se riegue normalmente después. Un déficit tardío (ej: 100 a 120 días después de floración), también afecta negativamente el tamaño final del fruto (Figura 71).

Xiloyanis *et al* (2012), recomiendan regar manteniendo el suelo cerca de capacidad de campo, con una agotamiento de la humedad aprovechable no superior al 30% ($p=0,3$), por lo que requiere de riegos frecuentes. Los coeficientes de cultivo recomendados por estos autores son: octubre 0,5; noviembre 0,7; diciembre 0,9; enero 1,1; febrero 1,1; marzo 0,8 y abril 0,8. Estos kc son recomendados para kiwi (cv Hayward), considerando un volumen anual de agua de 10.000 m³/ha (Xiloyanis *et al*, 2012).

7.5 Granado

El granado es nativo del sureste de Europa y Asia y fue cultivado en el antiguo Egipto, Babilonia, India, e Irán. Sin embargo, a América llegó de España, donde se cultivaba intensamente, a través de los misioneros que arribaron a México y California en el siglo XVI.



Los granados pueden cultivarse en climas tropicales y templados cálidos. Sin embargo, los frutos de mejor calidad se producen en las regiones con inviernos frescos y veranos cálidos y secos. Pocas áreas son demasiado calurosas para el granado que es más resistente a las heladas que los cítricos. Los granados varían en la resistencia a las heladas, pero en algunos casos pueden resistir temperaturas de hasta -12°C sin ser dañadas severamente (Sheets *et al*, 2004).

Las granadas tienen un color que varía de amarillo carmelitoso a rojo-púrpura. Poseen un diámetro de 5-12 cm y su cubierta es lisa y de textura correosa. Son esféricas, algo aplanadas y con un calix persistente, que puede tener una longitud de 1-6 cm. Las numerosas semillas están rodeadas de una pulpa, la parte comestible, de color rosada a rojo-púrpura, jugosa y subácida. La pulpa es algo astringente.

Ciclo fenológico

El ciclo fenológico anual del granado se inicia en primavera con la brotación a finales de agosto o a inicios de septiembre (**Figura 72**). La floración es escalonada y comienza aproximadamente un mes después de la brotación pudiendo continuar, sin interrupción, hasta el verano. Desde el punto de vista comercial, las primeras floraciones son las más importantes ya que son las que originan frutos de mayor tamaño los que son cosechados en otoño (Figura 72), antes del receso en el que las plantas pierden sus hojas (Franck *et al.*, 2009).

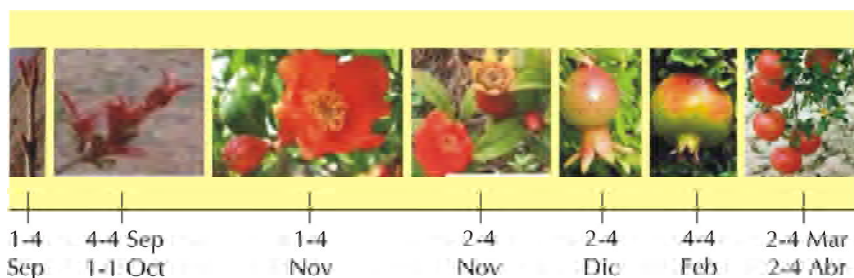


Figura 72. Etapas fenológicas del granado estimadas para la zona centro-norte de Chile. Adaptado de Nicolás Franck.

Requerimientos edafoclimáticos

El granado soporta temperaturas mínimas de -12°C y máximas de 40°C . Requiere un largo período cálido para llegar a la maduración. La cantidad de horas frío necesarias para el cultivo está en el rango de 80 - 200 (Franck *et al.*, 2009). En zonas de inviernos cálidos y húmedos no pierde hojas como otros frutales caducos.

Las heladas tardías pueden afectar floración, y heladas tempranas a los frutos. Entre los $20 - 25^{\circ}$ son temperaturas óptimas para la fecundación. La baja humedad relativa favorece la calidad de la fruta. Lluvias tempranas pueden producir problemas en la fruta. El viento puede provocar problemas por ramaleo. (Franck *et al.*, 2009).

En cuanto al suelo es poco exigente ya que tolera suelos pobres, pedregosos y alcalinos. Tiene baja tolerancia al anegamiento y es moderadamente tolerante a condiciones salinas (Bhantana y Lazarovitch, 2010)

Requerimientos hídricos

El granado tiene requerimientos hídricos similares a los cítricos, alrededor de 1250-1500 mm por año.

El granado se considera un árbol tolerante a suelos con déficit de agua (Holland *et al.*, 2009). Debido a esto, en España, su cultivo se concentra en el sureste, donde el agua dulce disponible para la agricultura es muy escasa. Sin embargo, se sabe muy poco sobre la gestión del agua.

Los valores de k_c no han sido determinados por FAO, sin embargo IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) estimó algunos valores para el hemisferio norte. En la **Figura 73** se muestran valores de k_c extrapolados para el hemisferio sur, a partir de los datos estimados por IVIA.

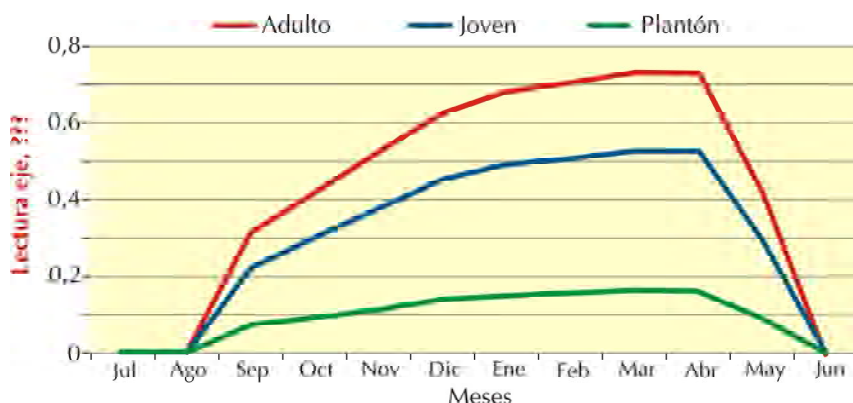


Figura 73. Estimación de los valores de coeficiente de cultivo (k_c) en granada (Fuente: Adaptado de IVIA).

Riego

Aún cuando el granado es considerado como una planta tolerante a la sequía, requiere de la mantención de adecuados niveles de humedad de suelo para obtener frutos de buena calidad. Diferentes autores señalan que en el período estival los requerimientos hídricos del granado se asemejan al de los cítricos.

La mantención de niveles adecuados de humedad de suelo en la medida que los frutos se acercan a la madurez reduciría la susceptibilidad de los frutos a las partiduras

Intrigliolo *et al* (2011), realizó estudios de riego deficitario en granados, en España. Los árboles en el período de estudio presentaron un cubrimiento del suelo equivalente al 50% del área asignada a cada planta (5 x 4 m). Comparó un tratamiento de riego de 100% de la ETc con otro en el cual aplicó el 50% del agua durante toda la temporada de crecimiento (SDI). Luego de tres años de experimento, la producción total en ambos regímenes de riego fue similar, sin embargo en el SDI, el calibre de frutos fue 22% menor que en el testigo, pero con más frutos por árbol (28% más), lo que permitió obtener la misma producción total, pero de menor calidad comercial.

Este mismo autor aplicó restricciones de agua en primavera (25% de la ETc), durante floración y cuaja, y posteriormente regó al 100% de los requerimientos hídricos, sin afectar significativamente la producción y calidad de la fruta. Con restricciones de agua aplicadas (25% de la ETc) cerca de madurez de la fruta, existió una mayor tendencia a la partidura de fruta. Del estudio realizado, estos autores concluyen que las restricciones hídricas en primavera serían las más adecuadas.

Las granadas a pesar de pertenecer a climas cálidos y prosperar en zonas áridas y semiáridas necesitan riego regular durante la estación seca, para llegar a un óptimo rendimiento y calidad del fruto (Sulochanamma *et al* 2005; Levin 2006). La fruta del granado requiere calor para su desarrollo. Sulochanamma *et al.* (2005) encontraron que el riego por goteo ha tenido efectos positivos en los parámetros de crecimiento del granado en cuanto a altura, diámetro del tallo, y la propagación de las plantas. Un efecto positivo se observó en el rendimiento y peso del fruto (Prasad *et al*, 2003; Shailendra y Narendra 2005; Sulochanamma *et al.* 2005). En la mayoría de las áreas donde el granado se produce para fines comerciales se practica algún tipo de riego. En Israel, el riego por lo general comienza a finales de abril y se prolonga durante todo el verano, alcanzando rendimientos de 25 a 45 t / ha. Datos similares se registraron en California.

El riego por goteo se utiliza más comúnmente en los huertos, aunque algunos productores prefieren aspersores (que causan dificultades en el control de malezas). La mayor parte de los huertos comerciales en Israel, la India y los Estados Unidos utilizan el riego por goteo.

La cantidad total de agua que se utiliza para el riego de la granada en Israel en toda la temporada es de 5.000 a 6.000 m³ / ha, dependiendo del tipo de suelo y las condiciones meteorológicas. Durante la temporada de riego, este se practica a diario.

Una de las cuestiones más importantes relativas al riego en granado es la capacidad de usar fuentes alternativas de agua, particularmente reciclados de agua y agua salina. El uso de agua reciclada está fuertemente conectado a la salinidad ya que los aumentos de salinidad son recurrentes en el agua reciclada (Raviv *et al.* 1998).

En Israel, huertos en el desierto de Highlands y en el Negev el sur de Arava se riegan con agua salina. El nivel de salinidad en el agua de estos huertos oscila entre 2,5 a 4,0 dS/m. Bajo estas condiciones en los cultivares de Israel, israelíes y turcos llegaron a alcanzar un rendimiento normal y cualidades de frutas sin daños aparentes en los árboles. La producción con aguas salinas requiere lixiviar constantemente la sal y prevenir los efectos perjudiciales por el aumento de la salinidad. Uno de los efectos secundarios de dicha práctica es el mayor crecimiento vegetativo, que debe ser controlado en los árboles que crecen demasiado rápido.

7.6 Nogal

En nogal, como en todos los frutales, es fundamental considerar ciertos factores que determinan cuánta agua aplicar, tales como el estado de desarrollo del árbol durante la temporada, área de crecimiento de las raíces, tipo de suelo y clima. Se

estima que el 75% de la humedad del suelo usada por un nogal, cuyo sistema radical alcanza los 2,8 m de profundidad, es tomada de los primeros 1,8 m durante la temporada. En suelos más pesados, el porcentaje aumenta y se concentra en los primeros 0,9 m. Para obtener resultados óptimos de crecimiento y productividad, es necesario mantener húmedo hasta 1,2m de profundidad en la temporada de crecimiento.



Es importante que el agua se encuentre disponible continuamente en la zona de raíces activas, esto significa que si las lluvias invernales no alcanzan esta zona, se debe regar tarde en invierno o temprano en primavera para reponer la humedad del suelo.

Fenología

El ciclo anual de crecimiento se inicia con el desarrollo del sistema radical, hacia mediados de agosto y principios de septiembre, aumentando rápidamente a inicios de primavera, cuando las temperaturas del suelo comienzan a aumentar y el suelo dispone de un adecuado contenido de humedad proveniente de las lluvias invernales. El crecimiento radical presenta un peak entre dos y tres semanas previas a la brotación, para disminuir cuando los brotes y los frutos comienzan a crecer en forma acelerada (Catlin, 1998). Existe un segundo período de crecimiento de raíces hacia fines de temporada, una vez que los brotes y los frutos han detenido su crecimiento, el que finaliza cuando se inicia la caída de hojas (**Figura 74**).

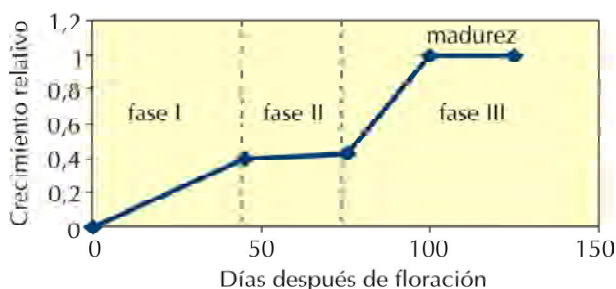


Figura 74. Representación esquemática del crecimiento de raíces del nogal. Conjuntamente se presenta el desarrollo de otros períodos fenológicos. (Adaptada de Catlin, 1998).

La brotación se inicia a mediados de septiembre, junto con la floración, coincidiendo con el período en que las raíces dejan de crecer. En árboles adultos, el período máximo de crecimiento de los brotes se extiende hasta mediados o fines de diciembre, donde el brote adquiere cerca del 90% de su longitud final, aunque en árboles jóvenes el crecimiento de los brotes se puede extender hasta fines de verano (**Figura 75**).

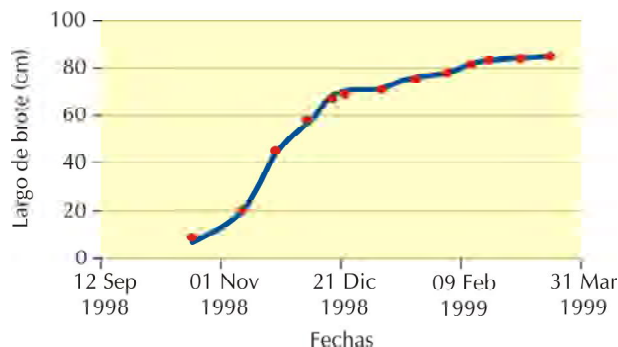


Figura 75. Período y curva de crecimiento de brotes del nogal.

El desarrollo del fruto se inicia dos a tres semanas después de floración, incluso en aquellos que no han sido fecundados. Alrededor de la tercera semana las flores que no han sido fecundadas caen y continúan su desarrollo sólo los frutos fecundados, donde inician un período de rápido crecimiento que se extiende hasta aproximadamente la octava semana después de floración (**Figura 76**). En torno a esta fecha, el fruto alcanza sus máximas dimensiones, tanto en longitud como en diámetro. En este período queda definido el tamaño final del fruto.

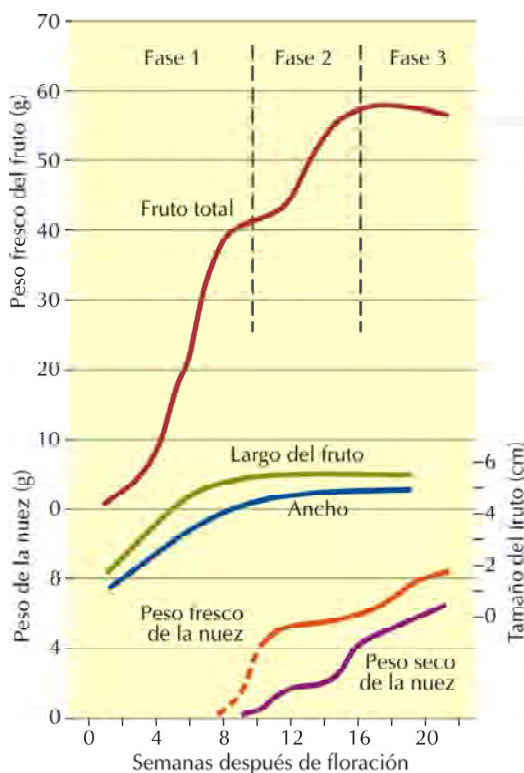


Figura 76. Curva de crecimiento del fruto y de la nuez del nogal, en función del tiempo; expresado como semanas después de floración. (Adaptado de Pinney *et al.*, 1998).

A partir de la novena semana, aproximadamente, la semilla comienza a aumentar de tamaño y de peso por la incorporación de asimilados provenientes de la fotosíntesis. El máximo desarrollo del embrión se obtiene cerca de 18 a 20 semanas después de floración. Durante este período el fruto no aumenta de tamaño, pero sí de peso, como consecuencia del desarrollo de la nuez.

Requerimientos hídricos

Los requerimientos netos de agua de un huerto adulto de nogales, en la zona central de nuestro país y dependiendo de la localidad, pueden variar entre 6652 y 11406 m³/ha al año, descontando el aporte que puedan realizar las precipitaciones (**Cuadro 34**). Para suplir estos requerimientos se requieren de riegos periódicos que permitan reponer el agua consumida por las plantas, de modo que no se reduzca la producción del cultivo ni la calidad de la fruta que se obtenga.

Cuadro 34. Requerimientos netos de agua (m³/ha/año) para el cultivo del nogal, en diferentes localidades de la zona central de Chile.

Localidad	ETc m ³ /ha/año	ETc mes de máxima demanda	
		m ³ /ha/mes	L/s/ha
Buin	7903	1450	0,56
La Platina	8967	1644	0,63
Melipilla	8578	1573	0,61
Santiago	8297	1522	0,59
La Cruz	6904	1266	0,49
Quillota	8647	1586	0,61
La Ligua	6562	1203	0,46
Llay-Llay	11406	2092	0,81
Los Andes	10184	1868	0,72
San Felipe	10602	1944	0,75
San Fernando	7832	1436	0,55
Rengo	8282	1519	0,59
Rancagua	9762	1790	0,69

ETc: Evapotranspiración de cultivo.

Efectos del estrés hídrico

Se ha observado adaptabilidad en nogales bajo estrés hídrico. Martin *et al.* (1980), sometió, durante dos temporadas, a árboles de la especie a déficit hídrico. La primera temporada de crecimiento sin riego, los árboles sobrevivieron en su totalidad sin síntomas visibles de estrés. Por otro lado, el crecimiento del tronco en árboles sin riego fue significativamente menor que el de los regados, pero en la segunda temporada, cuando el riego se repuso, no hubo diferencias. Tampoco hubo diferencias significativas en la mayoría de los factores de calidad del grano atribuibles al riego en la primera temporada de restricción hídrica, salvo una reducción de peso del grano (21% menor) en las parcelas sin riego, ni en la calidad de la nuez al final de la segunda temporada de impuesto el déficit. En este año se detectó un leve pero significativo incremento en el peso de la nuez en muestras tomadas de parcelas que no fueron regados el año anterior.

No obstante lo anterior, en general los estudios existentes en nogal indican que la falta de agua o estrés hídrico, puede afectar el crecimiento de los árboles, disminuir la producción y afectar la calidad de la nuez. En casos extremos, la falta de agua en el nogal provoca serios daños, tales como amarillamiento prematuro y caída de hojas de ramas terminales, problema que se ve acentuado en suelos poco profundos y de baja retención de humedad (Martin *et al.*, 1980) o con baja tasa de infiltración.

Los autores coinciden en que los rendimientos se verían disminuidos con un déficit hídrico, sin embargo, hay opiniones distintas acerca del motivo de esta disminución. Goldhamer *et al.* (1990), evaluó la respuesta de nogales del cv. Chico a distintas tasas de riego (100, 66, y 33% del valor máximo ETC). Los rendimientos fueron mayores en los nogales regados con 100% de ETC y los menores con 33% (**Figura 77**). Las diferencias de rendimiento se debieron principalmente a diferencias en la carga frutal y, en menor medida, el peso individual de cada nuez. El tamaño promedio de las nueces fue mayor bajo déficit de riego y se debería a un efecto compensatorio de la carga frutal sobre el desarrollo de la nuez. Por lo tanto, concluyen que las diferencias de

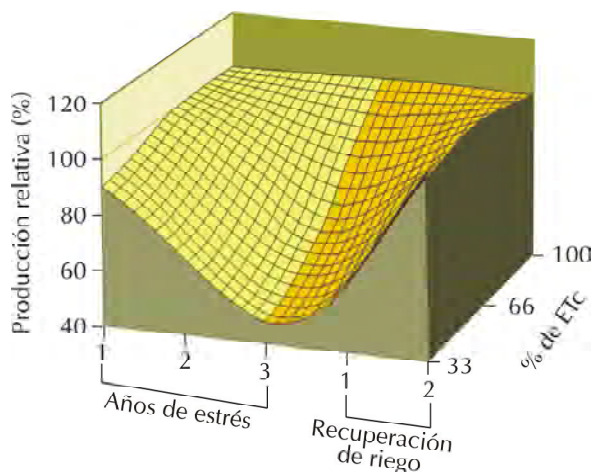


Figura 77. Producción relativa de nogales regados bajo diferentes regímenes. (Adaptado de Goldhamer *et al.*, 1990).

rendimiento se deben, principalmente, a que el estrés hídrico reduciría el número de frutos por árbol. Ramos *et al.* (1978), por otro lado, trabajando en nueces variedad Serr observó una disminución en el rendimiento de parcelas no regadas, pero debido a la reducción del 27% en el peso del grano.

No todos los estados fenológicos del árbol y del fruto presentan una misma sensibilidad al estrés hídrico, por lo que los déficits de agua en determinados períodos no necesariamente perjudican el crecimiento de las plantas y sus rendimientos, aunque sí pueden afectar la calidad de la fruta. En relación con esto último, contar con humedad adecuada en el suelo (cercana a la capacidad de campo) durante la primavera, es importante para la obtención de frutos de tamaño comercial. El efecto de un déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo también depende del momento en que se produzca, puesto que los brotes crecen más rápido principalmente durante los dos primeros meses de la temporada, mientras que el engrosamiento de ramas y del tronco continúa durante el resto de la temporada. Por lo tanto, se estima que la disponibilidad de agua durante la primera mitad del verano es vital para promover un buen crecimiento de las ramas.

Durante el período inicial de crecimiento del fruto, entre 5 a 6 semanas después de floración, la escasez de humedad produce un gran porcentaje de frutos muy pequeños. La cubierta de la nuez comienza a endurecerse a mediados de diciembre, posteriormente el crecimiento es casi nulo. Por ese motivo el tamaño final de los frutos queda definido por la disponibilidad de agua durante la primavera y ninguna cantidad de agua después que la cáscara se ha endurecido (mediados de verano o más tarde) incrementará el tamaño de la nuez (Cohen *et al.*, 1997) ni afectará otros aspectos de importancia en la producción. Por ejemplo, entre las temporadas 1998/99 a 2000/01 en la comuna de San Esteban, V región, se disminuyó el aporte hídrico durante la fase III de crecimiento del fruto. Al final del ensayo no se encontraron diferencias significativas en largo de brotes, diámetro ecuatorial de frutos, número de frutos por árbol, rendimiento total y calidad de los frutos, expresados en color y porcentaje de frutos con golpe de sol.

A pesar que la falta de agua después de las 5 a 6 semanas de floración no tiene ningún efecto sobre el tamaño final del fruto, en ese período se inicia el aumento del peso de la nuez por acumulación de aceites, por lo tanto, la escasez de agua durante los meses de diciembre, enero y febrero podría afectar el llenado y color del fruto (nueces más livianas y más oscuras con alto grado de partiduras y aberturas). Esto se observó en el ensayo realizado en San Esteban, donde se vio una tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos (disminución del porcentaje de frutos exportables por color), lo cual se podría aminorar si se adelanta la cosecha. Ramos *et al.* (1978), agrega que esto sería más evidente en las partes del árbol donde la fruta se encuentra más expuesta al sol.

Para evitar dicha pérdida de calidad, en zonas con baja precipitación es recomendable proporcionar riegos durante el invierno, de modo de tener humedad durante la primavera y verano. Otra ventaja de los riegos invernales dice relación con la incidencia del cáncer bacteriano. Teviotdale y Siebbett (1982), encontraron que la aplicación de riegos invernales reduce la incidencia y gravedad de ataques de cáncer bacteriano.

Excesos de agua también son perjudiciales para el desarrollo del nogal

Dentro de los frutales de hoja caduca, los patrones utilizados en nogal están dentro de los más sensibles a la falta de aireación del suelo. Huertos sujetos a períodos de saturación prolongados presentan daños en raíces, ya que la falta de oxígeno en el suelo y exceso de CO₂ deteriora el desarrollo de éstas, provocando la muerte de raíces finas (menores a 2mm) que son las absorbentes. También se puede presentar clorosis, abscisión y marchitamiento de hojas. Los problemas más significativos se inician en primavera, cuando comienzan a desarrollarse las raíces. Además, los excesos de humedad favorecen el desarrollo de enfermedades como la *Phytophthora* (**Foto 35**).



Foto 35. Nogales con daño causado por *Phytophthora*.

7.7 Olivo

El olivo es una especie particularmente interesante, ya que si bien tiene alta tolerancia a la sequía, responde muy bien al riego. En algunas zonas de Chile su cultiva como especie de secano, pero, en los últimos años se ha incrementado notablemente la superficie bajo regadío, esto de-



bido a la mayor demanda y valorización, principalmente, del aceite de oliva. Sin embargo, las nuevas plantaciones se han establecido en zonas semiáridas, por lo que generalmente no se dispone de la cantidad de agua necesaria para suplir la demanda hídrica total del cultivo.

Lo anterior obliga a que el RDC se considere dentro de los planes de manejo de las especie.

Ciclo fenológico

Desarrollo vegetativo y productivo

El olivo presenta un ciclo productivo de dos años. Las yemas vegetativas comienzan a brotar en primavera, manifestándose por la aparición de nuevos brotes terminales y ruptura de yemas axilares, las cuales darán lugar a brotes juveniles (madera) o a inflorescencias (racimos), si es que son inducidas. En el período de un año se observan dos flujos de crecimiento vegetativo. El primero y más importante ocurre en primavera y puede durar hasta mediados de enero. El segundo flujo de crecimiento puede producirse entre marzo y abril, cuando llueve a comienzos de otoño. El crecimiento de estos últimos brotes se ve muy afectado por la cosecha ya que los frutos acaparan la mayor parte de los asimilados de la planta, reduciéndose por lo tanto, el crecimiento de brotes (Rallo, 1995).

Desarrollo floral y crecimiento del fruto

La inducción floral se produce durante la temporada anterior, entre mediados de diciembre hasta fines de abril. Una vez inducidas, las yemas entran en reposo o latencia durante el invierno. En la primavera siguiente se produce la floración, fecundación y formación del fruto.

La iniciación floral del olivo está condicionada al cumplimiento de un período de frío invernal (vernalización), que en forma aproximada se completa entre los meses de julio y agosto. La floración se inicia una vez que las temperaturas más cálidas de la primavera favorecen el término de la diferenciación, aproximadamente entre noviembre y diciembre, produciéndose en dicha época inmediatamente la apertura floral,

polinización y fecundación (Sotomayor, 1994). En ciertas condiciones climáticas estos procesos pueden adelantarse, en el Valle de Azapa se ha estimado que la inducción floral se produce en junio y la floración a fines de septiembre (Escobar, 1982).

El fruto del olivo es una drupa, compuesta de tres capas de tejido: exocarpo, mesocarpo y endocarpo (**Figura 78**). Su desarrollo se ajusta a una curva de tipo doble sigmoidea (**Figura 79**), en la que pueden reconocerse claramente tres fases o etapas de crecimiento, las que son normalmente denominadas etapas I, II y III y que se caracterizan por presentar procesos fisiológicos distintos. Durante la primera fase, la división y expansión celular contribuyen al aumento de su tamaño. El crecimiento del endocarpo es especialmente importante, ya que durante esta fase se desarrolla hasta alcanzar prácticamente su tamaño final. La fase II se caracteriza por la disminución del crecimiento del fruto disminuyendo hasta casi detenerse, tanto en diámetro como en peso fresco. Durante esta época, se esclerifica el endocarpo (endurecimiento de carozo) y

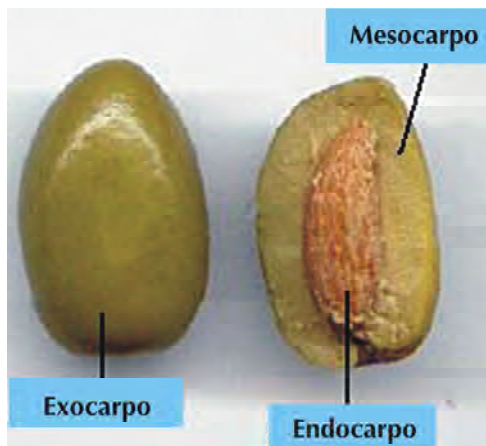


Figura 78. Tejidos presentes en una drupa.

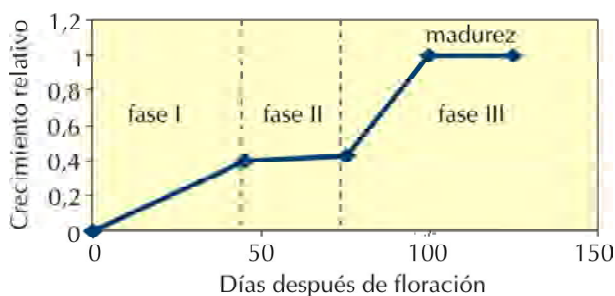


Figura 79. Curva y fases del crecimiento del fruto del olivo.

se desarrolla el embrión de la semilla. Una vez desarrollada ésta y endurecido el carozo, el fruto retoma un crecimiento acelerado, debido a la expansión celular de las células del mesocarpio (Fase III). Este crecimiento continúa hasta el cambio de color en las células del exocarpio, lo que marca el inicio de la maduración del fruto. La maduración del fruto va acompañada de una reducción en el agua total del fruto y un aumento del contenido de aceite (Tombesi, 1994).

La última fase del endurecimiento del endocarpo coincide con el máximo crecimiento del embrión, una vez que la semilla ha alcanzado su tamaño definitivo. Este período es crítico para dos cosechas sucesivas. Por un lado, concluye con la abscisión (caída) de las aceitunas de la cosecha actual y, por otro, el desarrollo del embrión y el endurecimiento del endocarpo parecen contemporáneos con el comienzo de la inducción floral, de manera que la presencia de frutos semillados más allá de este período tiene un claro efecto inhibitor sobre la floración del año siguiente (floración de retorno), siendo la causa fundamental del añerismo del olivo (Rallo, 1995).

El ciclo anual del olivo se presenta en la **Figura 80**.

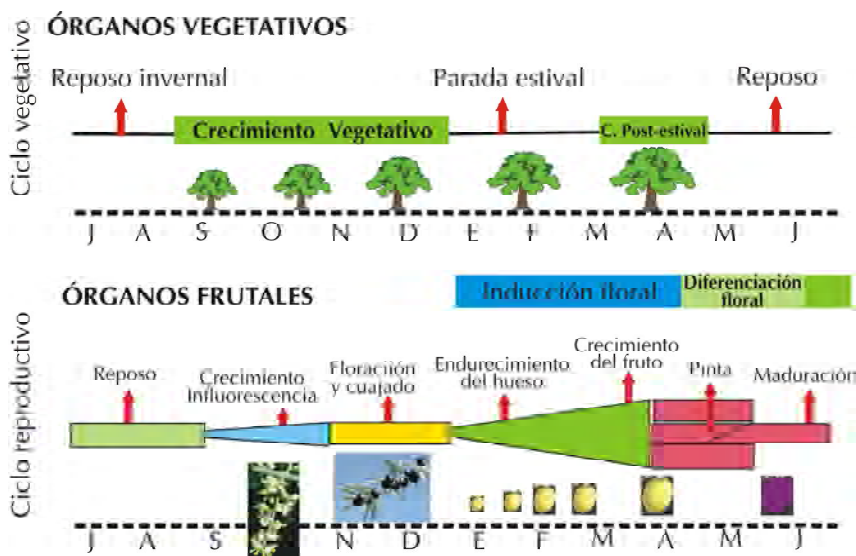


Figura 80. Ciclo anual de desarrollo del olivo.

Respuesta al estrés hídrico

Consideraciones generales

El olivo es considerado como una especie resistente a la sequía, lo que le permite ser cultivado en zonas de secano, sin embargo, su rendimiento se ve notablemente incrementado con cualquier aporte de agua adicional a la lluvia, por pequeño que sea (Solé, 1990; Goldhamer *et al.*, 1994; Fereres y Orgaz, 1995; Inglese *et al.*, 1996).

Su producción fluctúa de un año a otro, por lo que se requiere de varias temporadas de estudio para obtener las indicaciones concluyentes para el olivicultor. Así lo hicieron Goldhamer *et al.* (1994) y Solé (1990), quien realizó un ensayo de 7 años de duración en Arbequina, en donde se aplicaron 3 tratamientos de riego (60, 120, y 180 L/árbol) y uno de secano. Los resultados se reflejan en la **Figura 81**, donde se aprecia el efecto positivo de la aplicación de agua al olivo en la producción de aceitunas. Similares resultados obtuvieron Pastor *et al.* (1999), quienes observaron que el riego incrementó la producción media de árboles regados sobre los de secano, aumentando igualmente el número de frutos por árbol y el tamaño de fruto, tras 6 años de estudio. El aumento de producción en regadío lo atribuyeron a un aumento del volumen de copa de los árboles, así como del índice de área foliar. Goldhamer *et al.* (1994), por su parte, trabajando 3 años en olivos cv. Manzanilla, aportaron diferentes cantidades de agua como resultado de utilizar una parrilla de coeficientes de cultivo (Kc), fijos en todo el ciclo anual, en la programación de los riegos. La **Figura 82** muestra el aumento considerable de la producción a medida que se aumentaba la cantidad de agua aplicada.

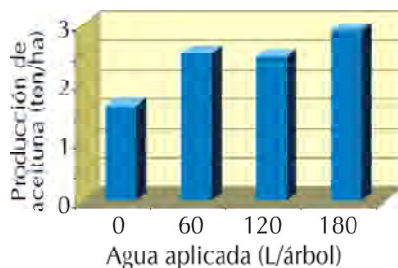


Figura 81. Respuesta productiva de olivos a aportaciones de agua de riego. (Adaptado de Solé, 1990).

Por otro lado, en variedades cuya producción está destinada a la elaboración de aceite, existen opiniones encontradas. Iniesta *et al.* (2009) trabajando 3 años en olivos cv. Arbequina, observaron que el estrés hídrico causaría una reducción en el rendimiento de fruta fresca pero no, en el rendimiento de aceite. Los árboles con déficits presentaron frutos con una mayor concentración de aceite, por lo que la restricción hídrica sería recomendada, ya que permitiría ahorrar una cantidad significativa de agua con reducciones moderadas (alrededor

del 15%) en la producción de aceite. Girona *et al.* (2001), afirman que la producción de aceite presenta una respuesta condicionada por la cantidad de agua aplicada (dada por el valor de Kc en la programación del riego) y que ésta, ejercería un efecto negativo sobre la extractibilidad del aceite. Sin embargo, Pastor *et al.* (1999) observaron un aumento en el rendimiento graso de las aceitunas de árboles bajo regadío, comparados con árboles de secano.

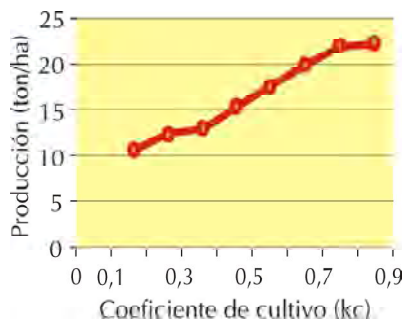


Figura 82. Respuesta productiva de olivos cv. Manzanilla a la utilización de diferentes coeficientes de cultivo (Kc) en la programación de riego. (Adaptado de Goldhamer *et al.*, 1994).

Efecto del estrés hídrico sobre las distintas etapas de desarrollo del olivo

El olivo presenta distintas respuestas al estrés hídrico, dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentre. Así, Spiegel (1955), sostiene que durante las fases de crecimiento de las inflorescencias y la floración no debe existir déficit de agua, ya que esto afectaría la viabilidad de las flores y, por consiguiente, el número de frutos. Se suma a lo anterior que en este mismo momento tiene lugar el crecimiento de las brotaciones que son importantes tanto para la masa foliar del año, como para la producción del año siguiente (Samish y Spiegel, 1961).

Durante el período de crecimiento del fruto, disminuciones del 50% de los requerimientos hídricos totales, disminuirían la producción en apenas un 10% y esto se debería a la disminución del peso del fruto, ya que el número de frutos/árbol no sería afectado (Goldhamer, 1999). Una reducción del riego al 60% de la ETc, durante toda la temporada, producirían una fuerte disminución del número de frutos en los años de alta carga frutal (Selles *et al.*, 2006). En variedades para aceite, como la Arbequina, la restricción hídrica durante el período de crecimiento del fruto (desde unas tres semanas después del cuajado del fruto hasta finales unos quince días antes del inicio del cambio de color) no afectaría negativamente la producción de aceitunas ni la de aceite, siendo la extractibilidad del aceite menor en los frutos provenientes de los olivos más regados (Alegre *et al.*, 2002).

Si el suministro hídrico se restringe durante la primera fase de crecimiento, los frutos presentarían un menor número de células en el mesocarpio (Proietti y Antognozzi, 1996). Además, se señala que para prevenir la primera caída fisiológica de frutos, especialmente la relacionada con el nivel de reservas del árbol, es importante que el olivo llegue a este punto en su mejor estado posible (Spiegel, 1955).

Déficit hídricos severos (25% de la ETc) durante la fase III de crecimiento del fruto, afectarían el peso final de los frutos de olivos cv. Sevillana a la cosecha, tanto en años de alta como baja carga. Restricciones de agua más moderadas en esta fase (60% de la ETc) o durante todas las etapas de desarrollo del fruto (40% de la ETc) sólo afectarían el peso final de los frutos en los años de alta carga, siendo el olivo no susceptible al déficit en los años de baja carga frutal (Selles *et al.*, 2006).

Finalizando el crecimiento del fruto, es importante que exista un estado hídrico adecuado para que se puedan acumular las reservas para el año siguiente (Spiegel, 1955).

El **Cuadro 35** señala el efecto del estrés hídrico sobre las distintas etapas de desarrollo de un olivar adulto.

Cuadro 35. Efecto del déficit hídrico de crecimiento y producción del olivo (Adaptado de Fereres y Orgaz, 1995).

Proceso	Período	Efecto del déficit hídrico
Crecimiento vegetativo	Todo el año (especialmente octubre-diciembre)	Reducción del crecimiento y de número de flores al año siguiente
Desarrollo de yemas florales	Junio-octubre	Menor número de flores Menor número de flores perfectas Menor proporción de flores pistiladas
Floración	Noviembre	Floración incompleta
Cuajado de frutos	Noviembre-diciembre	Aumenta el añerismo Mayor aborto ovárico
Crecimiento inicial del fruto	Diciembre-enero	Menor tamaño del fruto (menor cantidad de células por fruto)
Crecimiento final del fruto	Febrero-cosecha	Menor tamaño del fruto (menor tamaño de células) Mayor contenido de K en los frutos Adelanto de la madurez
Acumulación de aceite	Abril-cosecha	Menor contenido de aceite en el fruto

7.8 Palto

La palta (*Persea americana* Mill.) conocido también como palto (en inglés: avocado), es una especie conocida desde hace mucho en América. Sin embargo, su cultivo comercial es reciente. La superficie mundial de palta al año 2003 superaba las 340 mil hectáreas, cifra que



representa un incremento anual en torno al 2 % durante la década 1990 - 2000. De esta superficie, las mayores áreas de cultivo están en México (94 mil ha) seguido, Chile (39,3 mil ha) y EEUU (26,4 mil ha). En el comercio mundial, los principales exportadores son México, Chile, Sudáfrica, España e Israel.

A nivel mundial, los rendimientos promedio de los huertos de palta, son bajos en comparación con otras frutas de pulpa. Esto se debe en gran parte a que para producir frutos de semilla grande y ricos en aceite se requiere un alto costo en fotosintatos (Wolstenholme, 1986).

Suelo

El palto es muy sensible a la falta de aire ya que es originario de zona donde predominan los suelos Andisoles, derivados de cenizas volcánicas (Anguiano-Contreras *et al.* 2003), los cuales se caracterizan por presentar alta capacidad de aire que es cercana al 46%, baja densidad aparente que varía de 0,5 a 0,8 g cm⁻³, y un pH ácido de 5 a 6.

Ferreya y Selles (2007) determinaron que la palta cv. Hass, sobre portainjerto Mexícola, se desarrolla mejor en suelos arenosos, con alta capacidad de aire cercana al 30%, que en suelos francos y mal estructurados con tasas de difusión de oxígeno inferiores a 0,17 µg cm⁻² min⁻¹.

El suelo donde se plante el palto, debe tener a lo menos 1 metro de profundidad en suelo plano; 70 cm para desarrollo del sistema radicular y 30 cm para drenaje a lo menos, ya que no hay que olvidar que el sistema radicular del palto es superficial (80% de las raíces se encuentran en los primeros 40 cm de suelo). La principal limitante del suelo para esta especie es la presencia de textura arcillosa y mal drenaje, debido a la gran sensibilidad de esta especie a la asfixia radicular. El mejor suelo para este cultivo es aquel de textura liviana, suelto y con una gran cantidad de piedras. Lo importante es que el suelo tenga un gran porcentaje de macroporos, característica de suelos con buena estructura, dado principalmente por su contenido de materia orgánica. Una posible solución ante la existencia de texturas pesadas o poca profundidad efectiva es hacer camellones, montículos, terrazas, y subsolado antes de la plantación.

Por lo indicado anteriormente, uno de los principales factores que afectan la producción y calidad de la fruta, sobre todo en condiciones de suelo desfavorables para el desarrollo del palto, es una inadecuada relación entre el agua y aire en la zona de la rizósfera, producto del manejo del riego.

Entre las variedades de Palta más importantes, se encuentra la Hass. La variedad Hass es originaria de California, pertenece a la raza guatemalteca, por lo que se ve muy afectada por heladas, resistiendo sólo $-1,1^{\circ}\text{C}$. Posee buena productividad, menor añerismo como huerto, comparado con otros cultivares, y buena precocidad, lográndose cosechas al segundo o tercer año. La palta cv. Hass es de desarrollo mediano, con crecimiento globoso, por lo que puede plantarse a distancias medias y considerando su precocidad, es posible trabajar en altas densidades. La calidad de esta variedad es excelente, pudiendo alcanzar un contenido de aceite de entre 15 a 20%. La producción puede alcanzar como promedio 12 ton/ha después de 6 a 8 años, aunque se ha visto que esta producción podría llegar a 25 ton/ha.

La "Tristeza de la palta", causada por el hongo *Phytophthora cinamomi*, es el principal problema fitosanitario que afecta al palto. Este hongo provoca pudrición de raíces, por lo cual se observa un decaimiento progresivo del árbol con presencia de hojas pequeñas, follaje verde-amarillento, caída de hojas, árbol semitransparente, frutos pequeños y con golpe de sol. Si la infección es severa los árboles pueden morir. La infección provocada por este hongo se ve favorecida con exceso de humedad en el suelo producto del mal manejo del riego y por la presencia de heridas en las raíces.

El riego es un factor importante para un correcto manejo del palto. Al respecto se sabe que es extremadamente sensible al exceso de agua, que reduce la disponibilidad de oxígeno para las raíces, y además favorece el desarrollo de hongos como *Phytophthora cinnamomi* que causa, pudrición de raíces. El palto también es sensible al déficit hídrico, especialmente durante períodos de formación del fruto.

El mal manejo del riego en suelos que presentan condiciones ambientales desfavorables, como una alta densidad aparente y baja capacidad de aire, es el factor que más afecta la producción de este cultivo (**Foto 36**).



Foto 36. Paltos creciendo en suelos con capacidad de suelo del 12% (suelo franco arcilloso).
Con asfixia, rendimiento medio 8 ton/ha.

El palto comienza a presentar síntomas de asfixia radical (**Foto 37**), con niveles de aire en el suelo de 20% y presenta un buen desarrollo con niveles cercano al 30%. El deterioro del sistema radical, posteriormente afecta la parte aérea. Cortos períodos deficientes en oxígeno, normalmente derivan en reducción en el crecimiento y/o muerte del sistema radical. Esto incide en el crecimiento de los brotes, inhibición de la expansión de las hojas, moderada a severa abscisión de hojas (Stolzy *et al.*, 1967; Schaffer *et al.*, 1992) y en quemaduras en la punta de las hojas (Valoras *et al.*, 1964).

Dentro de las prácticas causantes de una baja aireación de suelo se cuentan: manejo del riego con contenidos de humedad altos, en suelos con baja capacidad de aire; aplicación de cargas de agua excesivas en suelos con restricciones de drenaje en profundidad; exceso de riego de los sectores bajos, debido a la descarga del agua de la red de riego luego de detener el equipo. Por lo tanto, se debe conocer, en la forma más exacta posible, las características propias del cultivo, así como la cantidad y oportunidad con que se debe aplicar el agua al cultivo.



Foto 37. Árboles con síntomas de asfixia radical. a: árbol desfoliado con exceso de floración presentes en la zona con mayor acumulación de agua; b: caída de fruta abundante e fines de primavera y/o finales de verano; c: caída de hojas abundante durante la floración; d: árbol con alta incidencia de aborto floral.

Ciclo fenológico

Crecimiento vegetativo y reproductivo

En Quillota, el crecimiento vegetativo del palto muestra dos períodos importantes; el primero se extiende entre mediados de Agosto y los últimos días de Diciembre, observándose un "peak" a inicios de Noviembre, el segundo ocurre desde Febrero hasta Mayo, con un "peak" a fines de Marzo. Durante los meses de Junio y Julio no se observa actividad vegetativa.

Su crecimiento reproductivo se inicia con la floración, que se extiende entre Septiembre y mediados de Diciembre, y continúa con el desarrollo del fruto entre los meses de Diciembre y Mayo (**Figura 83**).

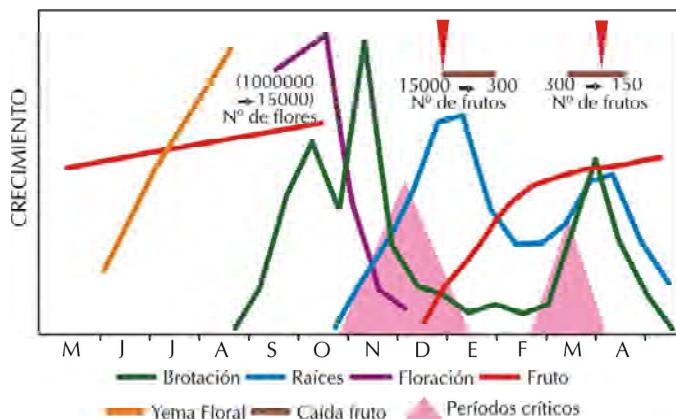


Figura 83. Períodos fenológicos del palto var. Hass en Quillota (Adaptado de Hernández, 1991).

Desarrollo de raíces

En términos generales, existe un equilibrio funcional entre el desarrollo del sistema radical y el comportamiento de la parte aérea y productivo de las plantas: a mayor desarrollo radical, mayor producción.

Según estudios realizados en Quillota, el crecimiento radical del palto ocurre entre Noviembre y Junio (Figura 83), lo que se correlaciona directamente con las fluctuaciones estacionales de temperaturas en el suelo y la presencia de otros "sink" de crecimiento del árbol (Hernández, 2001).

El palto presenta un sistema radical relativamente poco profundo comparado con otros frutales, es común observar que el 90% se encuentra en los primeros 40 cm de suelo (**Figura 84**), aunque pueden ser más profundas en los suelos arenosos bien drenados o en suelos con estricción del suministro de agua. En suelos arenosos las raíces se encuentran mejor distribuidas que en suelos arcillosos. Cabe destacar que más del 80% de las raíces finas se encuentran entre 30 a 150 cm del tronco del árbol.

Además de ser superficial, el sistema radical del palto está extensamente suberizado y es relativamente ineficiente en la absorción de agua por su baja conductividad hidráulica y baja presencia de pelos radicales. Cuenta con la presencia de aerénquima (tejido parenquimático especializado en el movimiento de aire), lo que explica todavía más la necesidad de mantener una buena aireación en la zona de raíces activas del palto.

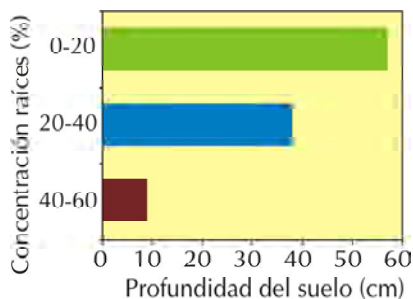


Figura 84. Distribución en profundidad del sistema radical de palto en un suelo franco de la comuna de Nogales.

Por lo tanto, se estima que la zona de riego a considerar para que no se produzcan pérdidas por percolación estaría dentro de los primeros 60 cm de suelo. Se recomienda además el uso de tensiómetros ubicados en la zona de raíces (30 cm de profundidad). La aplicación de riegos superficiales, como el por surcos, deben efectuarse cuando la lectura del tensiómetro alcanza los 50 kPa, pero no más allá de los 60. Tampoco debe regarse cuando la lectura es menor a 25 kPa (Bower, 1981).

Requerimientos hídricos

El período más crítico, para el desarrollo de la palta es el período de 100 días desde cuaja (amarre). Durante este período se produce un desarrollo importante del sistema radicular (Figura 84), se producen los mayores requerimientos zinc, boro y calcio, se definen el número de células en el fruto, del cual depende el calibre potencial a obtener. Exceso de agua durante este período, en suelos de baja aireación afectarían el desarrollo radicular, lo cual produce disminución de crecimiento y muerte de raíces (asfixia), limitando la absorción de agua y nutrientes (**Figura 85**), lo que afecta la cuaja, la caída natural de fruta, reduce el tamaño de los frutos (**Figura 86**) y puede aumentar el número de frutos con desordenes internos, como pardeamiento de pulpa (**Foto 38**) y bronceado vascular (**Foto 39**).

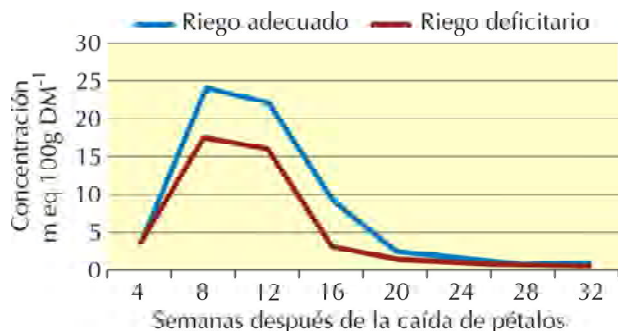


Figura 85. Efecto del riego sobre la concentración de calcio durante el desarrollo de la fruta.
Fuente Bower, 1985.

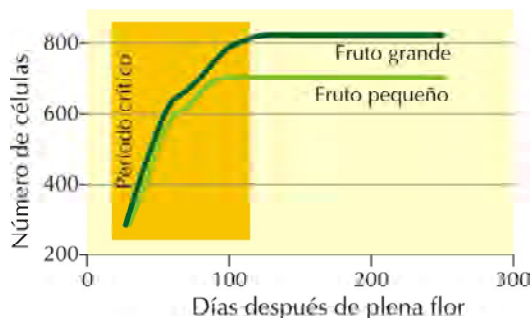


Figura 86. Número de células en frutos de palto Hass a partir de plena flor:
Fuente: Cowan *et al*, 1997.

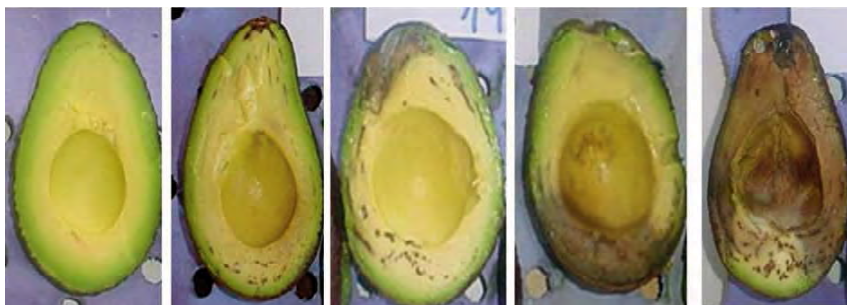


Foto 38. Pardeamiento de pulpa a la salida de almacenamiento en frío.



Foto 39. Bronceado vascular a la salida de almacenamiento en frío.

Un factor muy importante a considerar antes de establecer un huerto de palto es el recurso hídrico con el que se cuenta. Es importante considerar los requerimientos hídricos de la especie en plena producción, la cual fluctúa entre 8.000 a 10.000 m³ por hectárea en la temporada, si se considera un coeficiente de cultivo (K_c) de 0,72. Además de esto, es importante considerar la calidad del agua, principalmente la conductividad eléctrica, que para palta debe ser mayor a 0,75 dS/m. Aguas de alta salinidad provoca quemaduras en las puntas de hojas viejas por acumulación de sales, y bajan el potencial productivo.

El palto tiene un consumo de agua durante todo el año, siguiendo la curva de demanda hídrica de la zona. Es necesario indicar que en varios meses Mayo, Junio; Julio, Agosto, septiembre, octubre parte de este consumo es cubierto por las lluvias y aproximadamente entre noviembre y abril la palta requiere de riego dependiendo de las características del suelo y las precipitaciones de la temporada.

Trabajos realizados por Ferreyra y Selles (no publicado) entre los años 2010 y 2012 y Arpai *et al.* (1995) entre los años 1992 y 1995, ambos en suelo, de textura franca arenosa gruesa, indican que el cultivo del palto var. Hass, presenta los máximos rendimientos cuando se aplican volúmenes de agua durante la temporada entre el 70 al 75% de la E_{to} ($K_c = 0,7$). Por el contrario, en los tratamientos donde se aplicaron cantidades de agua mayores, equivalentes al 110% de la E_{to} ($K_c=1,1$), los rendimientos disminuyen en un aproximadamente un 50% debido a un exceso de vigor o problemas de aireación en el suelo (**Figura 87**). Cuando se aplica al cultivo una cantidad de agua inferior a 70% se

afecta en demasía el rendimiento, el cual decae en aproximadamente un 20% (Figura 87). Sin embargo, se disminuyen los calibre sobre 200g por frutos en un 60% (Figura 88).

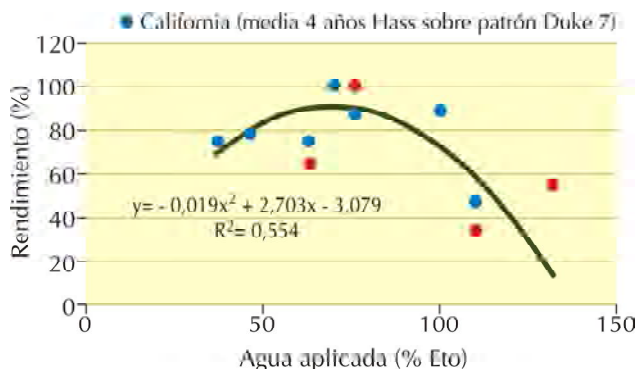


Figura 87. Efecto del agua aplicada sobre el rendimiento de la palta var Hass. (Ferreyra y Selles (no publicado) y Faber *et al*, 1995)).

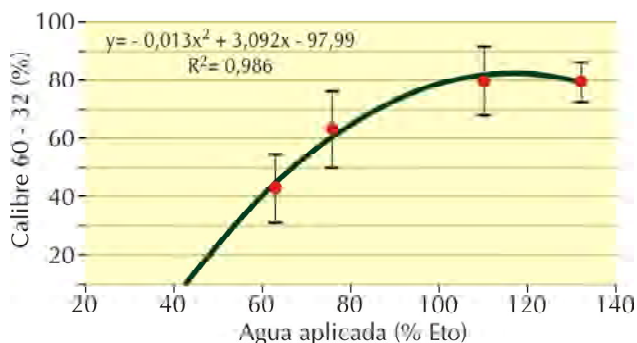


Figura 88. Efecto del agua aplicada sobre el calibre de la palta var Hass. (Ferreyra y Selles (no publicado)).

El coeficiente de cultivo está estrechamente relacionado con el porcentaje de cubrimiento que tiene el cultivo. El palto al ser una planta perenne mantiene una canopia estable durante toda la temporada, por lo cual el coeficiente de cultivo es bastante constante durante todo el año. En el **Cuadro 36** se presentan coeficientes de cultivos (K_c) determinados en Chile y California que muestran valores promedio de K_c entre 0,7 y 0,76.

Cuadro 36. Valores de kc para el cultivo de la palta.

Meses	Kc (Chile) Gardiazaval 2000	Kc (California) www.avocado.org	Kc (California) R Snyder UC Davis	Kc (Israel) Anónimo 2001
Junio	0,65 - 0,72	0,50	0,70	
Julio	0,65 - 0,72	0,40	0,70	
Agosto	0,65 - 0,72	0,50	0,70	
Septiembre	0,65 - 0,72	0,55	0,70	
Octubre	0,65 - 0,72	0,55	0,70	0,35-0,40
Noviembre	0,72 - 0,75	0,55	0,70	0,45-0,50
Diciembre	0,72 - 0,75	0,60	0,70	0,55-0,60
Enero	0,72 - 0,75	0,65	0,70	0,60
Febrero	0,72 - 0,75	0,65	0,70	0,60-0,65
Marzo	0,72 - 0,75	0,65	0,70	0,60 -0,65
Abril	0,72 - 0,75	0,60	0,70	0,60-0,65
Mayo	0,72 - 0,75	0,55	0,70	0,50

Kc = Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo está estrechamente relacionado con el porcentaje de cubrimiento que tiene el árbol, por lo cual la densidad de plantación es un punto importante a considerar.

Riego

Por lo indicado anteriormente, el agua de riego debe quedar entre 0 a 60 cm de profundidad, donde la mayoría de las raíces se encuentran en forma natural. Al reducir la cantidad de agua aplicada o aumentando el intervalo entre riego, generalmente se induce un sistema radicular más profundo.

En goteo y microaspersión, hasta hace algunos años atrás, los programas de riego sólo consideraban altas frecuencias de aplicación de agua (riegos diarios) para reponer la evapotranspiración del cultivo, inde-

pendiente del tipo de suelo. Actualmente, la experiencia ha mostrado que los riegos de alta frecuencia son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas, de una alta macroporosidad y delgados. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de humedad y de baja macroporosidad los riegos de baja frecuencia (riegos cada 2, 3, o más días en verano) se han mostrado más promisorios. Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo pueden significar problemas desde el punto de vista de la aireación de suelo, el desarrollo de ciertas enfermedades y una escasa área de suelo mojada.

En resumen, se puede indicar que los paltos en suelos de textura fina pueden ser regados con baja frecuencia de riego, sin afectar los rendimientos y el calibre. Sin embargo, es necesario que esta frecuencia se determine de acuerdo a la retención de humedad del suelo, utilizando un umbral de riego o fracción de agotamiento "p" entre un 40 a 60% (o sea, agotar antes de regar como máximo entre un 30 a 60% del agua disponible total (ADT)).

7.9 Pomáceas

Como cualquier árbol de hoja caduca, las pomáceas utilizan muy poca cantidad de agua durante los meses de invierno. Las precipitaciones de ese período se almacenarán en el suelo y serán utilizadas por el cultivo durante la temporada de crecimiento. Sin embargo, cuando no se cuenta con una profundidad del suelo y capacidad para almacenar agua adecuadas y la disponibilidad de agua para riego es limitada, es necesario buscar estrategias como el RDC que ayudarán en el ahorro de este escaso recurso.



Fases de crecimiento

El crecimiento del manzano y el peral presenta tres fases claramente definidas:

La primera se inicia en la brotación y dura, aproximadamente, 90 días. Al inicio de brotación, en primavera, el crecimiento vegetativo es lento; unas tres o cuatro semanas de iniciada la brotación, con el aumento en las temperaturas, comienza el período de crecimiento rápido, que continúa hasta la floración. En ese momento, el crecimiento de brotes se reduce fuertemente por una competencia entre brotes y flores por carbohidratos.

La segunda etapa se extiende desde los primeros días de enero hasta la recolección. Aquí se produce el desarrollo del fruto, que exige gran cantidad de agua, el cual se inicia con un período de división celular que dura hasta los 50 días después de plena flor; luego continúa un período de elongación celular, considerado el más importante en el crecimiento de la fruta y termina con la maduración del fruto, cuando el crecimiento se detiene casi por completo.

La tercera etapa corresponde al período que transcurre entre la recolección y la caída de hojas y dura entre 20 a 50 días. En esta fase el árbol toma reservas para invernar. En esta fase el árbol acumula las reservas que serán utilizadas para el inicio del crecimiento de la temporada siguiente. En la **Figura 89** se presenta como crece el fruto de pomáceas durante la temporada.

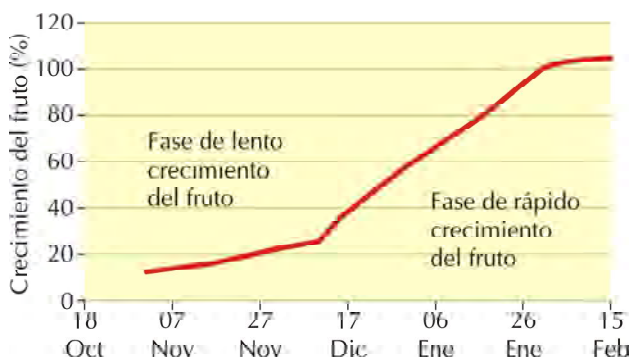


Figura 89. Crecimiento del fruto de manzano durante la temporada.

Efecto del déficit hídrico

Consideraciones generales

La disponibilidad del agua en el suelo afecta el crecimiento vegetativo de las pomáceas, así como el reproductivo. Los rendimientos se ven afectados por déficits, tal como ocurre en la mayoría de los frutales, pero la calidad de la fruta se torna un aspecto importante a considerar, no sólo pensando en el sabor. Desórdenes fisiológicos, tales como el corazón acuoso y el bitter pit, estarían muy asociados al suministro hídrico.

Diversos estudios coinciden en que el déficit hídrico afecta la división y elongación celular produciendo una disminución del diámetro del tronco y del crecimiento de las ramillas (Landsberg y Jones, 1981; Evans, 1984).

Al parecer, el desarrollo del fruto es lo que más se limitaría al someter los árboles a restricciones hídricas, pudiendo reducir significativamente su tamaño (Evans, 1984; Mpelasoka *et al.*, 2001a; Mpelasoka *et al.*, 2001b; Leib *et al.*, 2006). Sin embargo, en prácticas de RDC en perales 'Bartlett', el rendimiento promedio durante cinco años fue incrementado en un 20%, mientras que el volumen de riego se redujo en un 29% (Decroix, 1992). Otros estudios señalan que al restaurar el riego luego de un período de déficit, dependiendo del momento en que se aplique y de su duración, pueden obtener rangos de crecimiento superior a lo normal (Assaf *et al.*, 1974; Cohen y Goell, 1988).

Con respecto a la calidad de los frutos, la falta de agua puede aumentar la concentración de sólidos solubles y la intensidad de su sabor (Mpelasoka *et al.*, 2001a; Mpelasoka *et al.*, 2001b; Leib *et al.*, 2006). También se dice que la firmeza de la pulpa aumenta cuando se reduce la cantidad de agua aplicada, aunque no siempre resulta ser así, puesto que en otra investigación, no se encontraron diferencias respecto a esto (Irving y Drost, 1987). Por otro lado, Evans (1984), indica que la restricción hídrica incrementa el daño por russet en la fruta.

Existen otros parámetros de calidad de la fruta de manzanos que son influenciados por los distintos regímenes de humedad. Es el caso de la incidencia de desórdenes fisiológicos como el bitter pit, y el corazón

acuoso, la situación no es tan clara. Trabajos de Irwing y Drost (1987) indican que no existen mayores diferencias entre frutos provenientes de plantas sujetas a déficit hídrico y de aquellos provenientes de plantas bien regadas. Sin embargo se ha observado que condiciones de estrés hídrico o exceso de agua en momentos críticos del crecimiento del fruto, aplicaciones excesivas de nitrógeno, podas fuertes, crecimiento vegetativo vigoroso, niveles altos de potasio y/o magnesio favorecen la incidencia de bitter pit. También se ha estudiado que factores climáticos como temperaturas altas de verano (+30°C), humedad relativa baja, vientos y mayor radiación favorecen la aparición del desorden.

Aplicación de déficits hídricos

Diversos estudios se han realizado para determinar el efecto del déficit hídrico aplicado en toda la temporada o en diferentes etapas fenológicas. Algunos resultados se presentan a continuación.

Durante toda la temporada

Existen investigaciones que dicen que es posible ahorrar en el consumo de agua, disminuyendo la cantidad aplicada a través de la temporada sin ir en desmedro de la producción de pomáceas. En España, Marsal *et al.* (2002), lograron aumentar el número de frutos de y retorno floral en perales, con una disminución de un 30% en la cantidad de agua aplicada, sin afectar el tamaño del fruto. Además, una reducción del regadío del 50% en toda la temporada de crecimiento produjo mejoras en manzanos Golden Delicious en el contenido total de azúcar (Nasr y Ben Mechlia, 2002). Además, déficits hídricos aplicados durante toda la temporada, adelantarían la madurez de consumo de manzanas (Mpelasoka *et al.*, 2001b).

Contrario a lo anterior, Girona *et al.* (2008), sometieron durante tres años manzanos del cv 'Golden Smothee' a déficits iguales al 50% y 33% de los requerimientos hídricos totales. Observaron que los rendimientos bajan y que esta disminución está relacionada a la intensidad del déficit. Así, los árboles que fueron regados con un 50% de sus requerimientos, disminuyeron en un 29% el rendimiento y los regados con un 33% de lo necesario, vieron mermada la producción en un 55%, respecto a los árboles sin déficit.

Durante la etapa de crecimiento vegetativo

La literatura extranjera indica que es posible manejar, exitosamente, huertos de alta densidad aplicando un estrés durante la primera etapa de crecimiento de brotes. En esas condiciones se mantiene el nivel de producción e, incluso, mejora la calidad del fruto, pero se produce un efecto más marcado de menor crecimiento de la ramilla, que cuando el estrés se aplica en períodos más tardíos (Irving y Drost, 1987).

En ensayos realizados en Australia, con tres tratamientos de riego, el crecimiento vegetativo del peral disminuyó proporcionalmente al nivel de déficit hídrico (Mitchell *et al.*, 1989).

Por otro lado, Behbuodian y Lawes (1994), indican que restringiendo el riego en un 50% de la ETC de perales asiáticos, desde la brotación hasta el fin de la etapa de crecimiento lento del fruto, no se ve alterado el rendimiento ni los sólidos solubles. La concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en el fruto tampoco se ven afectadas, pero se tiende a reducir la concentración de calcio. Una reposición del 23% de la ETC, durante la fase de crecimiento vegetativo, aumentaría la producción y el tamaño de los frutos de alto valor de perales 'Barlette' y atenuaría la alternancia productiva característica de este cultivo (Mitchell *et al.*, 1989).

Sin embargo, déficits tempranos (aplicados desde 63 hasta 118 días después de plena flor), retrasarían la madurez de consumo de manzanas 'Braeburn' (Mpelasoka *et al.*, 2001b).

Durante el crecimiento del fruto

En manzanos y peras, después que el follaje está totalmente expandido, el crecimiento del fruto es casi uniforme hasta la madurez, siempre que el agua no sea restringida. Por el contrario, si el contenido de humedad en el suelo alcanza el punto de marchitez, el crecimiento es menor, pero si se riega antes de que el agua se agote, no se afecta la tasa de crecimiento.

Marsal *et al.* (2002), observaron que al aplicar RDC durante la fase I del desarrollo de frutos, en perales que por estar sobre regados presen-

taban bajas cargas, éstos fueron capaces de recuperarse del número bajo de frutos. Sin embargo, el crecimiento de la fruta se redujo significativamente.

La aplicación del RDC en la fase II del crecimiento de fruto ha generado respuestas contradictorias. Por ejemplo, Marsal *et al.* (2002), observó que la cantidad de frutos en perales con déficit hídrico durante esta etapa aumentaba, pero el crecimiento de la fruta se reducía significativamente. Por otro lado, Lotter *et al.* (1985), afirman que sería posible disminuir el aporte de agua durante la etapa II del crecimiento de manzanas, sin afectar los rendimientos ni la calidad del fruto, mientras que los niveles aplicados no sean inferiores al 45% de las necesidades de agua del cultivo.

El período de maduración del fruto (etapa III) sería la más sensible a la falta de agua y se recomienda no someter a estrés hídrico al manzano en esa etapa, ya que se reduciría fuertemente el tamaño final del fruto (Lotter *et al.*, 1985).

Además se indica que déficits hídricos tardíos (aplicados desde 118 días después de plena flor hasta cosecha) adelantarían la madurez de consumo, (Mpelasoka *et al.*, 2001b).

7.10 Uva de mesa

La mayor parte del área de producción de la uva de mesa se encuentra en clima semiárido, donde es indispensable utilizar el riego. Como en estas zonas es habitual que se presenten condiciones de sequía en forma de ciclos interanuales, es necesario conocer de la mejor forma posible los requerimientos hídricos y los efectos que puede tener un déficit de agua sobre la calidad y



condición de la fruta. Si bien, la vid puede sobrevivir largos períodos de sequía, la sensibilidad al déficit de agua de la uva de mesa de exportación es alta, por lo que se hace necesario conocer su ciclo fenológico y sus requerimientos hídricos totales, antes de llevar a cabo estrategias de riego deficitario.

Ciclo fenológico

Como en todas las especies frutales el ciclo anual de crecimiento de la vid involucra crecimiento vegetativo, crecimiento de bayas y crecimiento de raíces. La duración de los diferentes estados fenológicos depende de la variedad y de las condiciones ambientales (climáticas) de la localidad donde se cultive (**Cuadro 37**).

El crecimiento vegetativo se inicia con la brotación de las yemas formadas durante el ciclo de crecimiento anterior, dando origen a brotes que contienen yemas vegetativas, reproductivas y sarmientos. El desarrollo de la superficie foliar es bastante rápida, como lo muestra la **Figura 90**, en donde se observa la evolución del índice de área foliar (IAF) en el cultivar Thompson Seedlees, en la comuna de Curimón, provincia de San Felipe. Al momento de cuaja, el área foliar es alrededor del 30% del área foliar máxima. En pinta alcanza el 80% del IAF máximo (Selles *et al*, 2012).

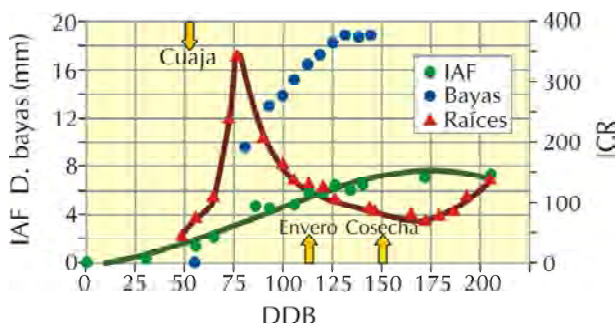


Figura 90. Evolución del índice de área foliar (IAF), desarrollo de raíces (ICR) y crecimiento de bayas (D. Bayas) en el cultivar Thompson Seedless conducidas bajo parrón español, en Curimón. DDB, días después de brotación. Las flechas indican estados fenológicos de cuaja, envero (pinta) y cosecha.

Cuadro 37. Fecha referencial de estados fenológicos en las cuatro principales variedades cultivadas, de acuerdo a zonas productivas (Fuente: Ing. Agrónomo Dragomir Ljubetic).

Estado Fenológico	Flame Seedlees	Thompson Seedlees	Red Globe	Crimson Seedlees
Localidad: Copiapó (Los Loros):				
Brotación	25-Jul	01-Ago	15-Ago	--
Pinta	26-Oct	25-Oct al 01-Dic	10-15-Dic	--
Cosecha	25-Nov	20-25-Dic	15-20-Ene	--
Receso	20-May	20-May	20-May	--
Localidad: Ovalle (Palqui):				
Brotación	30-Ago	30-Ago	01-Sept	05-sept
Pinta	20-25-Nov	5-15-Dic	30-Dic	04-ene
Cosecha	20-Dic	5-15-Ene	20-Ene	30-ene
Receso	30-Abr	30-Abr	30-Abr	30-abr
Localidad: Aconcagua (Los Andes):				
Brotación	05-Sept	5-10-Sept	5-10-Sept	5-10-sept
Pinta	15-Dic	05-Ene	15-ene	15-20-ene
Cosecha	15-Ene	30-Ene-02-Feb	20-28-Feb	25-feb-5-mar
Receso	15-May	15-May	15-May	15-may
Localidad: Santiago (Talagante):				
Brotación	10-Sept	15-20-Sept	15-20-Sep	15-20-sept
Pinta	25-Dic	15-20-Ene	20-25-Ene	20-ene
Cosecha	20-Ene	10-25-Feb	5-10-mar	5-10-mar
Receso	15-May	15-May	15-may	15-may
Localidad: Colchagua (San Fernando):				
Brotación	--	20-25-Sept	20-25-sep	20-25-sept
Pinta	--	20-25-Ene	25-30-ene	25-30-ene
Cosecha	--	20-Feb-05-Mar	5-15-mar	5-10-mar
Receso	--	15-May	15-may	15-may

Iniciada la brotación, el desarrollo de los órganos florales y vegetativos se produce en forma simultánea. En el caso del Valle de Aconcagua, por ejemplo, la cuaja ocurre entre 50 y 60 días después de brotación (DDB) (Figura 90).

El crecimiento de las bayas se divide en tres fases, dos fases de crecimiento rápido (Fases I y III) y una de crecimiento lento (Fase II), la cual es muy corta en las variedades apirénicas. La fase I de crecimiento de la baya, va desde la floración hasta pinta y corresponde a un período de división y elongación celular. En esta fase queda definido el número final de células, las cuales posteriormente sólo aumentarán de tamaño. A pinta queda definido entre el 70 y 80% del tamaño final de la baya (**Figura 91**). Un déficit hídrico en este período afecta el calibre de las bayas, y este no se recuperará aún cuando se riegue bien entre pinta y cosecha, como lo muestra la **Figura 92**. El crecimiento de las bayas entre pinta y cosecha es menos susceptible a los déficits hídricos (Fase III). Durante este período, se produce elongación de células formadas en la fase I y existe un importante transporte de azúcares hacia las bayas, a través del floema.

El crecimiento de raíces, en el caso del Valle de Aconcagua, se inicia alrededor de 30 DDB (Figuras 90 y 93), llegando a un máximo, uno poco después de cuaja (60 DDB, segunda semana de noviembre). Un segundo período de crecimiento se inicia una vez terminada la cosecha, llegando a un máximo alrededor de 225 DDB, es decir mediados de mayo. Este ciclo se ha observado tanto en plantas francas, como en plantas injertadas (**Figura 93**).

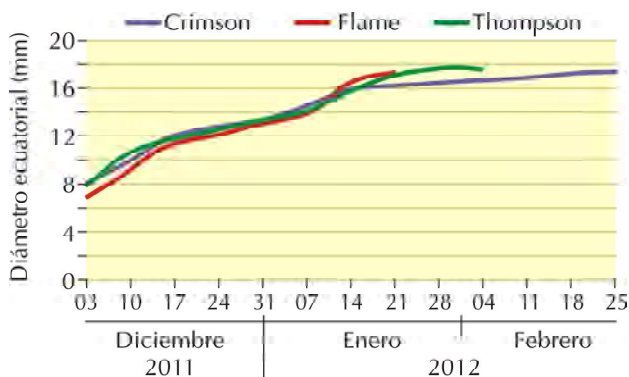


Figura 91. Curva de crecimiento de bayas del cultivar Crimson Seedless, Flame Seedless y Thompson Seedles en el Valle de Aconcagua. Al momento de la pinta queda definido entre el 70 y 80% del calibre final de la baya.

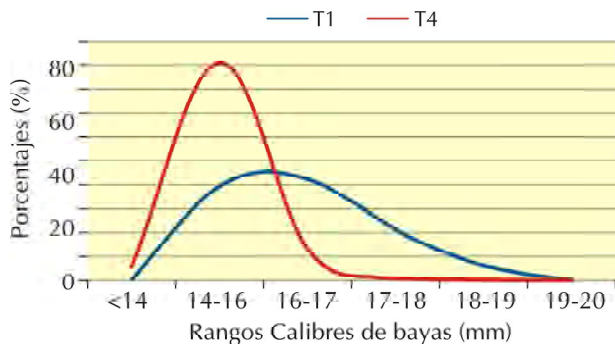


Figura 92. Efecto del déficit hídrico entre cuaja y pinta sobre la distribución de calibres en el cultivar Crimson Seedless. T1 corresponde a un régimen de riego de 100% de las necesidades hídricas del cultivo. El 60% de las bayas presentó calibres sobre 16 mm. T4, se aplicó un 30% de las necesidades hídricas entre cuaja y pinta, y entre 70 y 100% después de pinta. El calibre de bayas no se recuperó. El 80% de la bayas a la cosecha presentó calibres menores de 16 mm (Adaptado de Selles *et al*, 2012).

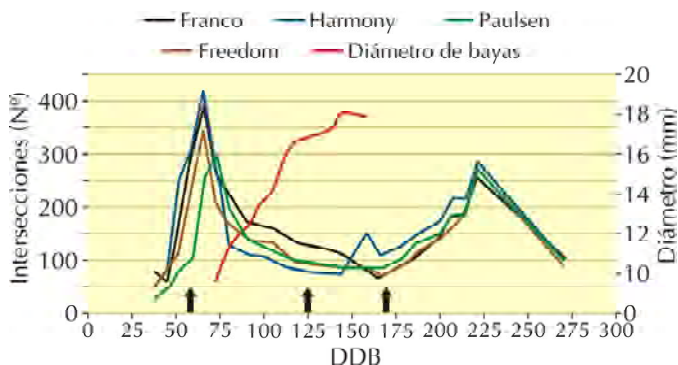


Figura 93. Evolución del crecimiento de raíces medido como el número de raíces interceptadas en un rizotrón, en plantas del cultivar Thompson Seedless franca e injertada sobre portainjertos de las variedades Harmony, Paulsen 1103 y Freedom. La Figura muestra también la evolución del crecimiento de las bayas (mm). Las flechas indican la fecha de floración, de pinta y de fin del crecimiento de las bayas (Selles *et al*, 2012).

No obstante lo anterior, los estudios de raíces realizados en calicatas de parronales del cultivar Thompson Seedless (**Figura 94**), muestran que las plantas injertadas presentaron una mayor densidad de raíces y exploran una mayor profundidad de suelo que las plantas francas. Se pudo observar que las mayores densidades radicales se presentaron entre las profundidades de 30 y 50 cm y que en promedio los portainjertos presentaron entre 30 a 60 % más de raíces que la planta franca siendo los portainjertos Paulsen 1103, Salt Creek , Freedom y Richter 110 los con mayor crecimiento radicular (Figura 94). El crecimiento de las raíces depende de aspectos genéticos propios del material vegetal, pero también se encuentra afectado por las condiciones físicas del suelo, que pueden limitar su desarrollo, tales como la textura del suelo, la densidad aparente (compactación) y la macroporosidad del suelo.

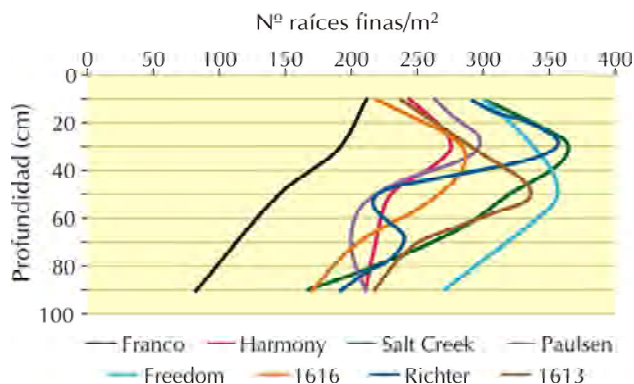


Figura 94. Distribución de raíces (Nº de raíces finas/m² de suelo) en profundidad de plantas del cultivar Thompson Seedless en pie franco e injertadas en portainjertos de las variedades Harmony, Salt Creek, Paulsen1103 , Freedom, 1616, Richter 110 y 1613. Predio Santa Griselda, Valle de Aconcagua. Suelo de textura franco arcillosa.

La capacidad de retención de agua del suelo y las precipitaciones invernales también afectan el desarrollo del sistema de raíces, Por ejemplo en el Valle de Aconcagua, con suelos de texturas franco arcillosas y precipitaciones invernales cercanas a los 180 mm, el sistema radicular puede colonizar lateralmente hasta el 70 a 80% de la distancia entre

hileras (**Figura 95**), lo que implica que durante la temporada de crecimiento las raíces pueden extraer agua en todo el ancho de la entre hilera (**Figura 96**).

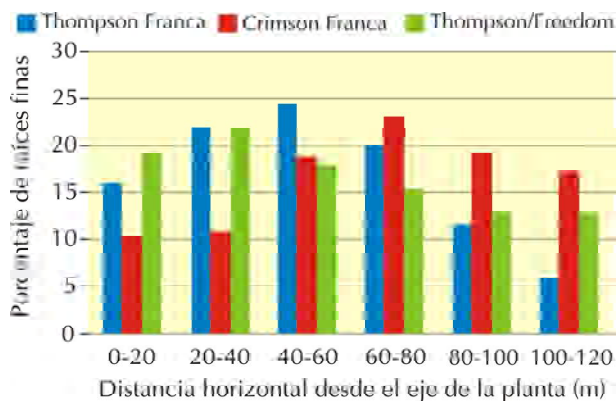


Figura 95. Distribución lateral de raíces (distancia horizontal desde el eje de la planta m) de vides cv Thompson Seedless (franca e injertada sobre Harmony) y Crimson Seedless, en suelos de textura fina del Valle de Aconcagua. (Selles *et al* 2012).

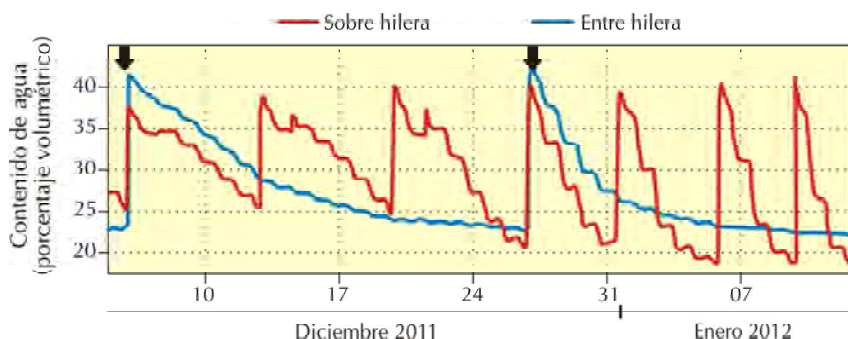


Figura 96. Variación del contenido de agua del suelo por extracción del sistema radicular en la sobrehilera (SH) y la entrehilera (EH), en el cv Thompson Seedless. Valle de Aconcagua. La flecha indica riego simultaneo SH y EH. El contenido de humedad fue medido mediante sondas FDR de seguimiento continuo (Selles *et al*, 2012).

Requerimientos de agua

Las necesidades reales de riego, o requerimientos brutos de agua de la uva de mesa, como cualquier especie cultivada en suelos regados, corresponden a la necesidad neta afectada por la eficiencia del método de riego utilizado (Peralta y Ferreyra, 1993). Al existir un déficit de humedad, el crecimiento vegetativo de la vid se ve disminuido en forma significativa y un exceso de agua en la zona radical durante el crecimiento puede producir problemas de aireación (Winkler, 1974).

La vid sobrevive largos períodos con escasa humedad disponible en el suelo (Smart, 1974; Torres, 1984; Tosso y Torres, 1986). La cantidad de agua que absorbe a lo largo de la temporada de crecimiento es muy variable, dependiendo del clima y de factores propios del cultivo, tales como desarrollo y del porcentaje de cobertura del suelo (sistema de conducción).

Estudios realizados en el valle de Aconcagua, utilizando lisímetros y métodos de balance de energía, permitieron determinar la evapotranspiración (ET_c) de un parronal sin restricciones hídricas, con un porcentaje de sombramiento superior al 85%, a nivel mensual y durante toda la temporada. La ET_c fue del orden de 8.000 m³/ha/ temporada, entre septiembre y marzo, (**Cuadro 38**). Casi el 60% de la ET_c de la temporada se produce entre cuaja y cosecha (**Cuadro 39**).

La estimación de la ET_c de la uva de mesa, en cualquier localidad se puede obtener a partir de la relación clásica:

$$ET_c = ET_o \times kc$$

Donde ET_o representa la demanda evaporativa de la atmósfera o evapotranspiración de referencia y kc corresponde al coeficiente de cultivo.

La ET_o se puede obtener a partir de información local, desde evaporímetros de bandeja clase A, o utilizando la ecuación de Penmann-Monteith (P-M). Los parámetros climáticos para utilizar la ecuación de P-M se obtienen desde estaciones meteorológicas automáticas. En Chi-

Cuadro 38. Consumo mensual (ETc) de agua de un parronal Thompson Seedless sobre patrón Harmony. Promedio de dos temporadas (2008/2009 y 2009/2010). Fundo El Guindal, Agrícola Brown. Valle de Aconcagua.

Mes	Etc (m ³ /ha)	% del total anual
Septiembre	202,32	2,49
Octubre	378,27	4,66
Noviembre	1344,66	16,55
Diciembre	1462,30	18,00
Enero	1630,70	20,07
Febrero	1875,35	23,08
Marzo	1230,25	15,14
Total	8123,85	100,00

le se encuentra disponible información en tiempo real generada por la red Agroclima (www.agroclima.cl) o en la red Agromet del INIA.

El coeficiente de cultivo (Kc) refleja las características propias de la especie vegetal que afectan el consumo de agua, tales como la arquitectura de la planta, el área foliar, la cantidad y grado de apertura de los estomas. Valores típicos de kc utilizados por productores y asesores de uva de mesa se presentan en el **Cuadro 40**, donde se relaciona kc con diferentes estado fenológicos.

Cuadro 39. Distribución de la evapotranspiración de un parronal de Thompson Seedless por estado fenológico.

Estado Fenológico	%ETc
Brotación-Cuaja	15,4
Cuaja-Pinta	30,2
Pinta-Cosecha	32,7
Cosecha-Fines Marzo	21,7

Es necesario tener presente sin embargo que no solo el estado fenológico afecta la magnitud del coeficiente de cultivo (kc). El coeficiente de cultivo está estrechamente relacionado con el porcentaje de intercepción solar del parronal, por lo cual el sistema de conducción y el vigor de la

Cuadro 40. Valores de k_c para distintas variedades de uva de mesa (Selles *et al*, 2000).

Estado fenológico	Thompson S., Red Globe	Flame S., Superior, Dawn S.
Antes de brotación	0,15	0,15
Inicio de brotación	0,20	0,20
Brote 40 cm	0,25	0,20
Brote 80 cm	0,30	0,20
Inicio floración	0,60	0,30
Baya 6mm	0,80	0,60
Baya 8 mm		0,80
Baya 10 mm	0,90	
Cierre de racimos	0,90	0,90
Inicio pinta	0,95	0,90
Inicio cosecha	0,80	0,70
Fin cosecha exportación	0,60	0,50
Fin cosecha país	0,50	0,50
Caída de hojas	0,15	0,15

planta es un punto importante a considerar en la determinación de la magnitud de K_c (ejemplo, la cruceta californiana, parrón español). En la medida que aumenta la cobertura de follaje (el porcentaje de sombreamiento), aumenta el coeficiente de cultivo. Así, a igual estado fenológico, plantas con mayor vigor y desarrollo foliar tendrán un mayor valor de K_c que plantas débiles con menor desarrollo de follaje.

Estudios recientes realizados en Aconcagua, en el cultivar Thompson Seedless, en lisímetros de balance hídrico y con métodos de balance de energía, muestran que el coeficiente de cultivo en uva de mesa está linealmente relacionado con el porcentaje de sombreamiento del suelo que produce el parronal, como se muestra en la **Figura 97**.

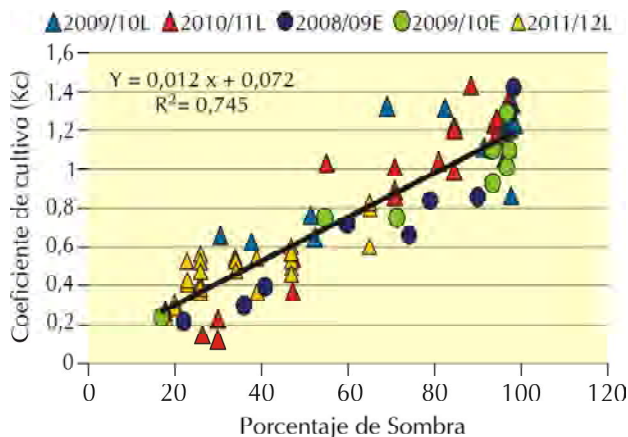


Figura 97. Relación entre el porcentaje de suelo sombreado a medio día y el coeficiente de cultivo obtenidos a partir del balance de energía con sistema Eddy (2008/2009 E y 2009/2010 E) y del balance hídrico medido con lisímetros (2009/2010 L, 2010/2011 L y 2011/2012 L) en predios El Guindal (Agrícola Brown) y Santa Griselda (Agrícola Don Ernesto). Valle de Aconcagua (Selles *et al*, 2012).

El valor de Kc queda definido como:

$$Kc = 0,012 \times S\% + 0,072$$

Donde: S% corresponde al porcentaje de sombra del parronal a medio día.

El uso de esta relación puede ser más adecuado que tener valores por estado fenológico, ya que considera características de vigor del parronal.

El porcentaje de de sombra a medio día, se puede obtener mediante el apoyo de fotografías referenciales como las que se muestran en la **Figura 98**.

Porcentaje de suelo mojado y umbral de riego

En muchas circunstancias, en particular en suelos de textura fina, con lluvias invernales, el uso de una línea de riego no es suficiente para

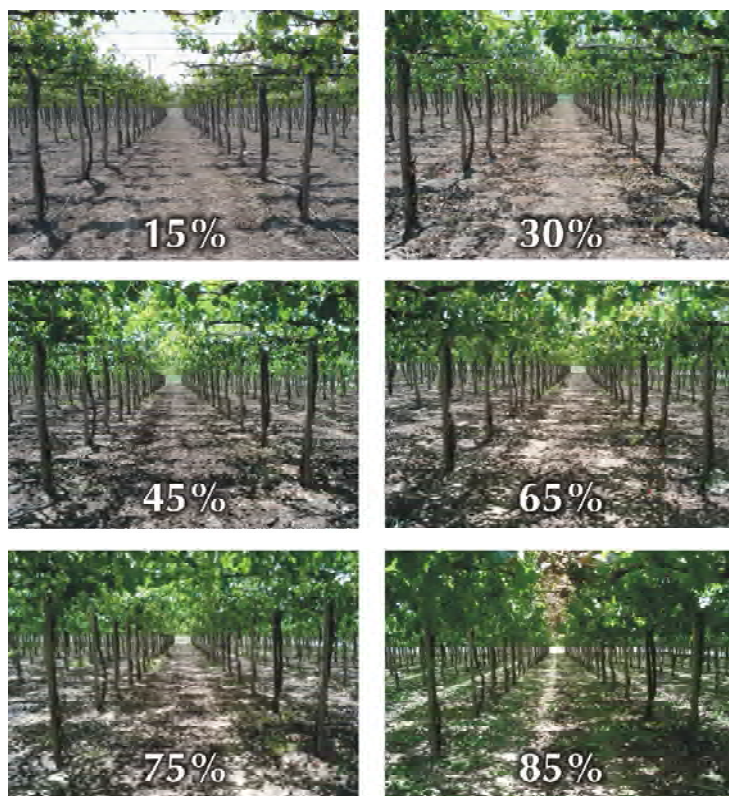


Figura 98. Porcentaje de sombra a medio día en un parronal en distintos estados de crecimiento.

mojar la mayor parte del volumen radicular, lo cual hace que el agua en la entre hilera se vaya agotando en el curso de la temporada, provocando un déficit hídrico acumulativo en las plantas lo que se refleja en una caída del potencial hídrico xilemático (**Figura 99**), esto ocurre aún cuando el volumen de agua que se aplique sea el adecuado

Producto del riego, el contenido de humedad en la sobrehilera se mantiene relativamente constante, cerca de capacidad de campo (línea azul). El contenido de humedad en la entrehilera (línea roja), disminuye a lo largo de la temporada por extracción radicular. El estado hídrico de la planta (PHx), se hace más negativo en el curso de la temporada, indicando déficit hídrico.

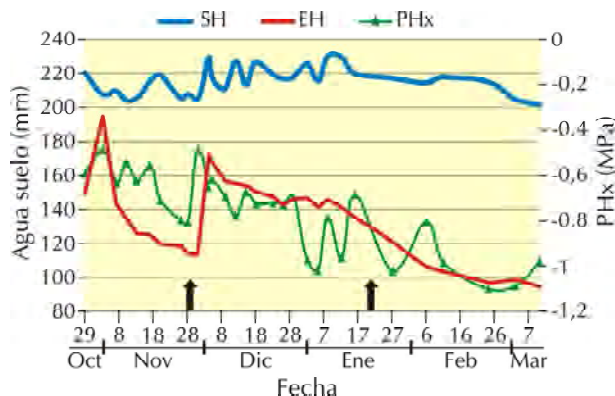


Figura 99. Evolución del contenido de humedad del suelo y el estado hídrico de la planta con una línea de riego por goteo en la hilera de plantas.

Una mejor distribución del volumen de agua aplicada mediante el uso de doble línea de riego o cambiando cada cierto tiempo la posición de la línea de riego hacia la entrehilera permite ampliar el área de suelo mojado. De esta forma se repone la humedad en la entrehilera, lo cual permite mantener un adecuado estado hídrico de las plantas a lo largo de la temporada.

Otro aspecto relevante, además del área de suelo mojada, tiene que ver con la frecuencia de riego. Trabajos previos realizados por INIA en el Valle de Aconcagua (Sellés *et al.*, 2003), demostraron que los riegos de frecuencia diaria no son los más adecuados para suelos de texturas finas. Riegos más distanciados, con mayores volúmenes de aplicación de agua en cada evento, permitieron que existiera un período de drenaje y aireación del suelo más adecuados, conduciendo a una mayor producción y calibre de bayas utilizando el mismo volumen de agua en la temporada. Por otra parte, se determinó que esta estrategia de riego permitió ampliar el tamaño del bulbo de humedecimiento.

Riegos de baja frecuencia implican realizar uso del agua almacenada en el suelo, por lo cual es necesario definir el valor de la fracción de agotamiento (valor p) del agua disponible total (ADT), antes de volver a regar, para no provocar un déficit hídrico.

Estudios empíricos realizados en el Valle de Aconcagua (**Figura 100**) muestran que este valor corresponde a un 30% de la ADT ($p=0,3$) en la sobre hilera de las plantas. De tal manera que el agua fácilmente aprovechable (AFA) queda definida como $AFA = 0,3 \times ADT$.

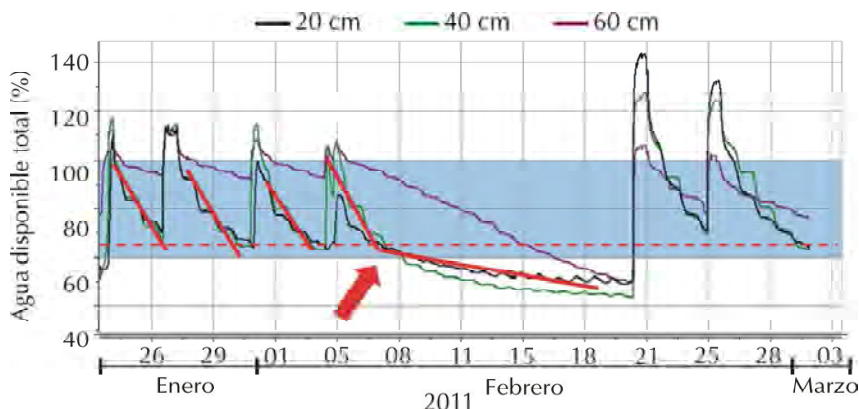


Figura 100. Variación de agua disponible total en el suelo a tres profundidades (20, 40 y 60 cm), en el cv. Thompson Seedless/Harmony. En la Figura se muestra la pendiente de extracción de agua, estableciendo un umbral de riego correspondiente a un agotamiento de 30% del agua disponible total (Selles *et al*, 2012).

Para reponer el agua en la entre hilera (movimiento de manguera) se determinó un nivel de agotamiento del 50% ($p=0,5$) del agua disponible total.

Efecto del déficit hídrico

Wample (1997), sostiene que de producirse un estrés hídrico entre brotación y floración, la primera sería desuniforme y se reduciría o, incluso, detendría el crecimiento de brotes. También es posible que el desarrollo de flores y la viabilidad del polen y los pistilos se reduzca. Se han apreciado deficiencias tempranas de zinc y boro como consecuencia de una inadecuada captación de estos elementos, producto a su vez del déficit hídrico. Este mismo autor señala que al producirse un estrés en floración, además de una disminución de la cuaja debida a la viabilidad del polen y pistilos, cambios hormonales asociados al estado hídrico de la planta podrían contribuir al aborto floral y abscisión

de racimos. Además, en ciertas variedades, la inducción de yemas florales para la temporada siguiente empieza dos semanas antes de plena flor y continúa por unas cuatro semanas, por lo que el déficit en este período puede resultar en un menor número de racimos por planta en la siguiente temporada. En tal sentido, en años secos, realizar riegos invernales que permitan iniciar la temporada con el suelo cercano a capacidad de campo puede ser importante para uniformar las brotación.

El período comprendido entre floración y pinta es considerado como el más sensible desde el punto de vista del riego. Hardie y Considine (1976), señalan que un déficit de humedad en el suelo entre floración y cuatro semanas post-antesis, produce las mayores pérdidas de producción, debido a una reducción en el número y tamaño de las bayas, situación que no se recupera, aún cuando se riegue adecuadamente después de este evento de estrés. Esto concuerda con lo señalado por Becker y Zimmermann (1984), quienes sometieron a plantas cultivadas en macetero a regímenes alternados de humedad, encontrando que las plantas que sufrieron un estrés antes de pinta y que, posteriormente, recibían riego normal no lograron el peso de baya de aquellas plantas que no presentaron estrés antes de pinta pero que fueron sometidas a restricción después de este período. También determinaron que el crecimiento vegetativo estaba influenciado muy fuertemente por el aporte hídrico entre brotación y pinta.

En general, no es recomendable regar deficitariamente durante el establecimiento de la masa foliar, ni durante la fase I de crecimiento del fruto, ya que se pierde tamaño final. Durante este período las bayas adquieren cerca del 80% del tamaño final de la baya.

Sin embargo, Peacock y Dokoozlian (1997), evaluaron el efecto del déficit hídrico aplicado, en variedades rojas, a partir de seis y diez semanas antes de cosecha; sobre el color del fruto, producción y crecimiento de la planta y ambos tratamientos mejoraron significativamente el desarrollo del color del fruto y aumentaron el contenido de azúcar en comparación con plantas regadas con el 100% de la ETc durante toda la temporada, sin embargo reducciones excesivas de agua, o no regar, durante este período conduce a una reducción del diámetro de las bayas.

En variedades blancas, como es el caso del cultivar Thompson Seedless, aplicaciones de agua equivalentes al 60% de la ET_c durante toda la temporada produjeron bayas de menor calibre que aplicaciones mayores de agua (**Figura 101**).

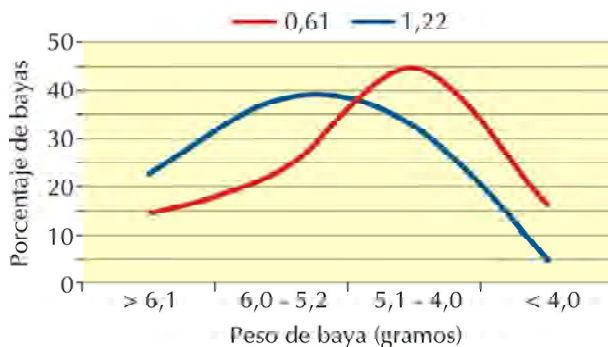


Figura 101. Distribución de calibre de bayas a la cosecha en el cultivar Thompson Seedless, en el valle de Aconcagua. 0,6 aplicaciones de agua equivalentes al 60% de ET_c durante toda la temporada. 1,22 aplicaciones de agua equivalentes al 122% de la ET_c durante toda la temporada. Valor promedio de temporadas 2007/2008 a 2010/2011 (Selles *et al*, 2012).

Aplicaciones reducidas de agua en variedades blancas, como el caso de Thompson Seedless, no solo pueden afectar el tamaño de la fruta, sino también el color, debido a la disminución del porcentaje de sombra que se genera en el parronal (**Figura 102**). Con porcentajes de sombra inferiores 70% los racimos con golpe de sol aumentan significativamente (Selles *et al*, 2010).

Existen varios estudios realizados en uva de mesa que relacionan la cantidad de agua aplicada con los rendimientos (Williams *et al*, 2009, Netzer *et al*, 2009, Vita *et al*, 2004, Ferreyra *et al*, 2006, Selles *et al*, 2012.) En todos estos trabajos se observó que incrementos en los volúmenes de agua aplicados tienen como respuesta un aumento en la producción de uva de mesa, pero esta relación no es lineal porque a partir de un determinado porcentaje de satisfacción de la demanda hídrica de las plantas (% de ET_c), los incrementos de producción son menores frente a cantidades de agua crecientes (**Figura 103**).

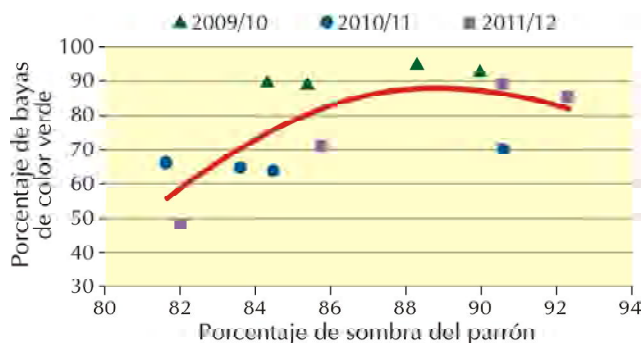


Figura 102. Relación entre el porcentaje de sombra del parronal y el porcentaje de bayas verdes. Cultivar Thompson Seedless, Valle de Aconcagua.

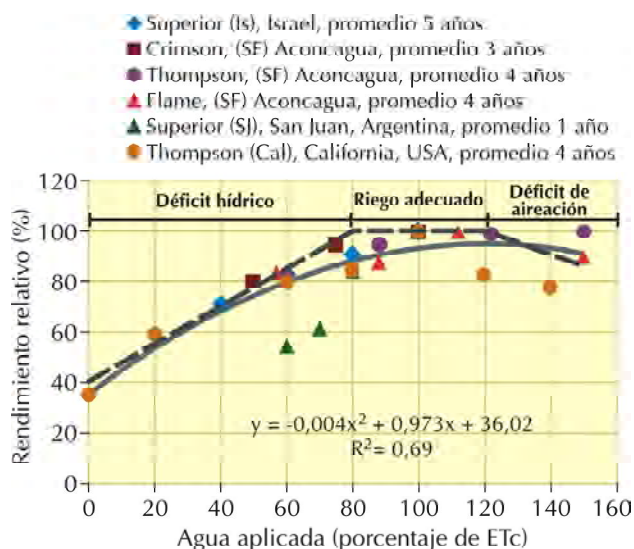


Figura 103. Relación entre el porcentaje de agua aplicada (Porcentaje de ETc) y el porcentaje de producción de uva de mesa. Superior (Is) Israel; (SF) Aconcagua; (SJ) San Juan; (CI) California. (Selles *et al*, 2012).

En la Figura 103, se puede observar que existe un incremento lineal de la producción hasta aplicaciones de agua equivalentes a 80% de la ETc. Entre 80 y 120% de la ETc no se aprecia un claro aumento de rendimientos, sino más bien la producción se estabiliza en torno a la producción máxima de cada caso. Aplicaciones superiores a 120% de la ETc presentan una tendencia a reducción de rendimientos. De esta forma, en la Figura 103 se pueden establecer tres zonas: una zona de déficit hídrico, una zona óptima y una zona de exceso de agua o déficit de aireación.

La primera zona de déficit hídrico, se genera con aplicaciones de agua, durante toda la temporada, inferiores a 80% de la ETc del cultivo, produciéndose una disminución de los rendimientos y de los calibres de las bayas a cosecha. En estas condiciones también se afecta el peso seco de material de poda, disminuyendo la calidad y cantidad de cargadores para las temporadas siguientes. Incluso estrés severos pueden disminuir el número de racimos por planta (Williams *et al.*, 2009).

La zona de déficit de aire (exceso de agua), se genera con aplicaciones de agua por sobre 120% de la ETc, donde los rendimientos disminuyen por deficiencia de aire en el suelo. Trabajos realizados por INIA en plantas del cv Thompson Seedless injertada sobre diferentes patrones (Ferreira *et al.*, 2011) en condiciones controladas, muestran que tanto el comportamiento fisiológico como el crecimiento vegetativo se ven afectados por el contenido de aire del suelo. Por ejemplo, contenidos de aire inferiores a 15% afectan la apertura estomática y el porcentaje de sombreadamiento o índice de área foliar (IAF). El peso de poda de las plantas se ve afectado con contenidos de aire en el suelo, inferiores a 11%. Sin embargo, el grado de respuesta varía según el patrón utilizado. Aplicaciones excesivas de agua también pueden provocar una disminución de la fertilidad de yemas por exceso de crecimiento vegetativo, lo cual afecta negativamente la producción (Williams *et al.*, 2010 b).

Finalmente, la Figura 103 muestra que la máxima producción se obtiene con aplicaciones de agua entre 80 y 120% de la ETc del cultivo. Con aplicaciones de agua de esta magnitud se encuentran probablemente las mejores condiciones de equilibrio entre agua y aire del suelo y un buen equilibrio entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo

que permite obtener los mejores rendimientos y distribución de calibre de bayas a la cosecha.

Muchas veces, el período posterior a cosecha del parrón es descuidado como estado de crecimiento y se pone poca atención a la aplicación de los riegos y/o fertilización en esta etapa de desarrollo. Si bien es cierto, ya no se puede afectar la producción directamente como lo indica un estudio realizado por el INIA en donde una reducción de un 50% del agua aplicada posterior a la cosecha, no afectaría los rendimientos de la temporada siguiente, es importante recordar que esta es la época normal para el crecimiento de raíces, (Figura 90 y 93) y de reposición de las reservas alimenticias (carbohidratos y aminoácidos) a nivel de yemas, tronco y raíces, y que puede tener una incidencia importante en la brotación de la próxima temporada.

Déficit hídrico y desórdenes fisiológicos

El cultivo de la vid en parronal, debido a su menor densidad de plantación, exige a cada planta un crecimiento y producción muy superior a otros sistemas de conducción. Con el fin de maximizar el crecimiento y la rápida entrada en producción de la vid, comúnmente se incurre en una excesiva fertilización nitrogenada durante el período de formación de las plantas, provocando algunos problemas como excesivo crecimiento vegetativo, insuficiente lignificación de la madera y un retraso en la entrada en producción (Retamales y Razeto, 1985).

En el caso de vides de mesa, existen diversos factores, tales como el excesivo crecimiento vegetativo y la elevada humedad del suelo, que predisponen a desórdenes fisiológicos entre los cuales se encuentra el desecamiento del escobajo, comúnmente conocido como "palo negro" (Pérez *et al.*, 1987). Este desorden afecta la calidad de la uva de mesa dejándola inapropiada para fines comerciales. Las reducciones de la producción de la variedad Sultanina, una de las más susceptibles (Aguilera, 1994), puede variar de un 25 a un 40%. Algunas investigaciones indican que el palo negro está asociado a excesos de amonio a nivel del raquis, producto de un exceso de vigor. Un déficit hídrico, al disminuir el crecimiento vegetativo de plantas vigorosas, estaría contribuyendo a disminuir la aparición de palo negro. Además, mantener

un nivel de humedad lo más uniforme posible durante la temporada está dentro de las prácticas de manejo recomendadas para aliviar los efectos de este desorden.

Un estudio en Sultanina, llevado a cabo por el INIA, evaluó los posibles efectos de la cantidad de agua aplicada y la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y la frecuencia de aparición de palo negro. El ensayo consistió en aplicar tres regímenes hídricos (100, 50 y 25% de reposición de la ETc) y cuatro tratamientos de fertilidad (F1: N alto, fuente ácida; F2: N alto, fuente níttrica; F3: N normal, fuente ácida y F4: N normal, fuente ácida más fósforo). Los resultados de la primera temporada de experimentación indicaron que el crecimiento vegetativo fue significativamente mayor en tratamientos con 100% de reposición de la ETc, sin existir una clara influencia de la fertilización. El porcentaje de aparición de palo negro fue mayor en los tratamientos de fertilidad con fuente ácida, asociado al tratamiento más húmedo.

7.11 Vid vinífera

La vid gracias a su sistema radical, que le permite explorar un gran volumen de suelo, posee una alta resistencia a la sequía. No obstante, dentro del manejo agronómico de este cultivo, el riego es uno de los factores productivos más relevantes. En el caso de vides para vinificación, se han hecho estudios que indican que un déficit de agua produce



cambios importantes en el crecimiento vegetativo, en la productividad y en la composición del fruto que, posteriormente, influye en la calidad del vino. La regulación del riego en la viña es un buen método de control del crecimiento vegetativo, del rendimiento total en uva, y de la calidad de las bayas que se obtienen.

Crecimiento vegetativo y reproductivo

En condiciones de humedad adecuada, la tasa de crecimiento del brote es muy alta al inicio de la temporada, siendo máxima cerca del período de floración, luego disminuye rápidamente hasta el momento de la cosecha. El crecimiento del fruto forma una curva en la que se distinguen tres etapas (**Figura 104**).



Figura 104. Crecimiento y desarrollo de bayas de la vid y su sensibilidad a la restricción hídrica.

La etapa I corresponde al período inicial, en el que se produce un rápido crecimiento por división y expansión celular. Se caracteriza por el crecimiento de la semilla y el pericarpio y un pequeño desarrollo del embrión. La división celular del pericarpio ocurre hasta tres semanas después del momento en que se produce floración (antesis) y luego es seguida por la expansión celular. Esta etapa, en que hay una gran acumulación de ácidos y una alta tasa respiratoria, dura aproximadamente entre 40 y 60 días.

La etapa II se caracteriza por un gran crecimiento del pericarpio y por la maduración de la semilla. El contenido de clorofila, la fotosíntesis y la tasa respiratoria disminuyen. La acidez titulable alcanza su máximo. Aunque el metabolismo en general disminuye, el desarrollo del embrión es rápido y casi siempre alcanza su máximo tamaño durante esta etapa. La baya se mantiene firme y verde hasta el final de la misma. Dura entre 7 y 40 días, lo que determina la maduración temprana o tardía del cultivar.

En la etapa III la baya pierde firmeza y comienzan a aparecer los pigmentos antocianos (pinta) para desarrollar el color típico del cultivar. El rápido crecimiento en este período es debido solamente a la expansión celular. Las bayas alcanzan su máximo tamaño y maduran. Hay una reducción de la respiración, progresiva acumulación de azúcar y disminución de la acidez titulable. Dura entre 35 y 55 días.

Requerimientos hídricos

En relación al requerimiento total de agua durante la temporada de crecimiento de la vid, antecedentes señalan que al inicio de la brotación sus necesidades son mínimas, 1,5% del total, lo mismo que en la floración, en que tampoco exceden del 1,5%. Desde floración hasta la cuaja, consume el 10%. De la cuaja al estado de pinta, el 43% y de pinta a madurez del fruto, cerca del 44% de sus necesidades totales. Según algunos autores un déficit de agua durante la brotación, que puede ocurrir en inviernos de baja pluviométrica, hace que esta sea lenta e irregular y que queden yemas sin brotar. En el crecimiento inicial, provoca un desarrollo lento y brotes débiles. En floración y cuaja, el déficit de agua produce una floración irregular y corredura de los racimos. Entre cuaja a pinta, los granos resultan pequeños y los rendimientos son bajos. Por último, un déficit durante la diferenciación es causa de una mala producción al año siguiente. La diferenciación ocurre antes de la pinta.

Hay numerosos antecedentes que afirman que un déficit hídrico controlado (RDC) produce cambios significativos en el crecimiento vegetativo (Schultz y Matthews, 1993; Poni *et al*, 1994; Ussahatanonta *et al.*, 1996); en la composición química de las bayas (Jackson y Lombard, 1993; Reynolds y Naylor, 1994 Ferreyra *et al* 2002) y en la calidad del vino producido.

Existe acuerdo en que un RDC produce una mejora de la calidad del vino, al disminuir el crecimiento vegetativo y favorecer la iluminación de los racimos, lo que aumenta la producción de fenoles y mejora la relación piel/pulpa.

Cuándo debo aplicar el RDC

La mayoría, de los estudios coinciden en que el estrés hídrico aumenta el contenido de fenoles en la baya. Los fenoles pertenecen a dos grandes grupos: los ácidos fenólicos y los flavonoides. Al segundo grupo pertenecen las antocianinas y antoxantinas, responsables del color, y las catequinas y leucoantociantinas que dan origen a los taninos del vino. En general se ha visto que los fenoles aumentan cuando el estrés se da antes de pinta o después de pinta. En este sentido, varias investigaciones señalan que, a mayor rendimiento, menor es la concentración de fenoles.

En investigaciones realizadas en Israel, por Bravdo y Naor (1997) encontraron vinos tintos de mejor calidad con vides que fueron sometidas a déficit moderado durante toda la temporada. Sin embargo dependiendo del período fenológico en que se aplique el déficit hídrico es el mayor o menor efecto que se puede lograr en el rendimiento, tamaño de las bayas, concentración de fenoles, acidez y antocianos.

En el **Cuadro 41** se observa el efecto de RDC, en diferentes períodos de desarrollo de la vid Cabernet Sauvignon en el Valle de Maipo, sobre la producción y tamaño de bayas. El mayor efecto sobre el tamaño de las bayas se obtiene cuando el déficit hídrico se aplicó entre cuaja y pinta, esto debido a que durante este período se produce la división celular (Figura 104), por lo cual, la falta de agua en este período disminuye el número de células de las bayas. Déficit hídrico entre pinta y cosecha afecta la elongación celular por lo cual RDC en este período afecta en menor medida el tamaño de la fruta (Figura 104).

Por otra parte, en el **Cuadro 42** y **Figura 105** se observa que un estrés hídrico aumenta el contenido de fenoles (flavonoles, procianidinas, taninos y los antocianos), sin embargo, cuando el estrés ocurre entre pinta y cosecha, aumentan en mayor magnitud los antocianos y, en menor medida, la concentración de los otros fenoles, al contrario que cuando el déficit se produce entre cuaja y pinta (Ojeda 1999 y Ferreyra *et al.*, 2002).

Cuadro 41. Efecto del déficit hídrico en el rendimiento y crecimiento de las de la vid cv. Cabernet Sauvignon, en el Valle del Maipo.

RDC	Agua aplicada (m ³ /ha)		Rendimiento (Ton/ha)		Diámetro de bayas (mm)	
			94/95	95/96	94/95	95/96
Sin déficit hídrico	4,480	4,414	21,4a	22,6a	11,34a	10,02a
Riego con un 40% ETc durante toda la temporada	1,763	1,775	16,5b	16,4b	10,30b	9,00b
RDC-1 entre Cuaja a pinta	1,709	1,712	16,9b	11,8c	9,52b	8,50b
RDC-2 entre Pinta a cosecha	2,699	2,701	15,2b	11,1c	10,44ab	10,01a

Ferreira *et al.*, 2002. RDC = riego deficitario controlado, ETc = evapotranspiración del cultivo, RDC-1 y RDC-2 = durante el período que se aplicó este RDC solo se regó si los potenciales sobrepasaban los -1,2 MPa.

Cuadro 42. Efecto del déficit hídrico en la composición del vino Cabernet Sauvignon, en el Valle del Maipo.

RDC	Fenoles Totales (DO 280 mm)		Antocianinas (mg/l)		Acidez Total (gr ácido sulfúrico/l)	
	94/95	95/96	94/95	95/96	94/95	95/96
Sin déficit hídrico	0,57b	0,51b	722c	700c	4,42b	5,12c
Riego con un 40% ETc durante toda la temporada	0,72a	0,74a	842a	823b	4,47ab	5,59b
RDC-1 entre Cuaja a pinta	0,75a	0,77a	801b	841b	4,34b	5,64b
RDC-2 entre Pinta a cosecha	0,68a	0,72a	831a	948a	4,51a	6,52a

Ferreira *et al.*, 2002. RDC = riego deficitario controlado, ETc = evapotranspiración del cultivo, RDC-1 y RDC-2 = durante el período que se aplicó este RDC sólo se regó si los potenciales sobrepasaban los -1,3 MPa.

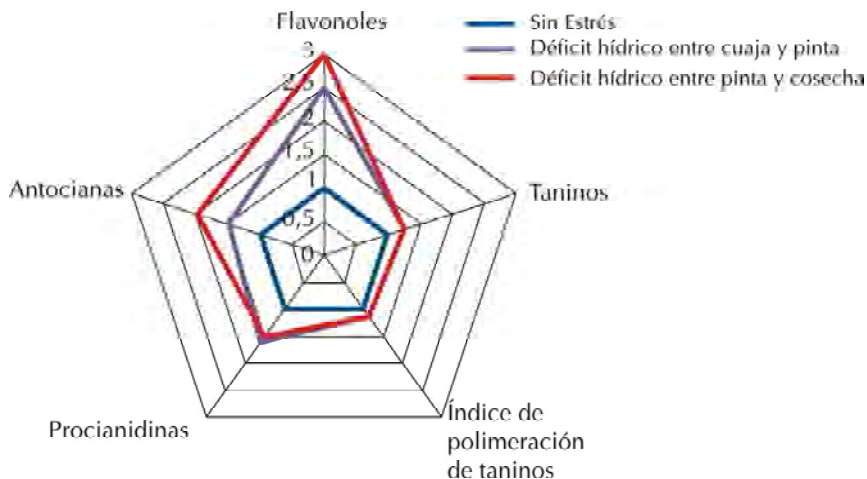


Figura 105. Efecto del déficit hídrico en el contenido relativo de fenoles de las bayas de Syrah (Ojeda, 199).

La falta de agua durante el período de inducción floral (que ocurre entre floración y pinta) puede afectar de manera considerable la floración de la temporada siguiente (Matthews y Anderson, 1989).

Es necesario indicar que un déficit hídrico entre pinta a cosecha afectan en mayor medida la acumulación de reservas en la raíces. Selles *et al.* (2003), indican que, después de tres temporadas de aplicación de RDC en diferentes períodos fenológicos, las vides que recibieron menos agua entre pinta a cosecha presentan los menores niveles de almidón en la raíces, no estabilizándose en el tiempo. Lo anterior indica que las plantas siguen perdiendo vigor de un año a otro (**Cuadro 43**).

En resumen, cuando queremos aumentar los fenoles conviene aplicar el estrés entre cuaja y pinta y, cuando queremos aumentar los antocianos o acidez, conviene aplicar el RDC entre pinta y cosecha. Sin embargo, es necesario indicar que en predios donde los suelos retengan mucha humedad y existan altas precipitaciones invernales, es difícil producir un estrés en el período entre cuaja a pinta. Por lo cual, en muchos lugares tenemos como alternativa la implementación de un déficit moderado durante toda la temporada. El déficit hídrico debe ser controlado sobre todo cuando se aplica entre pinta y cosecha, ya que un déficit durante

Cuadro 43. Efecto del déficit hídrico en el nivel de reservas de carbohidratos en las raíces de la vid var. Chardonnay, en el Valle del Casablanca.

RDC	Agua aplicada (m ³ /ha) Promedio	Almidón (%)	
		99/00	2000/01
Sin déficit hídrico	4,041	31,9 a1	28,9 a
Riego con un 40% ETc durante toda la temporada	1,694	24,8 b	24,1 b
RDC-1 entre Cuaja a pinta	1,579	22,4 b	23,2 b
RDC-2 entre Pinta a cosecha	2,433	19,1 b	16,1 c

Selles *et al.* (2003). RDC = riego deficitario controlado, ETc = evapotranspiración del cultivo RDC-1 y RDC-2 = durante el período que se aplicó este RDC solo se regó si los potenciales sobrepasaban los -1.3 MPa.

este período puede disminuir en demasía el vigor de las plantas, al afectar severamente las reservas de carbohidratos en las raíces.

Los antecedentes presentados muestran que el riego es una herramienta útil para modificar algunas de las cualidades de la materia prima. Sin embargo, se debe controlar la magnitud del estrés hídrico (RDC) de modo de evitar que las plantas sean sometidas a un déficit hídrico muy severo.

¿Es posible utilizar RDC en vides para vinos blancos?

La estrategia RDC es más aplicable a las variedades tintas que a las blancas, ya que para estas últimas el control del crecimiento vegetativo y el tamaño de la baya se considera menos importante. Trabajos realizados por Selles *et al.* (2003), en Casablanca, en vides cv Chardonnay, muestran que el riego deficitario controlado tiene efecto sobre el rendimiento y tamaño de la bayas, pero no sobre la calidad del vino. En los **Cuadros 44 y 45** se presenta el efecto de diferentes manejos de riego en el rendimiento, crecimientos y composición química del vino de las vides var Chardonnay en el valle de Casablanca. En resumen, en vinos blancos los efectos RDC no son tan claros como en la producción de vinos tintos.

Cuadro 44. Efecto del déficit hídrico en el rendimiento y crecimiento de las de la vid cv. Chardonnay, en el valle de Casablanca.

RDC	Agua aplicada m ³ /ha	Rendimiento (Ton/ha)			Diámetro de bayas (mm)		
		98/99	99/00	00/01	98/99	99/00	00/01
Sin déficit hídrico	4.041	11,0a	20,0a	14,4a	12,6a	13,2a	12,3a
Riego con un 40% ETC durante toda la temporada	1.694	11,0a	14,6b	12,6b	12,4a	12,5b	11,8ab
RDC-1 entre Cuaja a pinta	1.579	8,9a	11,4c	8,8c	11,7b	12,1c	11,6b
RDC-2 entre Pinta a cosecha	2.433	10,2a	15,2b	12,4b	11,9b	13,2a	12,3a

Selles *et al.* (2003). RDC = riego deficitario controlado, ETC = evapotranspiración del cultivo RDC-1 y RDC-2 = durante el período que se aplicó este RDC solo se regó si los potenciales sobrepasaban los -1.3 MPa.

Cuadro 45. Efecto del déficit hídrico en la composición química del vino Chardonnay, en el Valle de Casablanca.

RDC	Fenoles Totales (DO 280 mm)			Acidez Total (gr ácido sulfúrico/l)		
	98/99	99/00	00/01	98/99	99/00	00/01
Sin déficit hídrico	0,95a	0,76a	0,58a	5,3a	5,9ab	3,8a
Riego con un 40% ETC durante toda la temporada	0,96a	0,76a	0,62a	4,1a	5,5ab	3,9a
RDC-1 entre Cuaja a pinta	0,91a	0,80a	0,60a	5,0a	5,0b	3,9a
RDC-2 entre Pinta a cosecha	0,91a	0,78a	0,63a	4,4a	5,2ab	4,0a

Selles *et al.* (2003). RDC = riego deficitario controlado, ETC = evapotranspiración del cultivo, RDC-1 y RDC-2 = durante el período que se aplicó este RDC sólo se regó si los potenciales sobrepasaban los -1.3 MPa.

En conclusión la aplicación de RDC puede resultar en una cosecha más temprana, una mayor acidez titulable, un aumento de los fenoles y antocianinos, con poca pérdida de racimos debido a deshidratación y plantas con un vigor controlado estable en el tiempo.

7.12 Arándano

En Chile los rendimientos del cultivo del arándano bajo condiciones ambientales favorables, se pueden mantener por sobre las 25 ton/ha. Sin embargo, el rendimiento promedio de los huertos adultos están alrededor de las 6 ton/ha.



El arándano presenta problemas para su desarrollo en suelo con baja macroporosidad; alta densidad aparente y pH básicos, debido a que han evolucionado en suelos con alta materia orgánica y alta pluviometría.

En resumen, los suelos con alta macroporosidad, y de pH ácidos presentan condiciones ambientales favorables para el desarrollo de este cultivo. No obstante en Chile, una superficie importante, especialmente en la zona Centro - Norte, están establecidos en suelos de texturas finas, de baja macroporosidad y pH básicos, que junto a un mal manejo de riego generan problemas de asfixia radicular y clorosis férrica, situación responsable en gran medida de los bajos niveles de producción.

Otros factores de estrés que inciden en la baja productividad del arándano, son la fertilización, poda, etc, pero sin duda, el mal manejo del riego asociado a suelos limitantes, (condiciones ambientales desfavorables), es el factor más importante en la productividad de este cultivo.

Los problemas antes indicado, se podrían enfrentar mejorando las características físico - químicas del suelo a través de la utilización de sustratos y técnica de manejo de riego que optimicen el pH y la relación agua - aire en la zona de raíces.

Manejo del suelo

Las características físicas y químicas del suelo afectan tanto el crecimiento del cultivo como el de las raíces. El crecimiento radicular se ve afectado por el número y tamaño de los poros del suelo, los cuales a su vez influyen en la resistencia mecánica al crecimiento de las raíces, en la aireación y en la retención de humedad del suelo.

El arándano en sus orígenes se desarrollo en suelos de baja densidad aparente, 0,5-0,8 g/cm³, alta macroporosidad, alrededor del 46%, alto contenido de materia orgánica y pH ácidos, entre 4,5 a 6. El arándano requiere para su desarrollo de suelos ácidos (pH 4,5-5,2), con alto contenido de materia orgánica (MO) (20-50%).

En el sur de Chile las plantaciones de arándano están ubicadas principalmente en suelos de orígenes volcánicos con densidades aparentes del orden de 0,8 g/cc; macroporosidades entre los 30 a 45% y pH entre 5 a 6. En la zona central los arándanos se plantan en suelo con densidades aparentes entre 1,3 a 1,5 g/cm³ y con macroporosidad baja del orden del 15% a 20% y pH entre 6,5 y 8, lo que obliga a realizar cambios en el sustrato de plantación dependiendo de las características inicial del suelo.

Se adapta a una amplia gama de climas y la principal restricción se relaciona con el requerimiento de frío.

Además de los requerimientos de suelos y de clima, el arándano requiere para un buen desarrollo y producción, aguas de riego de pH < 7,0 y con contenidos de bicarbonato (HCO⁻) < 1,5 mmol L⁻¹, de sodio (Na⁺) < 2,0 mmol L⁻¹ y de cloruro (Cl) < 4,0 mmol L⁻¹ (Wright *et al.*, 1994).

En la zona central y norte de Chile existen las condiciones de clima adecuadas para el cultivo del arándano, pero la mayoría de los suelos no cumplen los requisitos de pH; de porosidad, y las aguas de riego generalmente tienen características químicas que superan los límites recomendados. Para eliminar las restricciones de suelos, se puede mezclar el suelo de la zona de raíz con algún sustrato (aserrín); de forma de mejorar su macroporosidad; aplicar ácido de acuerdo a curva de titulación si es necesario, preferentemente antes de la plantación, para eliminar los carbonatos alcalinos - terreos presentes en el suelo y por último si el agua de riego no es adecuada, acidularla para disminuir el pH; el contenido de HCO_3 y atenuar los efectos adversos del Na y del Cl por el aumento en la concentración de sulfato (SO_4) en el agua.

Trabajos realizados por Soto 1993, en arándano ojo de conejo var. Beckyblue muestran que el crecimiento vegetativo y radicular del arándano está relacionado con la macroporosidad del sustrato donde crecen las raíces (**Figuras 106, 107 y Foto 40**). Este autor indica que sustratos con macroporosidades inferiores al 45% afectan el crecimiento de las plantas y el desarrollo radicular. La cantidad de raíz en suelos con 45% de macroporos fue casi 45% más alta que la que se obtienen en sustratos con macroporosidades del 15% (Figura 106). Una explicación para esto podría ser el mejor nivel de oxígeno que presentan los suelos de alta macroporosidad.

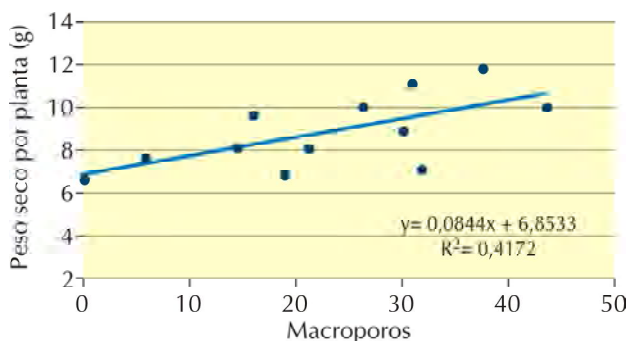


Figura 106. Efecto de la macroporosidad en el crecimiento del arándano ojo de conejo var. Beckyblue (Soto 1993).

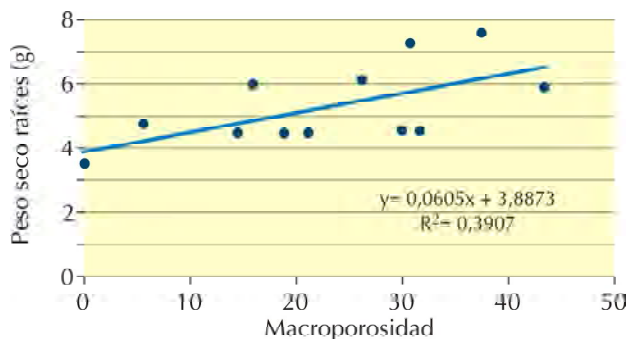


Figura 107. Efecto de la macroporosidad en el crecimiento de las raíces del arándano ojo de conejo var. Beckyblue (Soto 1993).



Foto 40. Desarrollo radicular del arándano ojo de conejo var. Beckyblue, en suelo con distinta macroporosidad (Soto 1993), a la izquierda: baja macroporosidad, y a la derecha: alta macroporosidad.

Por otra parte, Spiers 1986, señala, para sus condiciones, que el mayor efecto en el desarrollo radicular se debe al sustrato y en segundo lugar al riego. Pero cuando se optimizan ambos se logran los mejores resultados (**Cuadro 46**). Spiers (1986) analizó, en un estudio de campo en Mississippi, Estados Unidos, el efecto individual y colectivo de tres prácticas para mantener el contenido de humedad y aire en el suelo (riego, turba incorporada y mulch). Al evaluar el efecto de estas prácticas so-

propiedades física del suelo alcanzada con esta labor se pierde en el tiempo, sobre todo en la zona centro - norte. Por lo cual es necesario aplicar aserrín u otro sustrato en forma periódica en superficie. Se pueden utilizar como mulch el aserrín, cortezas, chips o paja, esparcidos bajo los arbustos con un espesor de 15-20 cm. La adición de aserrín al suelo produce una disminución de la salinidad y un significativo incremento de la materia orgánica, sin embargo, la capacidad de intercambio cationico no aumenta. Esto indica que la materia orgánica aportada por el aserrín no posee grupos activos para la absorción de cationes.

En el **Cuadro 47** se presentan las características físicas de diferentes sustratos y en la **Figura 108** como un suelo franco (Mollisol aluvial calcáreo) varía sus características físicas al aplicarle aserrín. Es necesario indicar que es recomendable, dentro de lo posible, escoger suelo con alta macroporosidad para plantar arándano de forma que la cantidad de enmienda (aserrín) a aplicar no sea tan alta, debido al costo que implica esta labor.

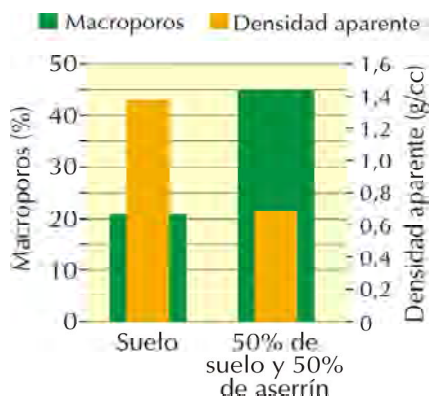


Figura 108. Efecto aplicación de aserrín sobre las características físicas de un suelo franco (Mollisol aluvial calcáreo).

Cuadro 47. Características físicas de diferentes sustratos.

Sustratos	Dr (g/cc)	Da (g/cc)	Porosidad total %	Macroporos %
Granito Molido	2,39	1,28	46,4	
Corteza pino	1,32	0,28	78,7	
Aserrín	1,26	0,15	88,0	
Suelo Trumao	2,4	0,8	66,7	38,7
Suelo Arenoso	2,64	1,65	37,5	22,6
Suelo Franco	2,64	1,4	47,0	16,2
Suelo Arcilloso	2,64	1,25	52,6	8,9

Características Químicas del suelo

En la zona central y norte de Chile existen las condiciones de clima adecuadas para el cultivo del arándano, pero la mayoría de los suelos no cumplen los requisitos de pH, y las aguas de riego generalmente tienen características químicas que superan los límites recomendados, lo que produce clorosis ferrica y disminución de rendimientos. Para eliminar las restricciones química del suelo, se puede aplicar ácido de acuerdo a curva de titulación si es necesario, preferentemente antes de la plantación, para eliminar los carbonatos alcalinos - terreos presentes. Para utilizar aguas que tienen pH mayor a 7 es recomendable acidularla para disminuir el contenido de HCO_3 y atenuar los efectos adversos del Na y del Cl por el aumento en la concentración de sulfato (SO_4) en el agua.

Ferreira *et al*, 1998, aplicó diferentes ácidos para eliminar en un suelo Mollisol aluvial calcáreo los carbonatos alcalinos - térreos (**Cuadro 48**). Ninguno de los ácidos aplicado por Ferreira el al 1998 logro disminuir, el pH del suelo a 5,0 según lo calculado en la curva de titulación. El rango vario entre el ácido fosfórico, que fue el más efectivo para disminuir el pH, y el ácido cítrico, que no modifico el pH del suelo, esto se debe a que la cantidad de ácido agregada no fueron suficiente para disolver todos los carbonatos alcalino-terreos del suelo. Al acidificar el suelo aumenta la conductividad eléctrica acorde con la capacidad de cada ácido para formar sales ionizables en solución acuosa (Cuadro 48).

En relación a los macronutrientes, todos los ácidos prácticamente duplican el potasio disponible. El nitrógeno disponible aumento con todos los ácidos excepto con ácido cítrico, y el fósforo disponible aumenta con ácido sulfúrico, ácido nítrico y, obviamente con ácido fosfórico (Cuadro 48).

Entre los micronutrientes, los contenidos de hierro y manganeso disponible aumentaron fuertemente con la aplicación de ácidos, en cambio la disponibilidad de cobre y zinc se afecto en menor medida.

Cuadro 48. Efecto de la aplicación de diferentes ácidos sobre las características químicas del suelo Mollisol aluvial calcaéreo.

Característica química	Unidades	Testigo	Ácido				
			sulfúrico	acético	nítrico	fosfórico	cítrico
pH		8,1	6,2	6,3	6,1	6	8,2
CE	dS/m	2,4	8,5	35,7	43,3	5	5,9
M.O.	%	3,9	3,6	4	3,5	3,1	4,7
Ca soluble	mmol+/L	7,8	16,5	53,3	21	12,5	21,9
Mg soluble	mmol+/L	1,3	32,5	32,9	27,8	7,9	7,5
Na soluble	mmol+/L	7	10,6	11,8	8,3	7,7	4,6
HCO ₃ soluble	mmol-/L	1,5	1,3	8,4	1	1	11
Cl soluble	mmol-/L	7,6	15,1	31,5	9,7	9,4	8,7
SO ₄ soluble	mmol-/L	6	13,5	19,4	26	11	1,7
B soluble	mg/L	1,6	1,7	2,9	5,8	1,4	1,4
N disponible	mg/kg	41	180	143	2.951	141	20
P disponible	mg/kg	104	122	80	143	352	93
K disponible	mg/kg	288	500	560	470	470	530
Fe disponible	mg/kg	32	194	78	99	46	86
Mn disponible	mg/kg	32	240	134	126	96	100
Cu disponible	mg/kg	6,8	8,6	6,4	8	10	8,6
Zn disponible	mg/kg	3,1	6,1	5,7	4,6	4,1	3

Ferreya *et al*, 1998.

De los trabajos de Ferreyra *et al*, 1998, se puede concluir que, los ácidos nítrico, acético, sulfúrico y fosfórico son efectivos en bajar el pH del suelo, pero los dos primeros aumentaron la conductividad eléctrica a niveles restrictivos para el desarrollo vegetal. El ácido fosfórico tiene la ventaja que aporta fósforo. El ácido sulfúrico es más abundante en el país y de menor precio, por lo que sería el más adecuado para este propósito.

Por otra parte, Ferreyra *et al*, 1998, muestra que es posible en un suelo Mollisol aluvial calcáreo, al cual previamente se le han eliminado los carbonatos alcalino-térreos y cuya agua de riego originalmente tiene un pH 7,8, mantener el pH del suelo al regarlos con agua acidificadas entre pH 2 a 5. (**Figura 109**) Por lo cual, a través de riego por goteo con aguas acidificadas con ácido sulfúrico entre un pH 2,0-5,0, dependiendo de la calidad del agua de riego, se puede mantener un pH ácido (6,0 a 6,5), en el sustrato de plantación, en el que previamente antes se habían eliminado los carbonatos alcalino-térreos con aplicaciones de ácido de acuerdo a lo indicado por la curva de titulación.

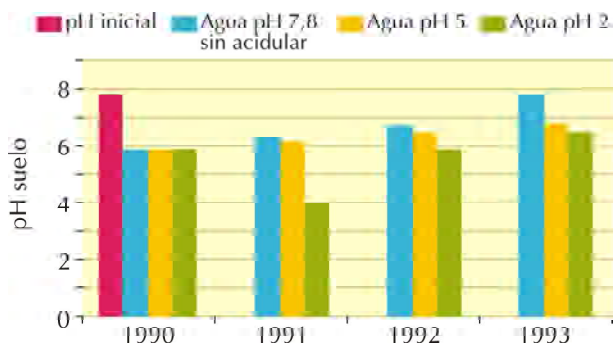


Figura 109. Efecto de la acidulación del agua de riego en el pH de un suelo calcáreo donde se eliminaron con antelación los carbonatos alcalinos térreos (Ferreyra *et al*, 1998).

La acidificación del agua de riego evita la pérdida de nitrógeno en la fertirrigación con urea y aumenta considerablemente el hierro disponible del suelo. Sin embargo cuando se riega con aguas con ácido es necesario controlar la conductividad eléctrica y el nivel de manganeso

ya que con esta práctica pueden aumentar en forma significativa estos valores. En la **Figura 110** se observan los niveles de Mn foliar en un suelo calcáreo, regado con agua acidificada, donde previamente se eliminaron los carbonatos alcalinos- térreos.

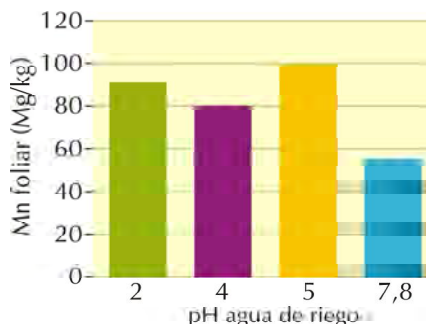


Figura 110. Efecto de la acidulación del agua de riego durante 3 años en contenido del Mn foliar de arándano ojo de conejo, donde previamente se eliminaron los carbonatos alcalinos térreos del suelo (Ferreya *et al*, 2001).

La clorosis férrica como se indicó anteriormente ocurre en suelos con alto contenido de CaCO_3 y/o pH alto. Este problema puede ser agravado por un deficiente manejo del riego que tiene como resultado una reducción de la aireación en el suelo (Wallihan *et al*, 1968). Bajo condiciones de alto contenido de agua en el suelo, el aire es desplazado de los espacios porosos, disminuyendo el oxígeno e incrementándose la concentración de CO_2 , tanto en el suelo como en las raíces. Esto resulta en un incremento del HCO_3^- que produce una inmovilización de Fe y clorosis férrica (Zude-Sasse y Schaffer, 2000) (**Foto 42**).



Foto 42. Arándano con clorosis férrica producida por exceso de humedad.

En suelos con mala aireación (baja macroporosidad), a menudo los problemas de clorosis férrica se pueden solucionar al distanciar la frecuencia entre riego lo que permite aumentar el aire en el suelo. Esto no significa disminuir la cantidad de agua a reponer en el arándano, solamente cambiar los momentos de aplicación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en suelos calcáreos, para superar la clorosis férrica, además es necesario acidificar el agua de riego a través de un inyector que controle automáticamente pH. Cuando el suelo tiene un alto contenido de CaCO_3 y/o pH alto aparte de fijarse el hierro, también se inmovilizan otros microelementos como Boro, Zinc entre otros.

Manejo del riego

Diversos investigadores han considerado que para aplicar el agua los métodos de riego por microaspersión y goteo son los métodos que mejor se adaptan a las plantaciones de arándano (Holzapfel *et al.*, 1993, Holzapfel, 1994). El riego por aspersión también ha sido considerado pero no se recomienda su utilización por sobre la canopia, excepto para control de heladas, ya que al mojar el follaje aumenta la incidencia de enfermedades.

Otro aspecto a considerar en la selección de un equipo de riego localizado es el volumen de suelo a mojar del área de plantación, el cual en el caso del arándano debe fluctuar entre un 40 a 70%. Si el suelo donde se plantara el arándano tiene baja macroporosidad (suelo pesado) debemos intentar mojar un volumen cercano al máximo (70%). Con microaspersión, microjet o doble hilera de goteo podemos mojar en la mayoría de los casos un volumen cercano a 70%. Con una línea de goteros por hilera de plantación el volumen de suelo que se moja es de alrededor de un 40%. En resumen en suelos pesados con baja macroporosidad, sobre todo en la zona centro - sur donde las precipitaciones son bajas, si instalamos goteo, debemos utilizar doble línea de riego por hilera de plantación.

Si un equipo de riego por goteo, microaspersión o microjet presenta deficiencias en el volumen de suelo mojado por los emisores, es seguro que las plantas estarán sometidas en forma periódica a bruscas variaciones de humedad, pasando en cortos períodos de tiempo de excesos a déficit de agua.

Respecto a la ubicación de los goteros en la línea de riego, es recomendable que estén entre 30 a 50 cm unos de otros, de forma de mojar en su totalidad el camellón, ya que en el arándano las raíces están ubicadas principalmente en los primeros 50 cm de suelo. Si los emisores están más separados quedan zonas en el camellón sin humedad donde se pueden desarrollar raíces y se invirtieron recurso para mejorar el suelo.

En trabajos realizados por Holzapfel 2003 se observa que cuando se riega por microjet se obtiene una mayor producción que cuando se utilizo una línea de riego con goteros a 50 cm (**Figura 111**). Es posible que esta diferencia se deba en parte al mayor volumen de suelo que moja el microjet y a problemas de aireación en el suelo, ya que el microjet se regó cada dos días y el goteo en forma diaria.

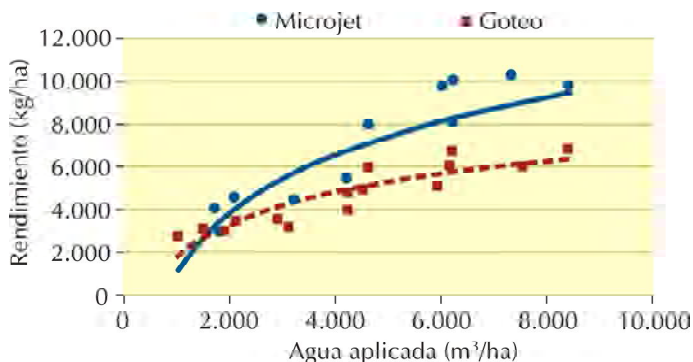


Figura 111. Efecto del riego por microjet y goteo (una línea con goteros a 50 cm) en la producción del arándano. Generados a partir de información presentada Holzapfel E. 2003 Seminario Producción Moderna de Arándanos.

Requerimiento de agua del arándano

La disponibilidad y suministro de agua tienen un significativo efecto en el rendimiento del arándano ya que posee un sistema radicular superficial y carente de pelos radicales. Un estrés hídrico tiene como resultado una menor cosecha. Funciones agua - producción para el arándano que se han desarrollado en Temuco y Chillán indican que éste requiere en esas zonas entre 7.000 a 8.000 m³/ha.

En las **Figuras 112 y 113** se presenta la función agua - producción en arándano alto y ojo de conejo en términos relativos, lo que permite estimar las disminuciones en producción, producto de menores aplicaciones de agua en zonas de diferentes condiciones climáticas.

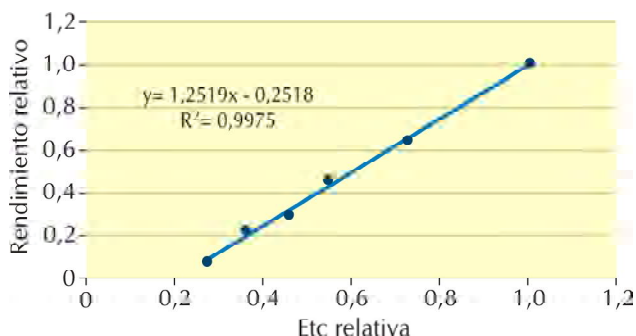


Figura 112. Efecto del agua aplicada en el rendimiento del arándano ojo de conejo. Jerez J., Sandoval J., Peralta J., Gallardo I., Ferreyra R., y Varas 1994. Requerimiento máximo 8.000 a 14.800 m³/ha.

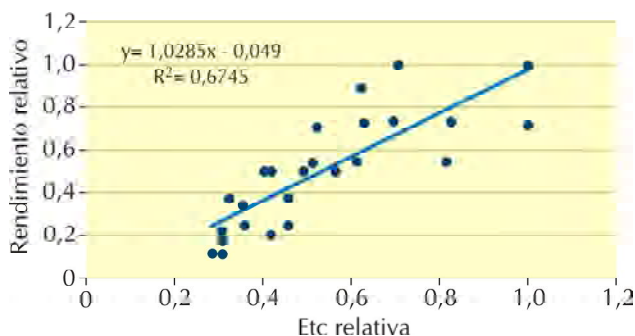


Figura 113. Efecto del agua aplicada en el rendimiento del arándano alto Var. Bluetta. Datos generados a partir de Holzapfel E. 2003 Seminario Producción Moderna de Arándonos, Osorno. Requerimiento máximo 8.000 a 14.800 m³/ha

Desarrollo radicular

Para controlar el riego a través del estado hídrico del suelo es necesario conocer como se distribuyen en el suelo las raíces del cultivo, de forma de medir el contenido de humedad en la zona de mayor actividad radicular.

Las raíces del arándano son fibrosa de poca extensión, carente de pelos radicales, con una baja conductividad hidráulica, con requisito de oxígeno alto. Por lo cual, cortos períodos de falta de oxígeno normalmente derivan en la inhibición de la expansión de las hojas, una reducción en el crecimiento de la raíz y de los brotes, en necrosis de la raíz y de una moderada a severa abscisión de hojas.

Debido a que los arándanos evolucionaron en suelos de alta macroporosidad y alta pluviometría las raíces en este cultivo son poco profundas, más del 90% de las raíces se encuentran en los primeros 45 cm de suelo, como se indica en las **Figuras 114a, 114b, 114c**. Sin embargo las raíces se acumulan aún más en superficie cuando se utiliza mulch. Según Spiers 1986 en suelos con mulch en los primeros 15 cm se concentra el 55 % de las raíces del arándano, en cambio cuando no hay mulch en esta estrata solamente se encuentra el 17% de las raíces (114b y 114c).

Por lo indicado anteriormente, en arándanos, debemos controlar la humedad en los primeros 45 cm de suelo. Esto permite conocer la profundidad del riego; como se agota la humedad en los diferentes horizontes y determinar si el contenido de humedad es excesivo o deficitario. En el caso de riegos localizados, permite además definir y conocer el comportamiento del bulbo húmedo que generan los emisores

Período crítico del arándano en relación con el riego

El riego es un factor determinante en el buen desarrollo de los arándanos ya que posee un sistema radicular superficial, fibroso de poca extensión, carente de pelos radicales, restringiendo así su capacidad de absorción (Gough, 1980; Freeman, 1983; Garren 1988; Eck, 1990). El arándano ojo de conejo es más resistente a la sequía que el arándano alto.

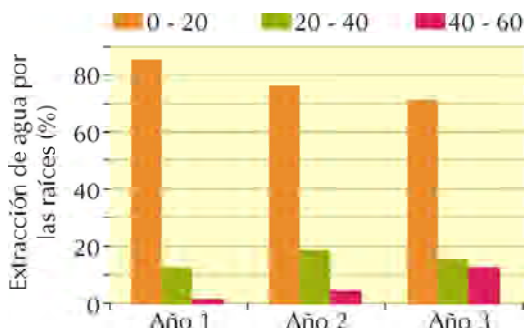


Figura 114a.

Extracción de agua del suelo por estratas en arándano. Jerez J., Sandoval J., Peralta J., Gallardo I., Ferreyra R., y Varas 1994.

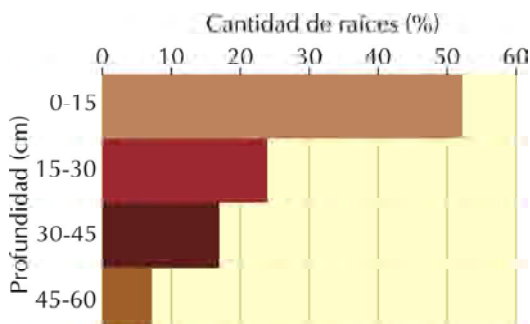


Figura 114b.

Desarrollo de las raíces del arándano ojo de conejo con mulch, Spiers 1986.

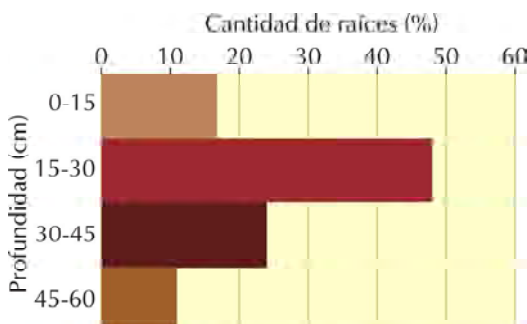


Figura 114c.

Desarrollo de las raíces del arándano ojo de conejo, son mulch Spiers 1986.

El riego oportuno permite obtener un desarrollo máximo de la fruta logrando, además un crecimiento de los tejidos vegetativos que aseguren la producción en la siguiente temporada (Holzapfel y Hepp, 2002). La sequía, en cualquier momento del período de crecimiento afecta adversamente el crecimiento vegetativo.

Diversos autores mencionan varios períodos durante el año en que el agua es especialmente crítica para las plantas de arándano. Bell (1982) señala que los períodos de máximo requerimiento de agua incluyen las dos primeras semanas después de la caída de los pétalos, dos semanas antes de la cosecha y 2-3 semanas después de cosecha. Un stress hídrico durante el crecimiento de la fruta, particularmente en las dos últimas semanas de maduración, dará como resultado bayas pequeñas y posiblemente una caída de frutos (Gough, 1982). Por otra parte Lyrene y Crocker, 1991 indican que la mayor demanda de agua ocurre durante los períodos de cuaja y de crecimiento de la fruta, hasta fines de cosecha. Un mojamiento inadecuado en las últimas 2 ó 3 semanas de crecimiento de la fruta puede reducir seriamente el tamaño de las bayas, y además estas se tornan más susceptibles a sufrir partiduras si les cae una lluvia fuerte durante la cosecha (Lyrene y Crocker, 1991).

Otro período crítico es febrero y marzo, cuando está ocurriendo la iniciación de las yemas florales y foliares para la cosecha siguiente (Brightwell y Austin, 1980). Es de gran importancia además recordar que es necesario mantener suficiente oxígeno en la zona de raíces para un sano crecimiento de las plantas y que un exceso de agua puede ser tan dañino como una falta de ella.

El manejo del riego debe ser muy controlado en los períodos críticos. Como se comentó anteriormente el primero corresponde al crecimiento de la fruta, división celular y elongación celular. Durante este tiempo el manejo adecuado del riego reduce la caída de fruta e incrementa el tamaño final del fruto. Cualquier estrés, por exceso o déficit hídrico, puede afectar el tamaño de la fruta principalmente los ocurridos en las últimas 2 a 3 semanas antes de cosecha donde se logra aproximadamente el 80% del tamaño del fruto (**Figura 115**). El segundo corresponde al desarrollo radicular que tiene lugar a fines de primavera - inicio de verano, errores en el manejo del riego en este período pueden afectar el crecimiento radicular o producir muerte de raíces (asfixia) lo cual puede afectar el crecimiento del cultivo en la próxima temporada (**Figura 115**).

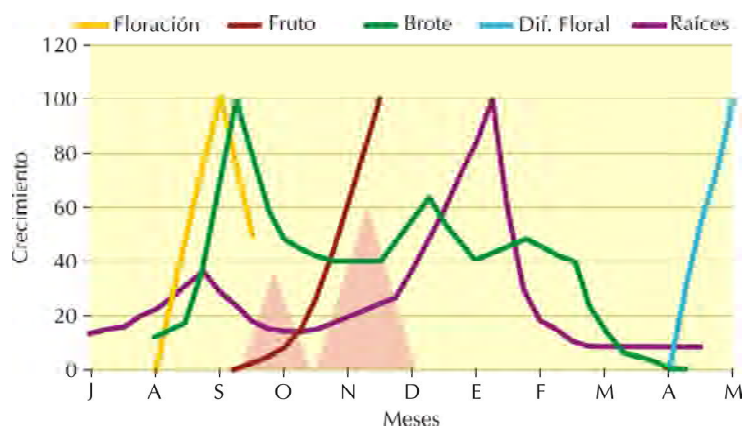


Figura 115. Desarrollo del Arándano (O'Neil) en la zona norte.

8. ESTRATEGIAS PARA ENFRENTAR EL DÉFICIT HÍDRICO

Para lograr una agricultura productiva en las zonas áridas y semiáridas del país, se han estudiado diversas estrategias para el manejo del agua, que constituye la principal limitante la producción agrícola. Las consideraciones se basan, principalmente, en minimizar la cantidad de agua utilizada o maximizar la eficiencia de su uso y se presentan a continuación.

8.1 Disminución de la superficie cultivada

En zonas donde el recurso hídrico es escaso es necesario ajustar la superficie cultivada a la dotación de agua disponible, privilegiando las especies frutales o permanentes en desmedro de las anuales, las cuales pueden cultivarse solo en los años de buen suministro hídrico. El ajuste de la superficie de riego permite suplir los requerimientos hídricos de las especies permanentes, logrando producciones normales, con fruta de calidad, lo que desde el punto de vista económico puede tener una mayor rentabilidad.

8.2 Elección de variedades tempranas

En zonas con falta de agua a mediados o fines de verano es recomendable establecer especies o variedades de cosecha temprana, así, las etapas críticas que generalmente están asociadas a la floración y a las primeras etapas de desarrollo del fruto (**Cuadro 49**), no coincidirán con la época del año de mayor déficit hídrico.

Cuadro 49. Períodos críticos en frutales en que el agua no puede faltar.

Especies	Períodos críticos
Cítricos	Floración a cuaja; fase de crecimiento rápido del fruto.
Olivo	Previo a floración a crecimiento final del fruto
Manzano y peral	Cuaja a poco antes de cosecha.
Duraznero	Crecimiento rápido del fruto.
Damasco	Crecimiento rápido del fruto.
Cerezo	Crecimiento rápido del fruto a poco antes de cosecha.
Nogal y almendro	Crecimiento del fruto y desarrollo de la semilla.
Vid	Brotación a floración (cuaja); cuaja a crecimiento del fruto.
Kiwi	Cuaja hasta antes de maduración.

8.3 Acumular agua de lluvias y mantener humedad en el suelo

En zonas con bajo suministro hídrico es necesaria preocuparse del almacenamiento de agua en el suelo, ya sea aprovechando las lluvias o regando en periodos de invierno. En estas zonas es conveniente implantar frutales de gran profundidad radicular lo que aumenta la capacidad de almacenaje del suelo. En esta situación también es recomendable labrar la capa superior del suelo para, por una parte mejorar las condiciones de infiltración del agua y para disminuir las pérdidas de agua por evaporación al romper la continuidad de los poros, reduciendo el secamiento de las estratas inferiores. Para un mayor y más eficaz utilización del agua almacenada en el suelo es necesario un adecuado control de malezas, evitando así que éstas consuman agua disponible para el cultivo.

8.4 Técnicas para disminución de la evapotranspiración

Existen labores de un huerto destinadas a solucionar problemas distintos a los asociados al riego, pero que, indirectamente, contribuyen a ahorrar agua al implementarlas.

Mulch

El uso de mulch confeccionado con restos vegetales, tales como residuos de cultivos o de poda (**Fotos 43 y 44**) tiene como función el control de malezas, que consumen el agua que estaba disponible para el cultivo, y la disminución de la evaporación de agua desde las capas más superficiales del suelo. El uso de mulch permite por estas dos razones una mayor permanencia del agua aplicada en las estratas superiores del suelo.

Las pérdidas de agua por evaporación directa desde el suelo no son despreciables.



Foto 43. Mulch de residuos de cultivos.



Foto 44. Mulch de sarmientos molidos en parrón de uva de mesa.

Por ejemplo, trabajos preliminares realizados por INIA en parronales del valle de Aconcagua (**Cuadro 50**) muestran que la evaporación puede llegar a representar cerca del un 30% de la evapotranspiración del parronal. El uso de mulch, por lo tanto puede ser una práctica interesante de explorar, para reducir el consumo de agua.

Cuadro 50. Evaporación directa del suelo (mm/d) en un parronal, medida mediante microlisímetros. (Valle de Aconcagua, temporada 2011/12. cv Thompson Seedless).

Mes	mm/día	m ³ /ha/mes	% de ETc
Noviembre	1,68	504	37
Diciembre	1,15	356,5	24
Enero	1,89	585,9	36
Febrero	1,83	512,4	27
Promedio			31

El uso de mulch tiene también otras ventajas que se reflejan en el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Trabajos realizados por INIA-La Platina muestran el incremento en el peso de raíces finas en parronales de la variedad Flame Seedless (**Figura 116**). Se observa que a través de 3 temporadas de estudio, las plantas de parrones con mulch de sarmiento picado presentan un aumento sostenido en el peso de raíces finas, con respecto a plantas sin material. Esto es de suma importancia ya que las raíces finas son las encargadas de la absorción por lo que, plantas bajo este tratamiento, serán más eficientes en captar el agua disponible en el perfil de suelo.

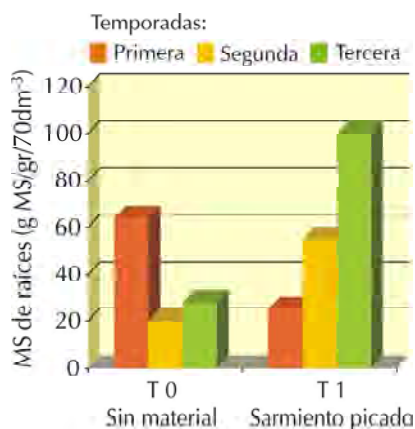


Figura 116. Peso promedio de raíces finas en uva de mesa cv. Flame Seedless, por tratamientos (kg MS gr/70dm³). Temporadas 1: 96/97; 2: 97/98 y 3: 98/99.

Lo mismo sucede en especies con arraigamiento superficial. Spiers (1986), observó que arándanos cultivados con mulch plástico modifican la distribución de las raíces aumentando el porcentaje de éstas en los primeros 15 cm de suelo (**Figura 117**). Así, la planta es capaz de aumentar la absorción en las estratas superficiales, ya que existen más raíces y el plástico evita la evaporación del agua.

Películas reflectantes

En el caso de que la temporada de primavera-verano se presente muy seca, una forma de mitigar el daño por estrés hídrico puede ser la aplicación de películas reflectantes como, por ejemplo, la caolinita (**Foto 45**).



Foto 45. Frutos de manzano cubiertos con caolín. (Prado, 2004).

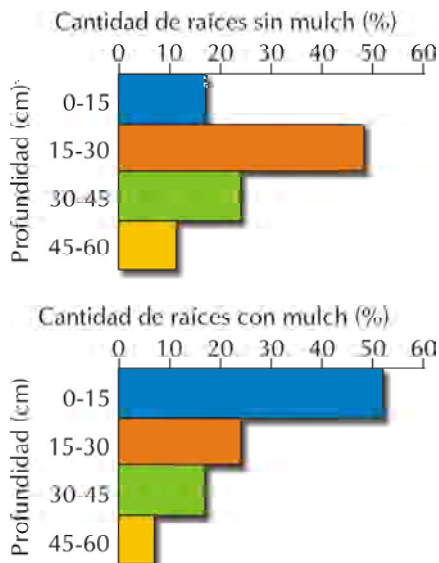


Figura 117. Desarrollo de raíces de arándano sin mulch (izquierda) y con mulch plástico (derecha) (Spiers, 1986).

Esta película de polvo blanco, parecido al talco, refleja parte de la radiación solar incidente sobre el cultivo, evitando el golpe de sol en la madera y fruta y de esta forma, mitiga los daños por estrés hídrico durante el verano.

En condiciones de estrés hídrico e intenso calor, los árboles tratados con caolín logran superarlo en mejor forma al estar la planta en condiciones de aprovechar el agua rápidamente. Sus estomas se mantienen abiertos durante más tiempo durante el día, por lo que aumentan su tasa fotosintética (Prado, 2004), o sea, producen lo mismo pero con un menor consumo de agua.

Mallas

Otra forma de mitigar el daño es el uso de mallas que disminuyan la radiación incidente sobre el huerto o aumenten la humedad relativa en torno a los árboles, así la ETC es disminuida con el consiguiente ahorro de agua en el riego (**Foto 46**).

En manzanos, el uso de mallas ha generado que las temperaturas máximas medidas bajo ellas, tiendan a ser entre 0,2°C y 3°C más bajas dada la interceptación de la radiación incidente o "efecto sombra"; esto se acompaña de un incremento en la humedad del huerto, lo que



Foto 46. Uso de mallas en frutales (arriba) y hortalizas (abajo), en Israel (Cohen y Dagan).

se traduce en una disminución de la transpiración de los árboles (**Figura 118**) y, también, en una reducción del estrés hídrico de la planta. Se ha reportado, además, una disminución en la evaporación de un 11% y una reducción significativa en la velocidad del viento dentro del huerto (Iglesias y Alegre, 2006; Solomakhin y Blanke, 2008).

En cerezos, el uso de mallas aumenta la humedad relativa bajo el cobertor y en torno a los árboles, pudiendo alcanzar niveles cercanos al 90% en algunos momentos (Valenzuela, 2007).

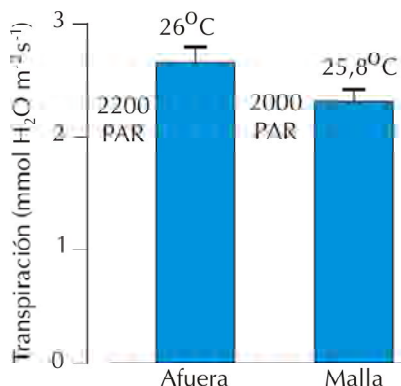


Figura 118. Transpiración en hojas de manzano cv. Fuji, medidas en árboles sin malla (afuera) y bajo mallas. (Adaptado de Solomakhin y Blanke, 2008).

8.5 Aumento de la eficiencia del uso de agua

Reducción de pérdidas de agua en tranques y acumuladores

En los tranques y acumuladores de agua se producen importantes pérdidas de agua, tanto por infiltración en las paredes y fondo del tranque, como por evaporación directa.

El uso de láminas de PVC (**Foto 47**) para el revestimiento de las paredes y fondo del tranque elimina la pérdidas por filtración. Las pérdidas por evaporación pueden ser disminuidas cubriendo el espejo de agua con malla raschell (**Foto 48**). Incluso en algunos casos, agricultores de zonas áridas cubren el espejo de agua con lámina de PVC, conformando una verdadera bola impermeable.

Las pérdidas por evaporación desde una superficie libre de agua pueden disminuir en cerca de un 60% al utilizar una malla que reduzca la radiación directa y el efecto del viento (**Figura 119**).



Foto 47. Lámina de PVC recubriendo paredes y fondo de un tranque para prevenir pérdidas por filtración.



Foto 48. Uso de malla raschell para disminuir las pérdidas de evaporación desde el espejo de agua de un tranque.

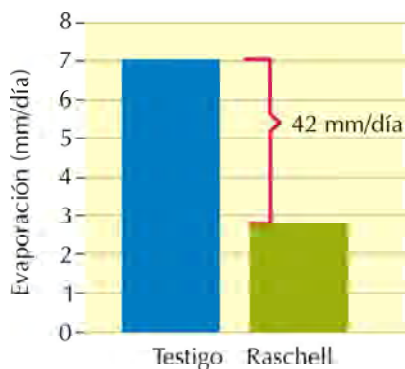


Figura 119. Reducción de la evaporación desde una superficie libre de agua (mm/d) por el uso de malla protectora.

Cambios del método de riego

Los métodos de riego tienen diferentes grados de eficiencia (**Figura 120**). En algunas situaciones, de acuerdo al tipo de cultivo y disponibilidad de capital, es posible mejorar la eficiencia a través de la tecnificación del método de riego. Con un sistemas como el goteo, sólo se pierde un 10 por ciento del recurso, lo que permite regar con la misma cantidad de agua, más del doble de superficie que si se realizara por tendido (Ferreira y Selles, 1997).

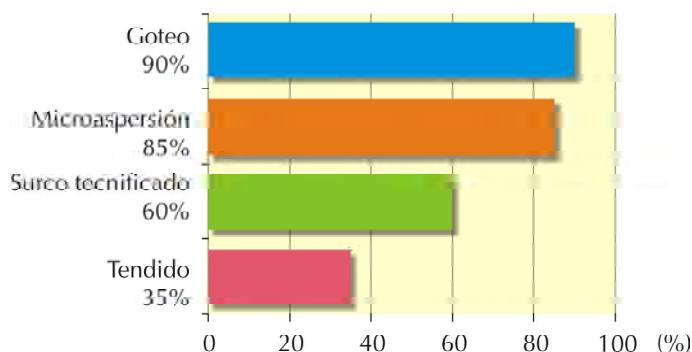


Figura 120. Eficiencia de aprovechamiento del agua de distintos métodos de riego (Ferreira y Selles, 1997).

En localidades áridas y semiáridas se hace obligatorio el uso de riego tecnificado, de preferencia presurizado y localizado (goteo, microaspersión, microjet). De esta forma es posible asegurar que, del total de agua aplicada, un alto porcentaje llegue a la zona de raíces y no se pierda en áreas no colonizadas por ellas. No obstante, esto no es suficiente, ya que también se requiere de un sistema de acumulación que permita almacenar el agua que se ahorra con el riego presurizado y entregarlos en períodos de escasez.

Sumado a lo anterior, es importante contar con un adecuado sistema de distribución o entrega del agua al predio. Para esto es importante revestir acequias de entrada con cemento, geomembrana o plástico o reemplazar las acequias por mangas plásticas que sirvan como tubería de distribución del agua desde el canal al tranque de acumulación.

Control del riego

El hecho de aplicar un programa de riego en base a los registros de evapotranspiración no asegura el éxito productivo del cultivo, ya que existe una serie de factores que podrían estar subestimando o sobrestimando los requerimientos de la planta: movimiento y retención de agua en el suelo (por problemas físicos de suelo, compactación), obstrucción de los emisores, taponamiento de los filtros, roturas de la red de riego, etc., y en consecuencia, no se entregue el agua necesaria a las plantas.

Es necesario contar con un sistema de control del riego (ver Capítulo 6). El sistema de control del riego implica tanto el control del funcionamiento del equipo de riego (control de presión y amperaje en el cabezal de riego, control de la presión y descarga de los emisores de riego) como el de la distribución de la humedad del suelo y el estado hídrico de las plantas.

Riego deficitario controlado

Una herramienta interesante para manejar recursos hídricos escasos es conocer información referente a la técnica denominada riego deficitario controlado (RDC), que se viene aplicando a diversos frutales desde fines de la década de los 80's. El RDC es una alternativa, en situaciones de limitada disponibilidad de agua para riego, que trata de adecuar los aportes hídricos al comportamiento fisiológico del árbol. Se basa en reducir las cantidades de agua a aplicar en aquellos momentos o períodos fenológicos que no afectan (o afectan menos) la producción y calidad final, y adicionar el cien por ciento de las necesidades hídricas en los períodos críticos (Ferreira y Selles, 1997).

El RDC se debe aplicar conociendo el efecto que tiene dicho déficit sobre la rentabilidad del cultivo, de forma que se mantenga o mejore, independiente o conjuntamente (Fabeiro y López, 2005).

Para aplicar el RDC se requiere el conocimiento y utilización de índices para controlar el estado hídrico de la planta, de manera de llevar a cabo la estrategia de manera correcta. Los parámetros de la relación

suelo-planta-agua son sensibles a los distintos déficits hídricos aplicados lo cual presenta la ventaja de que puede medirse de manera práctica mediante, por ejemplo, los instrumentos para el control del riego. Hay que tener presente que en el mediano y largo plazo esta técnica puede ir afectando el vigor de los árboles, la inducción floral y la acumulación de reservas nutricionales, entre otros procesos, por lo cual las plantaciones pueden llegar a tener una menor vida útil.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ALEGRE, S.; MARSAL, J.; TOVAR, M.; MATA, M.; ARBONÉS, A. Y GIRONA, J. 2002.** Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europea* L. cv "Arbequina") for oil production. *Acta Horticulturae* 586: 259-262.
- ALLEN R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH. 1998.** Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.
- AGUILERA, M. 1994.** Ensayo de control de palo negro en uva de mesa cultivares Sultanina y Ribier mediante aplicaciones químicas y deshoje. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. 43p.
- ANGUIANO-CONTRERAS, J., V.M. CORIA-AVALOS., J.A. RUÍZ-CORRAL., G. CHÁVEZ- LEÓN. Y J.J. ALCÁNTAR-ROCILLO. 2003.** Caracterización edáfica y climática del área productora de Aguacate (*Persea americana* cv. Hass) en Michoacán, México. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) 2003.* pp. 323- 328
- ARPAIA, MARY LU, FABER, BEN A., YATES, MARYLYNN V. Proceedings of The World Avocado Congress III, 1995.** 189- 195. Irrigation management of avocado in a california coastal environment. B.A. Faber. U. C. Cooperative Extension. County Sq. Dr. Ventura, CA 93003, U.S.A. M.L. Arpaia. *Botany & Plant Sci.* 669. University of Calif. Riverside, CA 92521, U.S.A. M.V. Yates. *Soil & Envi. Sci.* Riverside, 92521, U.S.A. Additional index words: *Persea americana*, Hass, evapotranspiration, salinity, tree size. Abstract. Hass avocado trees have b. http://www.avocadosource.com/temp/old wac iii/wac3_p189.htm

- ASSAF, R.; BRAVDO, B. Y LEVIN, I. 1974.** Effects of irrigation according to water deficit in two different soil layers, on the yield and growth of apple trees. *Journal of the Horticultural Science* 49: 53-64.
- AYERS R. S., D. W. WESTCOT. 1976.** Calidad del agua para la agricultura. *FAO Riego y Drenaje*, N° 29.
- BECKER, N. Y ZIMMERMAN, H. 1984.** Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, development des baies et la qualité du vin. *Bull de L'OIV*.57 (641-642): 159-174.
- BESSET, J.; GÉNARD, M.; GIRARD, T.; SERRA, V. Y BUSSI, C. 2001.** Effect of water stress applied during the final stage of rapid growth on peach trees (cv. Big-Top). *Scientia Horticulturae* 91: 289-303.
- BEHBUODIA, M. Y LAEWS, G. 1994.** Fruit quality in 'Nijisseiki' Asian pear under deficit irrigation: physical attributes, sugar and mineral content, and development of flesh spot decay. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 22(4): 393-400.
- BELL, R., 1982.** The blueberry, Department of Agriculture NSW, Sydney, Australia. *Bull.*
- BHANTANA, N., LAZAROVITCH, N., 2010.** Evapotranspiration, crop coefficient and growth of two young pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. *Agric.Water Manage.* 97, 715-722.
- BOWER, J.P. 1985.** Some aspects of water relations on avocado (*Persea americana* Mill.) tree and fruit physiology. Ph.D. Thesis, University of Natal, South Africa.
- BOWER, J. 1981.** Irrigation of avocado orchards. Farming South Africa. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, Nelspruit. Avocado F-1.
- BRAVDO, B. AND A. NAOR. 1997.** Effect of water regime on productivity and quality of fruit and wine. *Acta Horticulturae* 427:15-26. 35(3)129-139

- BRIGHTWELL Y AUSTIN, 1980.** Rabbiteye blueberries University of Georgia, College of Agriculture, Experiment Stations, 20 p
- BUJ, A., FABADO, F. Y CASTEL, J.R. (1990).** Riego por microaspersión en naranjos: utilización del tanque evaporimétrico. *Frutic. Profesional* 29, 31-38.
- CASTEL, J.R., BAUTISTA, I., RAMOS, C. y CRUZ, G. (1986).** Evapotranspiración y eficiencia del riego en huertos de cítricos de la Comunidad Valenciana. 14ª Jornadas Regionales Europeas, Comisión Internacional de Riegos y Drenajes. 3, 43-82.
- CASTEL J.R., BAUTISTA I., RAMOS C., CRUZ G., 1987.** Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irr Drain Sys* 3, 205-217.
- CASTEL, J.R. y BUJ, A. 1988.** Respuesta de naranjos adultos Salustiana al riego por goteo deficitario. *Frutic. Profesional* 16, 31-37.
- CASTEL, J.R. (1991).** Determinación de la evapotranspiración de cítricos mediante lisimetría de pesada. *Riegos y Drenajes XXI* 56, 9-14.
- CASTEL J.R., BUJ A., 1993.** Riego por goteo deficitario en naranjos adultos 'Salustiana' durante siete años. *Invest Agr: Prod Prot Veg* 8(2), 191-204. [In Spanish].
- CASTEL, J.R. (1997).** Evapotranspiration of a drip-irrigated Clementine citrus tree in a weighing lysimeter. *Acta Horticulturae* 449 (1), 91-98.
- CATLIN, P. 1998.** Root physiology and rootstock characteristics. In: Ramos, D. (ed) *Walnut Production Manual*: 119-126. California University, Division of Agriculture and Natural Resources (USA). 319p.
- COHEN, M.; AMEGLIO, T.; CRUIZIAT, P. Y ARCHER, P. 1997.** Yield and physiological responses of Walnut trees in semiarid conditions: application to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 449: 273-280.

- CHALMERS, D. Y WILSON, I. 1978.** Productivity of peach trees: tree growth and water stress in relation to fruit growth and asimilate demand. Annual Botanic. 42: 285-294.
- CHALMERS, D.; MITCHELL, P. Y VAN HEEK, L. 1981.** Control of peach tree growth and productivity by regulated water supplí, tree density, and summer pruning. Journal of the American Society for Horticultural Science 106(3): 307-312.
- CHALMERS, D.; OLSSON, K. Y JONES, T. 1983.** Water relations of peach trees and orchards. In: Kozlowski, T. (ed). Water deficit and plant growth. Vol VII Academic Press, Londres. 197-232.
- COHEN, A. Y GOELL, A. 1988.** Fruit growth and dry matter accumulation in grape fruit during periods of water withholding and after irrigation. Australian Journal of Plant Physiology 15: 633-639.
- CORREA, R. 2000.** Riego deficitario controlado en ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.) var. D'agen. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 80p.
- COWAN, A.K, MOORE-GORDON, C.S., BERTLING, I. AND WOSTENHOLME, B.N (1997).** Metabolic control of avocado fruit growth. Plant Physiology 114, 511- 518.
- DOORENBOS J Y KASSAM AH 1979.** R response to water.fao irrigation and drainage paper Nº 33 fao rome italy p 193
- DECROIX, M. 1992.** Esperienze francesi sull'irrigazione basata sul deficit idrico controllato. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 54(6): 49-54.
- ECK, P. 1990.** The American cranberry. Rutgers Univ. Press, New Brunswick, N.J.
- ESCOBAR, H. 1982.** Fenología del olivo del valle de Azapa. En: Primeras Jornadas Olivícolas Nacionales. Universidad de Tarapacá

- EVANS, R. 1984.** Water deficit effects on apple quality and maturity. ASAE Technical Paper 85. 2601 presented at 1985 Winter Meeting ASAE.
- FABEIRO, C. Y LÓPEZ, R. 2005.** Riego deficitario controlado. pp. 407-432. In: Martín de Santa Olalla, F. (Ed). Agua y agronomía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 609p.
- FERERES, E. Y ORGAZ, F. 1995.** El riego del olivar. VII Simposio Científico-Técnico Expoliva. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba. Cuadernos de Fitopatología, 3er trimestre 1995: 124-128.
- FERREYRA, R., J. PERALTA, A. SADZAWKA, J. VALENZUELA, Y C. MUÑOZ. 1998.** Efecto de la aplicación de ácido sobre algunas características químicas de un suelo calcáreo. Agricultura Técnica (Chile) 58:163-170.
- FERREYRA E, R. PERALTA A, J. SADZAWKA R,A, MUÑOZ S.C Y VALENZUELA B.J 2001.** Efecto de la acidificación del sustrato y del agua de riego en la nutrición, desarrollo y producción del arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei reade*) Agricultura técnica 61 (4) 452-458.
- FERREYRA R, SELLES G, SILVA H, AHUMADA R, MUÑOZ I Y MUÑOZ V 2006.** Efecto del agua aplicada en la relaciones hídricas y productividad de la vid Crimson Seedless. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41(7) 1109-1118.
- FERREYRA, R., SELLES, G., PINTO, M., MORALES, M. AND SEGUEL, O. 2011.** Effect of Soil Air Capacity on water relations and vegetative growth of Thompson Seedless grafted on different rootstocks: Preliminary results. Acta Horticulturae 889 145 - 150 p.
- FERREYRA, E., R.; SELLÉS, VAN SCH. (ED.) 2007.** Manejo del Riego y Suelo en Paltos. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 160. 120 p.

- FERREYRA, R. Y SELLES, G. 1997.** Manejo del riego en condiciones de restricción hídrica. Serie La Platina N° 67. Centro Regional de Investigación La Platina Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 38 p.
- FERREYRA E., RAÚL; SELLÉS V., GABRIEL; AHUMADA B., RODRIGO; MALDONADO B., PATRICIO; GIL M., PILAR. 2005.** Manejo del riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 126. 56 p.
- FRANCK, N., F. SÁNCHEZ, I. QUIROZ, M. SOZA, F. ZAVALA, R. HILLEL Y A. KAPLAN. 2009.** Granados, Perspectivas y Oportunidades de un negocio emergente. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44529052/Estudio-de-Granada>. Leído el 17 de junio 2011.
- FREEMAN, B., 1983.** Blueberry Production, Agfact H3 1.4. Department of Agriculture, NSW, Australia.
- GARCÍA, J.; ROMERO, P.; BOTÍA, P. Y GARCÍA, F. 2005.** Análisis económico del cultivo de almendro en riego deficitario controlado (RDC). Fruticultura Profesional 154: 43-50.
- GARREN, R., 1988.** Riego y poda en arándano. In: Seminario El Cultivo del Arándano, Programa Frutales y Viñas, Serie Carillanca No. 2. INIA, Temuco, Chile, pp. 73-79
- GINESTAR C., CASTEL J.R., 1996.** Response of orange clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. J Horst Sci 71, 551-559.
- GIRONA, J. 1992.** Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. Fruticultura Profesional 47: 38-45.
- GIRONA, J.; MATA, M. Y MARSAL, J. 2005.** Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. Agricultural Water Management 75: 152-167.

- GIRONA, J.; MATA, M.; DEL CAMPO, J. Y MARSAL, J. 2008.** Manejo del riego del manzano en condiciones de sequía extrema. pp: 5-8. In: Direcció General d' Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries (ed). Uso eficiente del agua en situaciones extremas. Dossier Técnico 30. 24p.
- GIRONA, J.; MATA, M., MARSAL, J. Y MIRAVETE, C. 1994.** Efectos acumulados de tres años de un riego deficitario controlado en almendro (*Prunus dulcis* L.). XII Jornadas Técnicas sobre Riego. Pamplona. Comunicaciones VI: 1-8.
- GIRONA, J.; GELLY, M.; MATA, M.; ARBONE`S, A.; RUFAT, J. Y MARSAL, J. 2005.** Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agricultural Water Management* 72: 97-108.
- GIRONA, J.; MATA, M.; ARBONÉS, M.; ALEGRE, S.; RUFAT, J. Y MARSAL, J. 2001.** Young olive trees (*Olea europea* L.) responses to different water supplies. *Acta Horticulturae* 586: 277-280.
- GIRONA J., Y J. MARSAL. 1995.** Estrategias de riego deficitario controlado en almendro. p. 97-118. In: Zapata, M. y Segura, P. (Ed). Riego deficitario controlado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 188p.
- GIRONA, J. 1992.** Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Fruticultura Profesional* 47: 38-45.
- GOLDHAMER, D. Y SCHACKEL, K. 1990.** Irrigation cutoff and drought irrigation strategy effects on almond: 2nd years results. 18th Annual Almond Research Conference. Fresno 1990: 30-35.
- GOLHAMER, D.; KJELGREN, R.; BEEDE, R.; DEJONG, T. Y RAMOS, D. 1990.** Water use requirements of high and conventional density walnuts under localized irrigation. Disponible en: http://walnutresearch.ucdavis.edu/1984/1984_32.pdf . Leído el 29 de Mayo de 2010.

- GOLDHAMER, D. Y VIVEROS, M. 2000.** Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science* 19: 125-131.
- GOLDHAMER, D. 1999.** Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474: 369-372.
- GOLDHAMER, D.; DUNAI, J.; FERGUSON, L.; LAVEE, S. Y KLEIN, I. 1994.** Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 356: 172-175.
- GONZALEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R., 1999.** Regulated déficit irrigation in Clementina de Nules citrus trees. I Yield and fruit quality effects. *J Hort Sci Biothec* 74 (6), 706 - 713.
- GONZALEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R. 2000.** Regulated deficit irrigation in Clementina de Nules citrus trees. II. Vegetative effects. *J Hort Sci Biotech* 75 (4), 388-392.
- GOUGH, R., 1980.** Root distribution of "Coville" and "Lateblue" highbush blueberry under sawdust mulch. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105 4, pp. 576-578.
- GOUGH, R.E., 1982.** Better management means more blueberries. In: *Fruit Grower*. University of Rhode Island, Kingston, RI, USA.
- HARDIE, W. Y CONSIDINE, J. 1976.** Responses of grapes to water-deficits stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Vitic.* 36(1): 77-85.
- HERNÁNDEZ, R. 1991.** Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.), cultivar Hass, para la zona de Quillota, V Región. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. 99p.
- HOLLAND, D., HATIB, K., BAR-YÁAKOV, I., 2009.** Pomegranate: botany, horticulture and breeding. *Hortic. Rev.* 35, 127-191.

- HOLZAPFEL E. 2003.** Seminario Producción Moderna de Arándanos, Osorno.
- HOLZAPFEL, E.A. AND HEPP, R.F., 2002.** Effect of irrigation on six year old Bluetta Blueberry plants. Acta Hort. 574, pp. 253-260.
- HOLZAPFEL, E.A., 1994.** Riego en arándano. In: Seminario Internacional: Producción de Frambuesa y Arándano en Chile. Univ. de Concepción, Fac. Agronomía, Chillán, Chile, pp. 152-156.
- HOLZAPFEL, E.A., HEPP, R.F., Jaureguiberry, M.E. and Serri, H.E., 1993.** Growth response of a highbush blueberry under trickle and microjet irrigation: first year after establishment. Acta Hort. 346, pp. 117-126
- HSIAO, T. C. 1990.** Fisiología general. En: Curso Internacional de agua en frutales. Universidad de Concepcion, Fac. de Cs. Agronomicas, Veterinarias y Forestales. Dpto. Ingenieria Agrícola. Chillan, Chile.
- HUGUET, J.; LI, S.; SCHOCH, P. Y BUSSI, C. 1990.** Response de jeunes pechers cultivés en pots a différents regimes d'alimentation hydrique. Agronomie 10: 163-272.
- IGLESIAS, I. Y ALEGRE, S. 2006.** The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. Journal of Applied Horticulture 8(2): 91-100.
- INGLESE, P.; BARONE, P. Y GULLO, G. 1996.** The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europea* L.) cv Carolea. Journal of Horticultural Science 71: 257-263.
- INIESTA, F., L. TESTI, F. ORGAZ AND J. VILLALOBOS. 2009.** The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. Europ. J. Agronomy 30: 258-265.

- INTRIGLIOLO, D. Y CASTEL, J. 2005.** Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees. *J Hort Sci Biotechnol* 80:177-182
- INTRIGLIOLO, D. Y CASTEL, J. 2010.** Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: tree growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*.
- INTRIGLIOLO D.S., NICOLAS, E., BONET, L., FERRER P., ALARCÓN J.J., BARTUAL J. 2011.** Water relations of field grown Pomegranate trees (*Punica granatum*) under different drip irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 98:691-696
- IRVING, D. Y DROST, J. 1987.** Effects of water deficit on vegetative growth, fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. *Journal of Horticultural Science* 62(4): 427-432.
- JACKSON, D., AND P. LOMBARD. 1993.** Environmental and management practices affecting grape composition and winequality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:409-430.
- JEREZ, J.; SANDOVAL, J.; PERALTA, J.; GALLARDO, J.; FERREYRA, R.; VARAS, E. 1994.** Manual de Riego para el Sur de Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Corporación de Fomento de la Producción. 151 p.
- JOHNSON, S.; HANDLEY, D. Y DAY, K. 1994.** Postharvest water stress of an early maturing plum. *Journal of Horticultural Science* 69(6):1035-1041
- JOHNSON, R.; HANDLEY, D. Y DEJONG, T. 1992.** Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)* nov. 117(6): 881-886.

- LAMPINEN, B.; SHAKEL, K.; SOUTHWICK, S.; OLSON, B.; YEAGER, J. Y GOLDHAMER, D. 1995.** Sensitivity of yield and fruit quality of French prune to water deprivation at different fruit growth stages. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120(2): 139-147.
- LANDSBERG, J. Y JONES, H. 1981.** Apple orchards. In: Kozlowski, T. (ed). *Water deficit and plant growth*. Vol. VI Academic. New York. 419-469.
- LEIB, B.; CASPARI, H.; REDULLA, C.; ANDREWS, P. Y JABRO, J. 2006.** Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science* 24: 85-99.
- LEVIN, G.M. 2006.** Pomegranate roads:a Soviet botanist's exile from Eden. pp. 15-183. B.L. Baer (ed.), Floreat Press, Forestville, CA.
- LI, S.; HUGUET, J.; SCHOCH, P. Y ORLANDO, P. 1989.** Response of peach tree growth and cropping to soil water at various phenological stages of fruit development. *Journal Science* 64(5): 541-552.
- LOTTER, J.; BEUKES, D. Y WEBER, H. 1985.** Growth and quality of apples as affected by different irrigation treatments. *Journal of Horticultural Science* 60(2): 181-192.
- LYRENE P M and T E CROCKER 1991.** Commercial blueberry production in Florida FL. Coop Ext. Ser SP)/ Univ of FL-IFAS, Gainesville.
- MARSAL, J.; MATA, M.; ARBONE´S, A.; RUFAT, J. Y GIRONA, J. 2002.** Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *European Journal of Agronomy* 17: 111-122.
- MARTIN, G.; URIU, K. Y NISHIJIMA, C. 1980.** The effect of drastic reduction of water input on mature Walnut trees. *Hortscience* 15(2): 157-159.

- MATTHEWS, M. AND M. ANDERSON. 1989.** Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L): responses to seasonal water deficits. Am. J. Enol. Vitic.40:16-26.
- MITCHELL, P.; ENDE, B.; JERIE, P.; CHALMERS, D. Y VAN-DEN-ENDE, B. 1989.** Responses of 'Barlett' pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. Journal of the American Society for Horticultural Science 114(1): 15-19.
- MPELASOKA, B. BEHBOUDIAN, M. Y GREEN, S. 2001a.** Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and to crop load. Irrigation Science 20: 107-113.
- MPELASOKA, B. BEHBOUDIAN, M. Y MILLS, T. 2001b.** Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braeburn' apple. Scientia Horticulturae 90: 279-290.
- NASR, Z. Y BEN MECHLIA. 2002.** Deficit irrigation to reduce salinization in an apple orchard. Acta Horticulturae 573: 283-287.
- NETZER, Y., C. YAO, M. SHENKER, B.A. BRAVDO AND A. SCHWARTZ, 2009.** Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. Irrigation Science.27:109-120.
- NORTES, P. 2008.** Respuesta agronómica y fisiológica del almendro al riego deficitario. Indicadores de estrés hídrico. Memoria Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Producción Vegetal. Cartagena, España. 194p.
- OJEDA H.** Influence de la contrainte hydrique sur la croissance du péricarpe et sur l'évolution desphénols des baies de raisin (*Vitis vinifera* L.) cv. Syrah. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (1999)

- PASTOR, M., J. CASTRO, M MARISCAL, V. VEGA, F ORGAZ, E FERERES Y J HIDALGO 1999.** Respuesta del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. investigación agrícola: Prod. Prot. Veg. 14 (3) 393 - 404.
- PÉREZ-PASTOR, A.; DOMINGO, R.; TORRECILLAS, M. Y RUIZ-SÁNCHEZ, M. 2009.** Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. Irrigation Science 27: 231-242.
- PERALTA, J. Y FERREYRA, R. 1993.** El duraznero en Chile. Riego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Editorial Los Andes : 118-149.
- PÉREZ, J.; FUENZALIDA, N.; CORNEJO, P. Y MOMBERG, W. 1987.** Influencia del manipuleo del follaje, la carga y el anillado sobre la incidencia del desecamiento del escobajo (palo negro) y la calidad de la uva en el cv. Sultanina (T.H.). Ciencia e Investigación Agropecuaria 14(2): 97-106.
- PINNEY, K.; LABATICH, J. Y POLITO, V. 1998.** Fruit growth and development. In: Ramos, D. (ed) Walnut Production Manual: 139-146. California University, División of Agriculture and Natural Resources (USA). 319 p.
- PEACOCK, B. Y DOKOOZLIAN, N. 1997.** Irrigation strategies for Crimson Seedless. California Table Grape Comission. Viticulture Research.
- PONI, S., A. LAKSO., J. TURNER., AND R. MELIOUS. 1993.** The effects of pre and postveraison water stress on growth and physiology of potted Pinot Noir grape vinesat crop levels. Vitis 32:207- 214.
- PRASAD, R.N., G.J. BANKAR, AND B.B. VASHISHTHA. 2003.** Effect of drip irrigation on growth, yield and quality of pomegranate in arid region. Indian J. Hort. 60:140-142.

- PROIETTI, P AND ANTOGNOZZI. 1996.** Effect of irrigation on fruit quality of table olives (*Olea europea*) cultivar ascolana tenera. New Zealand journal of crop and horticultural science 24: 175 - 181.
- RAMOS, D.; BROWN, L.; URIU, K. Y MARANGONI, B. 1978.** Water stress effects size and quality of walnuts. California Agriculture 32(10): 5-6.
- RAVIV, M., A. KRASNOVSKY, S. MEDINA, AND R. REUVENI. 1998.** Assessment of various control strategies for recirculation of greenhouse effluents under semi-arid conditions. J. Hort. Sci. Biotech. 73:485-491.
- RAZETO, B. 2002.** La fenología del limonero para efectos prácticos. Rev. Aconex (Chile) N° 77: 10-15.
- RAYO L 1994.** Frutificación y producción en olivo. Agricultura, revista agropecuaria 63(746): 725-728
- REYNOLDS, A., AND A. NAYLOR. 1994.** Pinot Noir and Riesling grapevines respond to water stress duration and soil water -holding capacity. HortScience 29:1505-1510.
- RETAMALES, J. Y RAZETO, B. 1985.** Efecto de altos niveles de nitrógeno en parrón de vid cv. Sultanina. Agricultura Técnica 45(1): 53-56.
- RICHARDS, D. Y ROWE, R. 1977.** Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the peach seedlings. Ann. Bot. 41: 729-740.
- ROMERO, P.; BOTÍA, P Y GARCÍA, J. 2004.** Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. Plant and Soil 260: 155-168.
- ROMERO, P.; GARCÍA, J. Y BOTÍA, P. 2006.** Cost-benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. Irrigation Science 24: 175-184.

- SAMISH, R. P AND P SPIEGEL 1961.** The use of irrigation in growing olive for oil production. The Israel of agricultural research 11(2) 87-95.
- SAXTON, K.E., AND P.H. WILLEY. 2006.** The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. p. 401-435. In V.P. Singh and D.K. Frevert (ed.) Watershed models. CRC Press, Boca Raton, FL.
- SCHAFFER, B., P ANDERSEN AND R . PLOETZ 1992.** Responses of fruit trees to fooding. Horticultural reviews 13 257 - 323.
- SCHULTZ, H., AND MATTHEWS. 1993.** Growth, osmotic adjustment, and cell - wall mechanics of ex-panding grape leaves during water deficits. Crop Science 33: 287 - 294.
- SELLES, G., FERREYRA, R Y SELLES, I. (2000).** Riego. En Valenzuela, J (ed). Uva de Mesa en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA pp.145-165.
- SELLES,G., FERREYRA, R., ASPILLAGA, C., Y ZUÑIGA, C. (2012).** Requerimientos de riego en uva de mesa: Experiencias en el valle de Aconcagua -.Boletín INIA 242. 80 P.
- SELLES, G., FERREYRA, _R., RUIZ, R.,; FERREYRA, R. y AHUMADA,R. 2012.** Compactacion de suelos y su control: Estudio de casos en el valle de Aconcagua. : Boletin INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias no. 234. 53 p.
- SELLES G., FERREYRA R., SELLES I., LEMUS G. 2006.** Efecto de diferentes regímenes de riego sobre la carga frutal, tamaño de fruta y rendimiento del olivo cv. Sevillana. Revista Agricultura Técnica Vol 66, N°1. pág. 48-56.
- SELLES V. G., FERREYRA E. R., RUIZ, S. R, Y SELLES M, I.** Efecto del estrés hídrico aplicado en distintos periodos de desarrollo de la vid cv. Chardonnay en la producción y calidad del vino. Agricultura Técnica (Chile). 2003, Vol 63.

- SHAIENDRA, A., AND A. NARENDRA. 2005.** The effect of trickle irrigation on growth, yield and quality of pomegranate (*Punica granatum*) cv. Ganesh in Chhattisgarh region. Mysore J. Agr. Sci. 39(2):175-181.
- SEKSE, L. 1995.** Cuticular fracturing in fruits of sweet cherry (*Prunus avium* L.) resulting from changing soil water contents. J. Hortic. Sci. 70(4): 631-635.
- SHEETS, M.D., DU BOIS, M. L., WILLIAMSON, J.G. 2004.** La Granada. Departamento de Ciencias Hortícolas, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- SMART R. 1974.** Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis Vinifera* L.) Am. J. Enol. Vitic. 25(2): 84 - 91.
- SOLÉ, M. 1990.** The influence of auxiliary drip irrigation, with low quantities of water trees in las garrigas (cv. Arbequina). Acta Horticulturae 286: 307 - 310.
- SOLOMAKHIN, A. Y BLANK, M. 2008.** Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. Plant Growth Regulator 56: 211-218.
- SOTO, R. 1993.** Efecto de las características físicas y químicas de diferentes mezclas de sustratos en el crecimiento de arándanos en maceta. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 63 p.
- SONAWANE, P.C., AND U.T. DESAI. 1989.** Performance of staggered cropping in pomegranate. J. Maharashtra Agr. Univ. 14:341-342.
- SOTOMAYOR, C. 1994.** Todo lo que usted desea saber del olivo (I). Chile Agrícola. Enero-febrero-marzo.

- SPIEGEL, P 1955.** The water requirement of the olive tree, critical periods of moisture stress and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit p 1363 - 1373. XIVth international Horticultural Congress, Netherlands. H. Veenman y zonen publishers, wageningen, netherlands.
- SPIERS, J. 1986.** Root distribution of 'Tifblue' rabbiteye blueberry as influenced by irrigation, incorporated peatmoss, and mulch. Journal of the American Society for Horticultural Science (USA) 111(6): 877-880.
- SPIERS, J.M. 1983.** Influence of N, K, and Na concentration on growth and leaf element content of "tifblue" rabbiteye blueberry. HortScience 18:223-224.
- STEVENS, R., AND G. HARVEY. 1996.** Soil water depletion rates under large grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research. 2:155-162.
- STOLZY, L.; ZENTMYER, A.; KLOTZ, A. Y LABANAUSKAS, C. 1967.** Oxygen difusión, water, and *Phytophthora cinnamomi* in root decay and nutrition of avocados. American Society for Horticultural Science 90: 67-76.
- SUCKEL, F. 2001.** Calibración de métodos no destructivos de estimación de área foliar en vid, variedad Thompson Seedless. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Santiago, Chile. 56p.
- SULOCHANAMMA, B.N., T. YELLAMANDA REDDY, AND G. SUBBI REDDY. 2005.** Effect of basin and drip irrigation on growth, yield and water use efficiency in pomegranate cv. Ganesh. Acta Hort. 696:277-279.
- TEOVIOTDALE, B. Y SIBBETT, G. 1982.** Midwinter irrigation can reduce deep bark canker of walnuts. California Agriculture. Mayo-Junio 1982: 6-7.

- TOMBESI, A. 1994.** Olive growth and metabolism. *Acta Horticulturae* 356: 225-232.
- TORRES, J. 1984.** Ensayos de riego en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Moscatel rosada, en el Valle del Elqui. Universidad de Concepción, Chillán. 103p.
- TOSSO, J. Y TORRES, P. 1986.** Relaciones hídricas de la vid, bajo diferentes niveles de riego, usando goteo, aspersión y surcos. 1. Evapotranspiración y eficiencia de uso del agua. *Agricultura Técnica (Chile)* 46:193-198.
- TORRECILLAS, A.; DOMINGO, R.; GALEGO, R. Y RUIZ-SÁNCHEZ, M. 2000.** Apricot tree response to withholding irrigation at different phonological periods. *Sci Hortic* 85:201-215.
- USSAHATANONTA, S., D. JACKSON., AND R. ROWE. 1996.** Effects of nutrient and water stress on vegetative and reproductive growth in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2:64-69.
- VALORAS, N.; LETEO, I.; STOLZY, I. Y FROLICH, F. 1964.** The oxygen requirements for root growth of three avocado varieties. *American Society for Horticultural Science* 85: 172-178.
- VALENZUELA, L. 2007.** Partidura en cereza: causas y prevención. *Revista Frutícola* 28(2): 54-64.
- VERBIST K, FERNANDO SANTIBÁÑEZ, GUIDO SOTO, MARÍA CONCEPCIÓN DONOSO, DONALD GABRIELS, 2010.** Proyecto elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de américa latina y el caribe unesco 48 p. http://www.cazalac.org/mapa_zs.php
- VITA, F.; LIOTTA, M. AND PARERA, C. 2004.** Effects of irrigation deficit on table grape cv. Superior Seedless production. *Acta Hort.* 646: 183-186.

- WALLIHAN E, GOODALL G, EMBLETON T. 1968.** Iron chlorosis in relation to irrigation practices. California Avocado Society 1968 Yearbook 52 120 - 124.
- WAMPLE, R. 1997.** Grapevine irrigation: Some things to be considered. Washington State University, Irrigated Agriculture Research and Extension Center, Internal Report.
- WINKLER, A. 1974.** General viticulture. Berkeley, California. University of California Press. 720p.
- WILLIAMS L.E, GRIMES DW, PHENE CJ. (2009).** The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines Irrig Sci (2010) 28:233-243.
- WILLIAMS L.E, GRIMES DW, PHENE CJ. (2009).** The effects of applied water amounts at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines. Irrig Sci. doi:10.1007/s00271-009-0173-0.
- WOLSTENHOLME, B. 1986.** Energy costs of fruiting as a yield limiting factor. Acta Horticulturae 175: 121-126
- WRIGHT, G.C., K.D. PATTEN, AND M.C. DREW. 1994.** Mineral composition of young rabbiteye and southern highbush blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 119:229-236
- ZUDE-SASSE, M., SCHAFFER, B. 2000.** Influence of soil oxygen depletion on iron uptake and reduction in mango (*Mangifera indica* L.) roots. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 113: 1-4.
- XILOYANES, C., MONYANARO, G. Y DICHIO, B. (2012).** Kiwifruit. En Studeto, P. Hsiao, T., Fereres, E. y Raes, D. Crop Yield Response To Water. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 66.pp 488-497.

