

CRITERIOS PARA CONTROLAR EL RIEGO EN UVA DE MESA

Gabriel Selles van Sch. Ingeniero Agrónomo Dr.
Raúl Ferreyra Espada. Ingeniero Agrónomo M.Sc.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias

1. INTRODUCCION

El suelo, la planta y la atmósfera constituyen un sistema continuo, en el cual el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas, siendo el medio en que se almacena el agua y el oxígeno que absorben las raíces, y la atmósfera constituye una fuente de demandas de aguas ilimitada.

La planta constituye una unidad conductora entre el suelo y la atmósfera ya que absorbe el agua del suelo y esta circula por el xilema y se pierde a través los estomas de las hojas, hacia la atmósfera por 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 1.

$$T = (\Psi_h - \Psi_a) / R_{est} = (\Psi_s - \Psi_h) / R_{sp}$$

Donde T es la transpiración, 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).

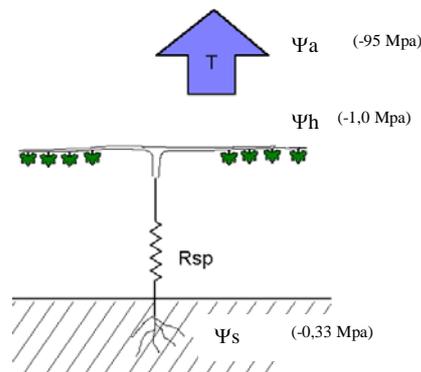


Figura 1 : Flujo transpiratorio en respuesta a gradientes de potenciales hídricos en el sistema suelo planta atmósfera. Entre paréntesis se indican potenciales hídricos representativos en las diferentes partes del sistema

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 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 transpiratorias de las plantas y no provocar déficit hídricos, que afecten su crecimiento y desarrollo (Figura.2).

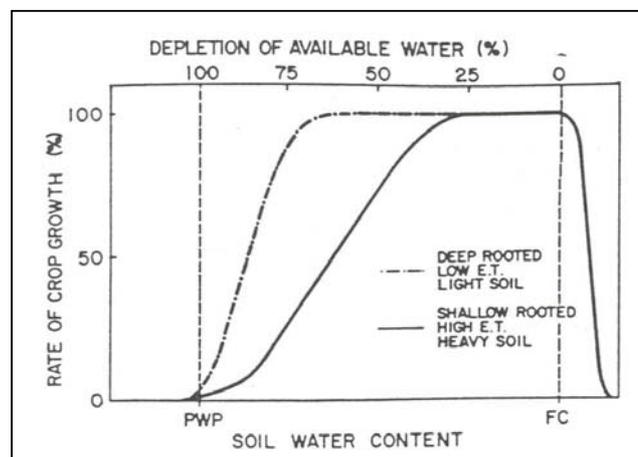


Figura 2.- Relación entre el contenido de humedad del suelo y el desarrollo del cultivo. Los umbrales de riego son más estrechos en cultivos de arraigamiento superficial y de mayor demanda evaporativa

La aplicación de cantidades de agua concordantes con los requerimientos de las plantas y la eficiencia del 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. Por otra parte el manejo del agua a nivel predial, y la calidad del agua de riego, son aspectos importantes en el establecimiento de las buenas prácticas agrícolas. De hecho, las Buenas Prácticas Agrícolas establecidas en el EUREPGAP (Good Agricultural Practices, del Euro Retailer Grups), consideran dentro de su protocolo la predicción de los requerimientos de riego.

2. PROGRAMACION DE RIEGO

La programación de riego consiste en lograr reponer a la planta el agua requerida para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuado, con el objetivo de maximizar su producción o bien obtener un producto de calidad definida. Es así, por ejemplo que en uva de mesa el objetivo de la programación del riego es mantener al cultivo con un abastecimiento hídrico tal que no restrinja su crecimiento y desarrollo.

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

2.1.1. Programación del riego

La etapa predicativa de la programación de riego tiene por finalidad establecer a priori y tiempos y frecuencias de riego 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 (potencial).
- Características propias del cultivo, como son su estado de desarrollo, el período fenológico, la distribución del sistema radicular
- Características propias de el suelo, tales como capacidad de retención de humedad, aireación, profundidad y su variabilidad espacial, entre otras
- En el caso de equipos de riego localizados, características propias de este, como es la intensidad de precipitación real del equipo o el caudal aplicado por planta.

2.1.1.1 Clima

Interesa determinar aquellos aspectos del clima que definen la demanda evaporativa de la atmósfera.

La demanda evaporativa de la atmósfera puede ser determinada a partir de la evapotranspiración de referencia (Eto). Esta se define como la cantidad de agua requerida para satisfacer la demanda de un cultivo bajo, denso, que cubre totalmente la superficie del terreno (pastos), en adecuadas condiciones fitosanitarias y con una humedad del suelo óptima. La evapotranspiración de referencia refleja los efectos climáticos sobre la demanda de agua (anteriormente se hablaba de evapotranspiración potencial). En ella interviene por una parte la radiación solar, la cual depende de la latitud, la altitud, la época del año, la nubosidad y la hora del día. Por otra parte también depende de las condiciones de viento, temperatura y humedad relativa del aire. En consecuencia la Eto es independiente de las características de un cultivo particular.

La evapotranspiración de referencia se puede determinar por varios métodos. Uno de ellos es mediante la utilización de modelos físicos como es el caso de la ecuación de Penman -Monteith. Este método requiere de mediciones de radiación solar, viento, humedad relativa, temperatura y el uso de algunos coeficientes. La gran cantidad de información que requiere hizo que este método fuera poco utilizado con fines de programación de riego durante muchos años. Sin embargo, hoy con el avance electrónico, se han desarrollado estaciones meteorológicas automáticas (figura 3) , de un costo razonable , que permiten medir estos parámetros en tiempo real, y

facilitar los cálculos de Eto mediante el uso de un computador. La ecuación de Penman-Monteith es la siguiente :

a) Cálculo ETo:

Penman-Monteith (base diaria o mensual)

$$ETo = \frac{0.408 \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)}$$

Donde:

- ETo : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm d⁻¹)
- Rn : 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_d) : Déficit de presión de vapor (Kpa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa °C⁻¹)

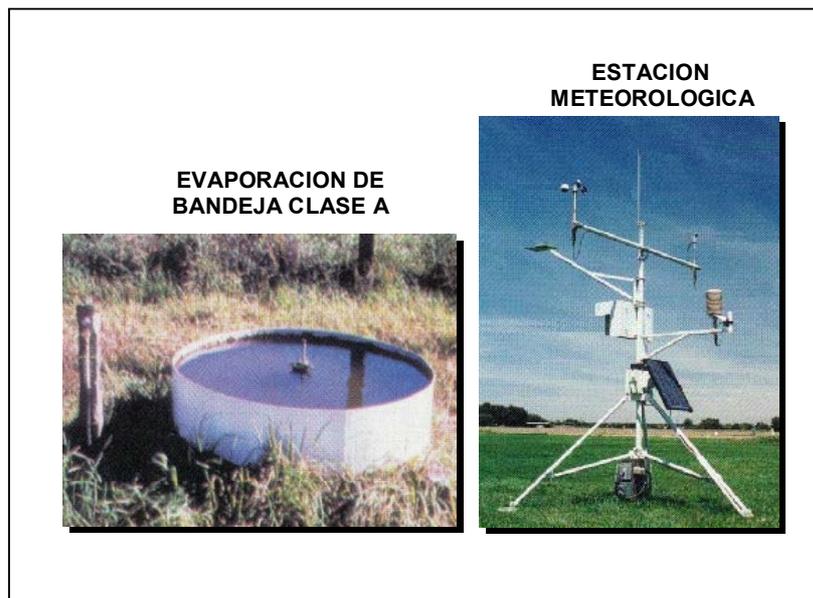


Figura 3 .- Estación meteorológica automática y evaporímetro de bandeja clase A.

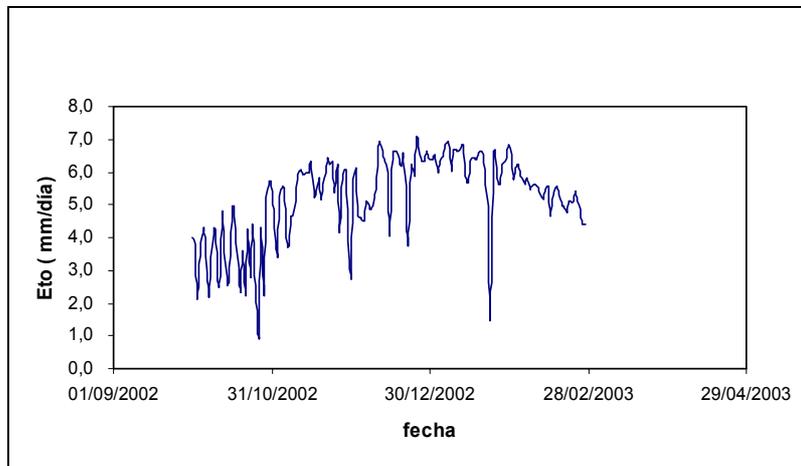


Figura 4 .- Ejemplo de evolución diaria de la Eto medida en tiempo real, utilizando una estación meteorológica automática

Otra forma de estimar la Eto, de uso corriente en Chile y en muchos otros países, como Israel, es mediante un evaporímetro de bandeja clase A (figura 3). Es necesario señalar que el uso e instalación de la bandeja de evaporación se encuentra normado internacionalmente, por lo cual es necesario respetar estas normas para obtener lecturas adecuadas y realizar una correcta interpretación de los valores que se midan.

La bandeja proporciona una medida integrada de los efectos de radiación, viento, temperatura y humedad sobre la evaporación de una superficie de agua. Sin embargo la estimación que se realiza no representa bien la Eto, por lo cual es necesario corregir sus lecturas por un coeficiente (k_p), que toma en cuenta las características de ubicación de la bandeja, y condiciones particulares de viento y humedad relativa, de tal forma que :

$$Eto = k_p \times E_b$$

Donde k_p es un coeficiente adimensional y E_b la evaporación de bandeja (mm/día).

En general en condiciones de campo, los valores de k_p tienen un valor que varía entre 0,6 y 0,8, pudiéndose considerar como promedio 0,7..

Es necesario tener presente que hay otros factores que inciden sobre las lecturas que se realizan en la bandeja, tales como la turbidez del agua (algas), el grado de

deterioro de la bandeja (falta de pintura) y obviamente no respetar las normas de instalación y manejo.

Existen discrepancias respecto de la metodología de medición de la Eto, entre el uso de la ecuación de Penman-Monteith y la bandeja de evaporación. Sin embargo ambas determinaciones han mostrado estimar razonablemente la Eto, al compárasela con las mediciones de Eto realizadas en lisímetros de alta precisión (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación entre estimaciones de Eto realizadas por la ecuación de Penman-Monteith y la bandeja de evaporación y la Eto medida en lisímetros de alta precisión

Método	Todos los meses			Mes de máxima		
	$\frac{ET_{eq}}{ET_{lis}}$	R	EE	$\frac{ET_{eq}}{ET_{lis}}$	R	EE
Penman - Monteith	101	.99	.36	97	.99	.47
Bandeja (FAO)	100	.92	.88	95	.82	1.57

$\frac{ET_{eq}}{ET_{lis}}$: Relación entre ET calculada y ET medida en lisímetro.

R : Coeficiente de correlación ET eq / ET lis.

EE : Error estándar de la regresión.

Es recomendable contar con instrumentos para determinar la Eto en el predio, no obstante es posible utilizar información local de áreas o predios vecinos. De no contar con información en tiempo real, se puede utilizar información histórica disponible, que permite tener una aproximación a la magnitud de la demanda evaporativa de la atmósfera a nivel mensual o diaria, según se requiera. Existen algunas redes en internet que permiten acceder a información meteorológica, lo cual requiere una previa suscripción (Ejemplo Agronetchile.com).

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

2.1.1.2 Características del cultivo

Cada cultivo tiene características propias que determinan sus pérdidas de agua así como también la absorción que realiza de esta desde el suelo. Las pérdidas de agua de las plantas, además de la demanda evaporativa de la atmósfera depende de su arquitectura (forma de la canopia, sistema de conducción), su estado desarrollo (área foliar) y de las características y comportamiento de los estomas, entre otros. La absorción de agua por su parte depende, además de la disponibilidad de agua en el suelo, de la distribución, densidad y sanidad del sistema radicular. En este sentido el área de suelo mojada por los emisores del sistema de riego localizado y las condiciones de aireación del suelo pasan a tener una significativa importancia en la programación del riego, tanto así que estos componentes se deben considerar ya en la etapa de diseño y selección del sistema de riego que se va a utilizar. Por otra parte es necesario tener claro aspectos fisiológicos del cultivo, tales como los períodos críticos y el grado de respuesta que puedan presentar frente a déficit hídricos de algún grado magnitud.

Evapotranspiración máxima del cultivo

La evapotranspiración del cultivo que se produce sin restricciones hídricas se conoce como evapotranspiración máxima (E_{tm}) y su magnitud depende la la E_{to} (condiciones climáticas) y, de las características del cultivo (estructura y resistencia estomática), y de su estado de desarrollo, principalmente del grado de cobertura o desarrollo foliar que este presente , factores que se engloban en un coeficiente adimensional, denominado coeficiente de cultivo (k_c). De esta forma la E_{tm} de un cultivo cualquiera puede ser estimada según la siguiente expresión .

$$E_{tm} = E_{to} * k_c$$

Donde E_{to} representa la demanda evaporativa de la atmósfera o evapotranspiración de referencia y k_c corresponde al coeficiente de cultivo.

El coeficiente de cultivo refleja la diferencia en el consumo de agua entre un cultivo particular (E_{tm}) y la E_{to} de referencia (pasto corto).

El coeficiente de cultivo está estrechamente relacionado con el porcentaje de cubrimiento que tiene la parra, por lo cual el sistema de conducción es un punto

importante a considerar (ejemplo, la cruceta californiana el parrón español). Por lo tanto en la medida que aumenta la cobertura (el porcentaje de sombreado), aumenta el coeficiente de cultivo. Por otra parte, al otoño, cuando las hojas comienzan a madurar y se vuelven senescentes, el coeficiente de cultivo disminuye. El porcentaje de cubrimiento del suelo se puede relacionar con algunos estados fenológicos de la vid. Coeficientes de cultivos normalmente utilizados en uva de mesa, bajo sistema de parronal español se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. valores de kc para distintas variedades de uva de mesa (Selles et al 2001)

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 6 mm	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

Estudios recientes realizados en California, por Larry Williams, en uva Thompson S, en lisímetro de alta precisión, muestran que el coeficiente de cultivo esta linealmente relacionado con el porcentaje de sombreado del suelo, como se muestra en la Figura 5.

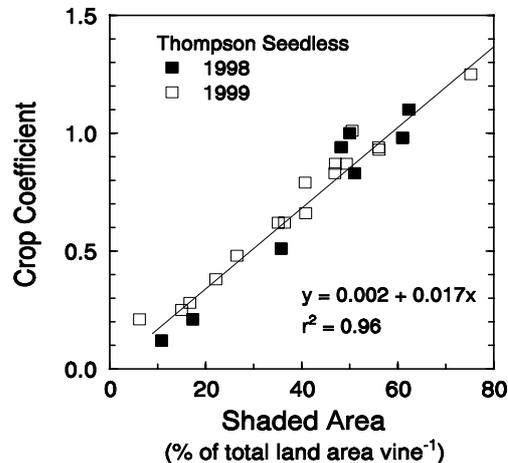


Figura 5. Relación entre el porcentaje de sombreado del suelo y el coeficiente de cultivo en uva de mesa , $kc = 0,017 * \% \text{ de Sombramiento}$. (Williams , 2003)

De acuerdo a estos resultados el coeficiente de cultivo puede presentar valores superiores a los presentados en el cuadro 2. Trabajos realizados en Aconcagua, en uva de mesa Crimson San Felipe, han mostrado que para mantener las plantas en adecuadas condiciones hídricas el coeficiente de cultivo a partir del mes de diciembre alcanza a 1 y en enero se ha llegado hasta 1,15.

Por lo tanto el coeficiente de cultivo es un valor que hay que tomar con cuidado, ajustándolo mediante control del estado hídrico del suelo o de la plantas.

Desarrollo radicular y área de suelo mojado

El desarrollo radicular de las plantas esta definido genéticamente, varía de acuerdo a la especie que se utilice, fundamentalmente, de acuerdo a las características del portainjerto que se utilice. Sin embargo, las condiciones del medio pueden limitar o estimular el desarrollo de las raíces(propiedades físicas del suelo por ejemplo).. Existe en términos generales un equilibrio funcional entre el desarrollo y funcionamiento del sistema radicular y el comportamiento de la parte área y productivo de las plantas, a mayor desarrollo radicular mayor producción. Materia seca de la parte área y mayor producción (Figuras 6 y 7).

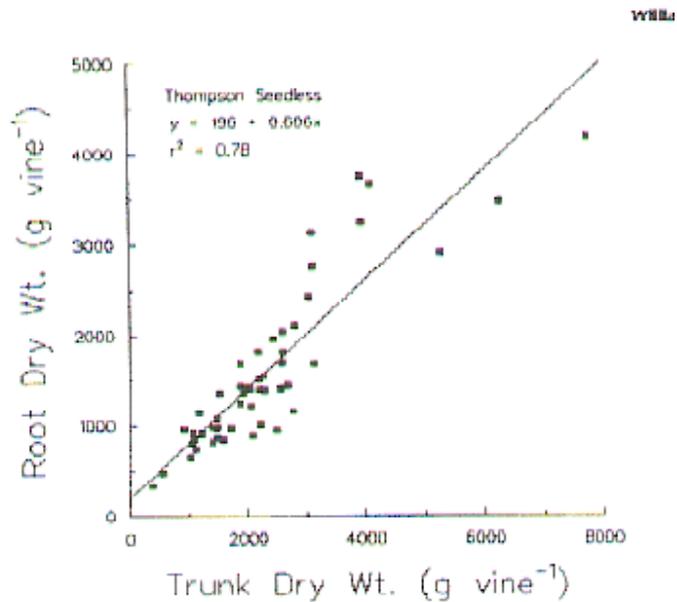


Figura 6. Relación entre el peso seco del tronco y el peso seco del sistema radicular en vides variedad Thompson Sedles (Williams1996)

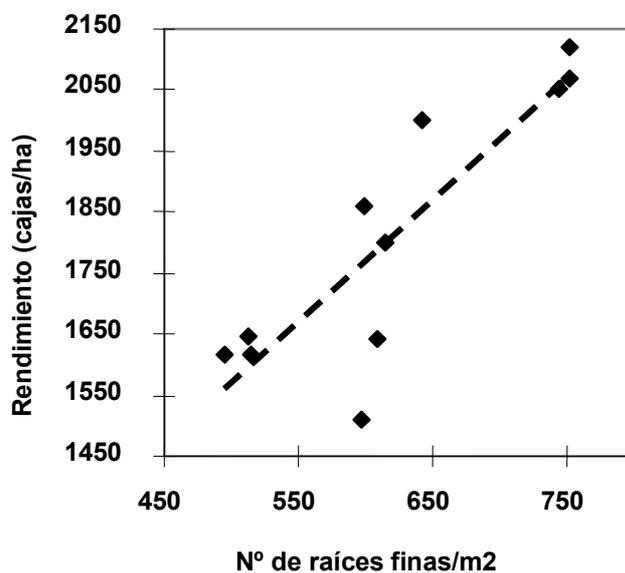


Figura 7. Relación entre el número de raíces finas por metro cuadrado de suelo y rendimiento (Cajas/has), en uva de mesa, var. Thompson Sedles (Fuente INIA)

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 mayores puntos de emisión, es decir el aumento del área mojada, es la solución a este problema.

En el caso de riego por goteo, el tamaño del bulbo húmedo producido por los emisores esta estrechamente ligado a las características físicas del suelo. En suelos de textura fina mayor es el movimiento lateral por lo tanto más ancho es el bulbo de mojamiento. Por el contrario, en los suelos arenosos, el bulbo se alarga en profundidad. Una alternativa para aumentar el área de suelo mojada es el uso de más de una línea de goteo, o bien el uso de microaspersión. Otra forma que se puede mejorar la distribución de agua en el suelo, en particular en aquellos de textura fina (franco a franco- arcillosa) es mediante la aplicación de mayores volúmenes de agua en cada riego (golpes de agua), dejando luego periodos sin riego (3 a 4 días, riego en baja frecuencia) para permitir la aireación del bulbo de mojamiento. Finalmente, en este tipo de suelos es posible aumentar el área de suelo mojada, cambiando la lateral de posición, por ejemplo, cada cierto número de riegos, se traslada la lateral al centro de la hilera, aplicando un golpe de agua.

Períodos críticos y efectos de deficits hídricos

En la programación de riego es necesario tomar en cuenta también 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 (Figura 8).

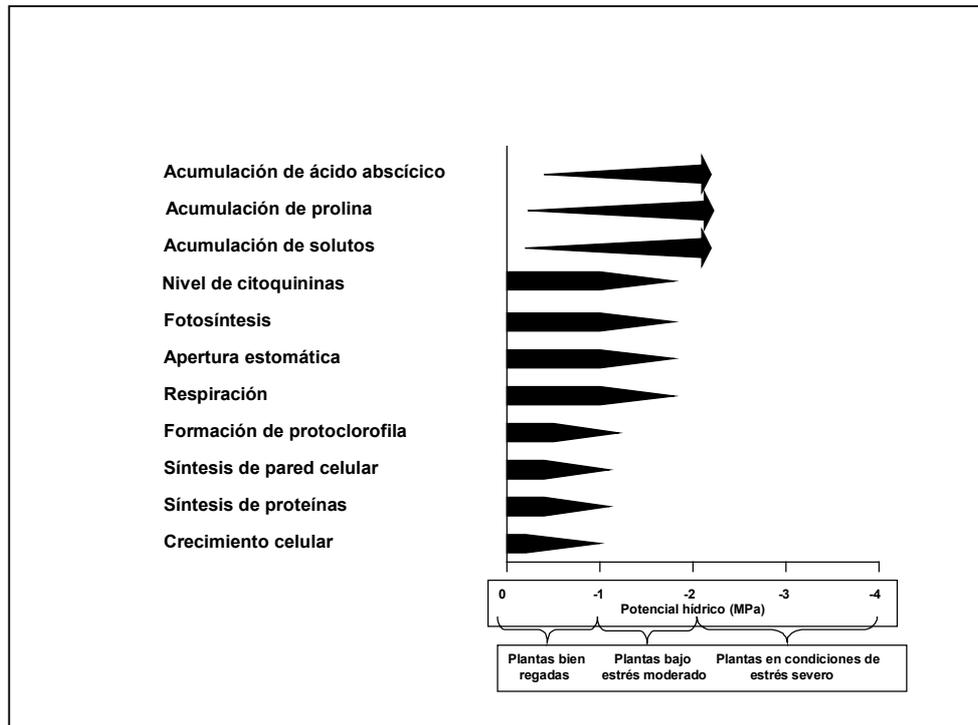


Figura 8. Sensibilidad al déficit hídrico de diferentes cultivos (Fuente Bradford y Hsiao, 1982)

En uva de mesa el consumo de agua comienza con la brotación, y aumenta a medida que el dosel (área foliar) se desarrolla y la demanda evaporativa de la atmósfera (demanda climática) aumenta, llegando a su máximo aproximadamente en el mes de diciembre – enero. Desde el punto de vista de riego, en la uva de mesa se pueden distinguir cuatro períodos. El primer período abarca desde brotación hasta floración, donde existe un bajo consumo de agua y la humedad almacenada en el suelo, luego de las lluvias invernales (o del riego invernal si el año es muy seco) puede ser suficiente para satisfacer estos requerimientos. Normalmente no se observan déficits hídricos en este período, salvo en suelos muy delgados de baja retención de humedad y cuando se utilizan cubiertas vegetales. El segundo período va desde la floración hasta la pinta (o envero). Este período es crítico desde el punto de vista de manejo del agua, ya que corresponde a un período de intensa división y elongación celular. La fruta en este período alcanza cerca del 80% de su tamaño final (Figura 9), por lo cual un estrés en este período afecta el tamaño final del fruto y es irreparable. Por otra parte en este período están creciendo los brotes y el follaje, lo entregará el potencial fotosintético para el transporte de asimilados hacia las bayas en el período de maduración. Los brotes van a asegurar el potencial productivo para la temporada siguiente.

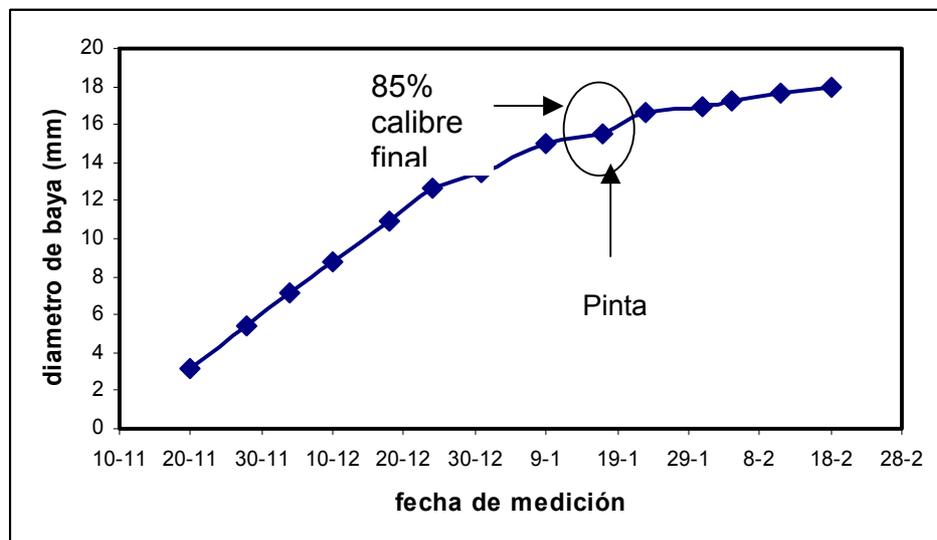


Figura 9. Curva de crecimiento de bayas de la variedad Crimson Seedless en Aconcagua. A la pinta (14 de enero) la baya alcanza mas del 80% de su diámetro final

Una tercera etapa desde el punto de vista del riego va desde pinta hasta la cosecha., donde se produce un importante transporte de azúcares hacia las bayas. Durante este período es posible reducir moderadamente el riego sin afectar el tamaño final de los frutos, un exceso de riego puede retrasar la madurez de la fruta, favoreciendo además las enfermedades fúngicas. También es recomendable reducir riego en las variedades vigorosas, para reducir el crecimiento de los brotes. La última etapa del riego va desde poscosecha hasta caída de hojas. El riego en este período puede ser reducido, de tal forma de mantener el follaje, pero no estimular nuevos crecimientos de brotes y permitir que la madera madure, en particular en variedades de cosecha temprana. Cuando las temperaturas bajan y las hojas han caído, puede ser recomendable realizar un riego profundo para llenar el perfil de suelo, en particular en inviernos secos.

En vides, como en otras especies frutales, el crecimiento vegetativo es más sensible al déficit hídrico que el crecimiento de la fruta, por lo cual es importante no estresar la plantas durante el período de crecimiento vegetativo y desarrollo de hojas, las que son responsables de la fotosíntesis y además protegen la fruta de golpe de sol. El grado de efecto que tiene el déficit hídrico sobre el desarrollo de las bayas depende de la época en que este se produce. 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 denominada fase I de crecimiento de la baya, que va desde la floración hasta la pinta es la más sensible, ya que corresponde a un período de división y elongación celular. En esta fase queda definido el número final de células, las que posteriormente solo aumentaran de tamaño. El crecimiento de las bayas entre pinta

y cosecha es menos susceptible a los déficit hídricos (fase III), durante este período hay elongación de células formadas en la fase I y también existe un importante transporte de azúcares hacia las bayas, a través del floema, que en esta fase es la principal vía de flujo de agua y asimilados, el xilema disminuye considerablemente su funcionalidad. Incluso se ha observado que en el período de madurez, a medida que aumenta el riego, disminuye la concentración de azúcares en la baya y aumenta la acidez de la fruta.

2.1.1.3 Propiedades físicas de los Suelos

El desarrollo del sistema radicular de las plantas se ve directamente afectado por las condiciones de humedad, aireación, temperatura y de resistencia mecánica que se producen en los suelos (Figura 10).

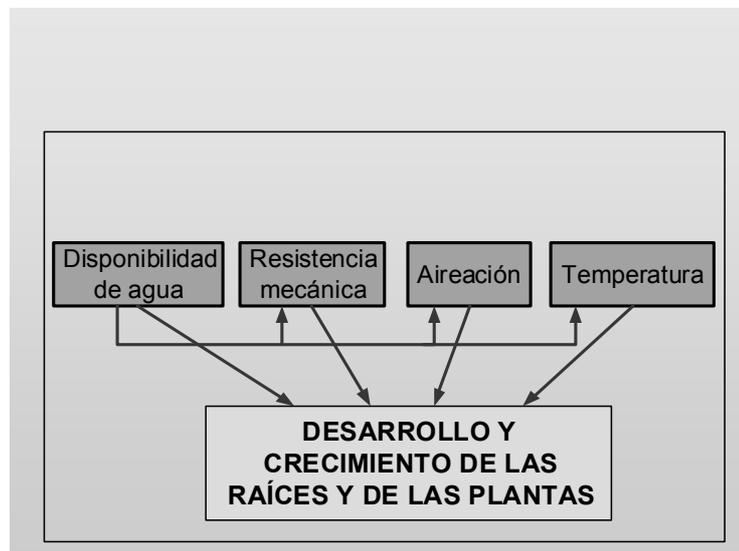


Figura 10.- Factores que afectan directamente el desarrollo del sistema radicular de las plantas.

De los cuatro factores mencionados, el contenido de humedad es el que controla el comportamiento de los restantes, en la mayor parte de los casos. La interrelación agua-aireación es opuesta a la interrelación agua-resistencia mecánica, en sus efectos sobre las raíces, de este modo al incrementarse el contenido de humedad, disminuye la resistencia mecánica, sin embargo, en casos extremos puede reducirse la aireación y llegarse a un cuadro de asfixia radical. Una interpretación similar debe ser considerada para la interrelación agua-temperatura versus agua-resistencia mecánica. Así por ejemplo, la mantención de contenidos de humedad relativamente altos, a fin de reducir la resistencia mecánica, aún cuando no produzca efectos sobre la aireación, conduce a una situación de suelo más frío o más difícil de

calentar, por cuanto se está aumentando la capacidad térmica volumétrica del suelo. Los efectos de la aireación del suelo sobre el crecimiento de las plantas, pueden provenir por fenómenos de oxidorreducción de constituyentes del suelo, los cuales a su vez influyen sobre el crecimiento y productividad de los cultivos; o bien por reducciones en la concentración de oxígeno y en la tasa de difusión del mismo, que afecta la respiración a nivel radicular .

Los factores antes mencionados están estrechamente ligados, y muchas veces determinados por las propiedades físicas de los suelos. Dentro de estas propiedades se pueden mencionar la textura del suelo, la estructura, distribución y tamaño de poros y los fenómenos de resistencia mecánica del suelo.

En el espacio poroso del suelo se distinguen, de acuerdo a su tamaño, macroporos y microporos. Los macroporos (diámetro superior a $50\ \mu\text{m}$), son esenciales para el flujo del aire que suministra el oxígeno para el crecimiento de raíces y la fauna edáfica. La mayor parte de las especies frutales requiere sobre un 14 a 15 % de macroporosidad, sin embargo hay algunas, como los arándanos cuyos requerimientos de macroporosidad son mayores, cerca del 40 a 50%.

Los microporos, , en cambio retienen el agua, la cual, dentro de ciertos límites, puede ser absorbida por las plantas. En términos generales los suelos arenosos tienen una porosidad total menor que los suelos de texturas más finas (franco arcillosos a arcillosos), sin embargo predominan los macroporos por lo cual la retención de humedad en este tipo de suelos es menor. Al contrario los suelos de textura más finas presentan una mayor porosidad total, pero predominan los microporos, por lo cual su capacidad de retención de humedad es alta. En estos suelos en consecuencia, la macroporosidad es menor que la de los suelos más gruesos, lo que puede traer problemas de aireación, especialmente cuando aumentan los fenómenos de compactación (Figura 11) .

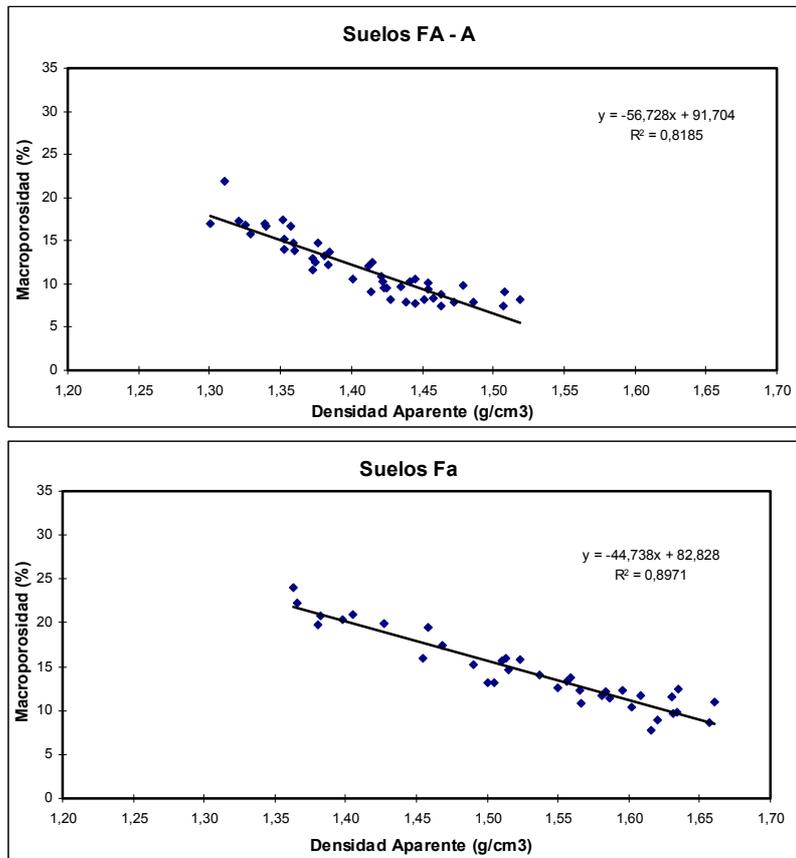


Figura 11. Efecto de la compactación (aumento de densidad aparente) sobre la macroporosidad de suelo. En la imagen superior suelo de textura franca arcillosa a arcillosa (FA-A) . En la figura inferior, para un suelo de textura franca arenoso (Fa) (Fuente INIA)

El suelo, se comporta como un estanque que almacena agua, que posteriormente será utilizada por las plantas. Clásicamente la cantidad de agua disponible para ser utilizada por las plantas, denominada **Humedad aprovechable (HA)**. Esta cantidad de agua estaría comprendida entre dos valores límites, uno superior, denominado Capacidad de Campo y otro inferior, denominado Porcentaje de Marchitez Permanente . Valores típicos de estos parámetros se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3: Valores típicos y rango de variación de CC, capacidad de campo, PMP, porcentaje de marchitez permanente , HA , humedad aprovechable para suelos de diferentes clases texturales . Los intervalos normales son consignados entre paréntesis (fuente Grassi,).

Textura del suelo	CC (%)	PMP (%)	HA (CC – PMP) Gravimetrico (%)	Altura de agua aprovechable (mm/m de suelo)
Arenoso	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	80 (60 - 100)
Franco arenoso	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 8)	120 (90 - 150)
Franco	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	170 (140 - 200)
Franco arcilloso	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	190 (160 - 220)
Arcillo arenoso	31 (27 - 35)	15 (12 - 17)	16 (13 - 17)	210 (180 - 230)
Arcilloso	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	18 (16 - 20)	230 (200 - 250)

Dentro de este criterio clásico, el rango óptimo de contenido de agua para el crecimiento de las plantas se encuentra entre la capacidad de campo (CDC), y límite inferior con un valor definido como **umbral de riego**, contenido de humedad bastante superior al porcentaje de marchitez permanente, PMP. El concepto de umbral de riego se ha aplicado ampliamente en el riego superficial. En el caso de los sistemas de riego localizado, al menos la teoría dice que los riegos se deben realizar diariamente, manteniendo un alto contenido de humedad de suelo en la zona del bulbo húmedo (cercano a capacidad de campo), no teniendo importancia la capacidad de almacenaje del suelo. Hoy en día se ha visto que en suelos de baja macroporosidad y de alta capacidad de retención de humedad, el criterio de frecuencia diaria no da los resultados esperados, produciéndose zonas de mucha saturación y , bulbos de pequeño tamaño, lo que afecta el desarrollo radicular por falta de una adecuada aireación. De tal manera, que 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 agrológico, a escala apropiada, que permita separar unidades de suelo homogéneas, en cuanto a su textura, estructura, secuencia de estratas y profundidad. Incluso el diseño de los equipos de riego debiera considerar la variabilidad de suelos existentes, para evitar problemas posteriores en el manejo de los equipos. Para cada unidad homogénea es recomendable realizar una determinación "in situ" (sin disturbar el suelo) de la densidad aparente del suelo y capacidad de campo, para derivar parámetros tales como la porosidad total y macroporosidad, en particular en suelos de texturas finas, que son los que presentan las mayores dificultades de manejo del agua de riego.

Como paso preliminar 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 (figura 12), en cuanto a sus propiedades físicas las propiedades. Por otra parte el conocimiento de la variabilidad espacial de los suelos es básica para realizar el diseño de equipos de riego localizado, en particular la sectorización y selección de emisores.

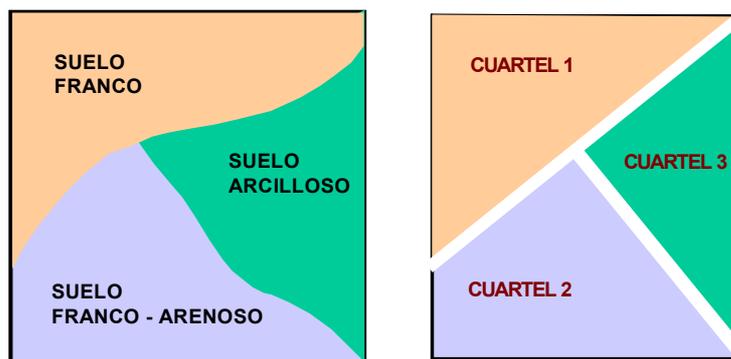


Figura 12 Sectorización de cuarteles y del equipo de riego de acuerdo a la variabilidad espacial del suelo

2.1.1.4 Determinación del tiempo y la frecuencia de riego

Tomando en consideración los antecedentes anteriores es posible establecer tiempos y frecuencias de riego

Tiempo de riego

El tiempo de riego corresponde a las horas que debe operar cada sector del equipo de riego para suplir la E_{tm} del cultivo. En zonas de lluvia se debe considerar la

magnitud de las precipitaciones, ya que parte de las necesidades serían suplidas por estas.

El tiempo de riego requerido para suplir la Etm del cultivo debe considerar el marco de plantación, la eficiencia de aplicación del método de riego el número de emisores por planta y la descarga de los emisores, de acuerdo a la siguiente relación:

$$Tr = \frac{(Etm - Pp) * DEH * DSH}{Efa * q * N}$$

Tr, es el tiempo de riego en horas/día

Etm, es la evapotranspiración máxima del cultivo en mm/día

Pp= precipitación efectiva, mm

DEH, corresponde a la distancia entre hileras

DSH, corresponde a la distancia entre hileras

Q, corresponde a la descarga real del emisor, L/h

N, corresponde al número de emisores por planta

Efa, es la eficiencia del método de riego, en tanto por uno

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 de tal manera de tener el valor real del caudal por sector de riego y su coeficiente de uniformidad. Esto por que los emisores van sufriendo taponamientos o bien por que no se regula adecuadamente la presión de los sectores. Mediciones periódicas de presión (semanal a quincenal) y de gasto de emisores (dos a tres veces en la temporada) son parte indispensable de la programación del riego.

El tiempo de riego se puede calcular como horas de riego por día, sin embargo, como se verá a continuación, los riego se podrán realizar diariamente, aplicando el tiempo de riego estimado, o bien " acumulando horas de riego", de tal manera de realizar riegos más espaciados en el tiempo (2 a 3 días por ejemplo).

Frecuencia de riego

En el riego localizado en frutales, hasta hace algunos años atrás, los programas de riego localizado solo consideraban altas frecuencias de aplicación de agua (riegos diarias) 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 (riegos cada 2 o tres días) se han

mostrado más promisorios . Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo puede significar problemas desde el punto de vista de la aireación de suelo, el 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 la capacidad de retención de humedad del suelo, el umbral de riego y el porcentaje de suelo mojado por los emisores, lo que se obtiene de estudios de terreno. Como referencia se puede considerar un agotamiento de entre el 15 al 35% de la humedad aprovechable, aplicada al volumen de suelo mojado por los emisores, dependiendo de las propiedades físicas del suelo que se trate.

En Experiencias realizadas en vides de mesa (variedad Thompson Seedless) en el Valle de Aconcagua, en suelos de textura franco arcillosa, de baja macroporosidad se evaluaron tres frecuencias de riego distintas, regando cada vez que la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETm) equivalía a 9,3 mm (equivalente a 6 horas), 18,6mm (equivalente a 12 horas) y 27,9 mm (equivalente a 18 horas de riego). El volumen total de agua aplicado en la temporada fue igual para los diferentes tratamientos. Los resultados indicaron que cuando se disminuye la frecuencia de riego, aplicando un mayor volumen de agua en cada riego se logra formar un bulbo de mayor tamaño y un aumento del desarrollo radicular en el perfil de suelo (Figura 13). Lo anterior se reflejó en mayor crecimiento vegetativo y mayor calibre de las bayas y la producción exportable. Lo anterior se atribuye a mejores condiciones de equilibrio agua aire en el suelo.

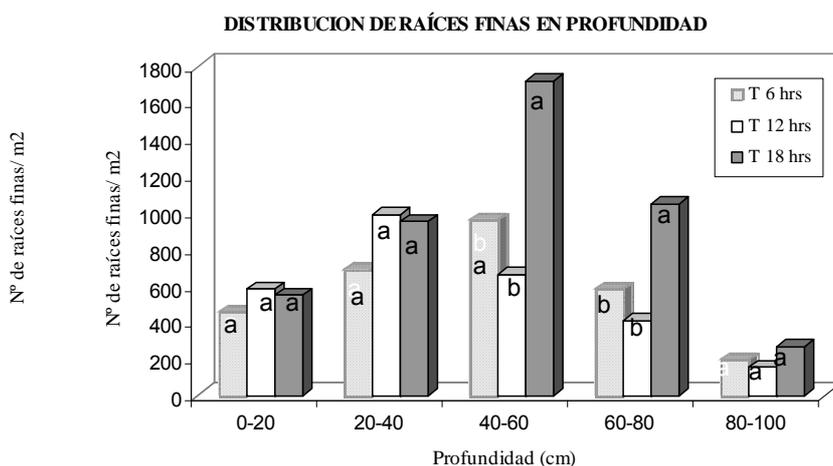


Figura 13.- Distribución de raíces en profundidad en vides de mesa Thompson Seedless, sujetas a diferentes frecuencias de riego (fuente Selles et al 2003).

Una forma de ordenar la información para determinar la programación de riego de un cultivo es mediante el uso de planillas de cálculo, donde queda registrada la información necesaria. En esta planilla se anota los valores de la evaporación diaria y se determina los tiempos de riego diarios.

En el Cuadro 11, se presenta una planilla a modo de ejemplo con un programa de riego de baja frecuencia acumulando horas de riego, aplicado en Aconcagua.

Cuadro 4.- Ejemplo Programa de riego acumulando de horas diarias de riego y las horas que realmente se debe regar.

**PROGRAMA DE RIEGO MES DE NOVIEMBRE 2002, CURIMON
VAR. CROIMSOM SEEDLESS**

DSH	3 m	q emisor	3,5 L/h
DEH	3,5 m	Efa	90
Nº got	6 planta	Cu	85
lpp (neta)	1,53 mm/hr	mm acum	27,54 mm
horas acum	18 horas		

Día	Eto actual (mm/día)	kc	Etm actual	Lluvia mm	mm acumul	horas acuml	
mes anterior	3,80	0,60	2,28	0,00	15	9,8	
1	4,282	0,61	2,62	0,00	17,6	11,5	
2	2,559	0,63	1,60	0,00	19,2	12,6	
3	4,973	0,64	3,17	0,00	22,4	14,6	
4	5,2	0,65	3,38	0,00	25,8	16,8	Riego
5	7,606	0,66	5,04	0,00	5,0	3,3	
6	3,488	0,68	2,35	0,00	7,4	4,8	
7	4,751	0,69	3,27	0,00	10,7	7,0	
8	4,494	0,70	3,15	0,00	13,8	9,0	
9	4,535	0,71	3,23	0,00	17,0	11,1	
10	5,186	0,73	3,76	0,00	20,8	13,6	
11	5,011	0,74	3,70	0,00	24,5	16,0	Riego
12	4,904	0,75	3,68	0,00	3,7	2,4	
13	4,99	0,76	3,80	0,00	7,5	4,9	
14	4,99	0,78	3,87	0,00	11,4	7,4	
15	5,27	0,80	4,22	0,00	15,6	10,2	
16	4,57	0,81	3,69	0,00	19,3	12,6	
17	4,57	0,81	3,72	0,00	23,0	15,0	
18	4,98	0,82	4,09	0,00	27,1	17,7	Riego
19	4,26	0,83	3,53	0,00	3,5	2,3	
20	5,06	0,84	4,23	0,00	7,8	5,1	
21	5,48	0,84	4,61	0,00	12,4	8,1	
22	5,578	0,85	4,74	0,00	17,1	11,2	
23	5,463	0,86	4,68	0,00	21,8	14,2	
24	4,903	0,86	4,23	0,00	26,0	17,0	Riego
25	5,524	0,87	4,81	0,00	4,8	3,1	
26	3,674	0,89	3,26	0,00	8,1	5,3	
27	5,129	0,90	4,64	0,00	12,7	8,3	
28	5,475	0,90	4,93	0,00	17,6	11,5	
29	4,766	0,90	4,29	0,00	21,9	14,3	
30	2,788	0,90	2,51	0,00	24,4	16,0	Riego

2.2. Control de riego

Así como los programas fitosanitarios se apoyan en el monitoreo de plagas, o en los programas de fertilización se realizan análisis foliares y de suelo, el programa de riego también deben ser controlado, para poder ajustar los tiempos y frecuencias a las necesidades específicas del cultivo y a las características de los suelos.

El balance que se realiza a través de un registro de evapotranspiración no asegura que esté cumpliendo en la realidad. Es posible que esté subestimado o sobrestimando la evaporación del cultivo, o que la velocidad de infiltración de agua al suelo haya sufrido variaciones debido a depósitos superficiales o compactación, o que por algún otro motivo no este regando con la cantidad correcta (por ejemplo, obturación de emisores en riego localizado). Debido a esto, es necesario contar con mecanismos de control de riego.

El primer mecanismo de control es la evaluación periódica de la descarga, presiones y uniformidad del equipo de riego

Los otros mecanismos son el control del estado hídrico del suelo y/o el estado hídrico de la planta. Los métodos basados en parámetros obtenidos de las plantas tienen la ventaja de que integran el contenido de humedad de toda la zona radical, pero requieren de instrumentos especiales y una interpretación más cuidadosa.

2.2.1 Control del estado hídrico del suelo

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. El control de humedad permite determinar la profundidad del riego y determinar si este es excesivo deficitario. En el caso de riegos localizados, permite además definir y conocer el comportamiento del bulbo húmedo que generan los emisores

Es necesario indicar 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 sirvan como una herramienta adecuada para mejorar el manejo de riego de los parronales

Uso de barrenos y calicatas

Entre los métodos de control al 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 observar el estado general del suelo y del 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 raíces (Figura 14).



Figura 14.- Control de humedad de suelo mediante calicatas

Uso de instrumentos

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 o potencial mátrico o instrumentos que pueden cuantificar el contenido de humedad volumétrico del suelo. Ambos parámetros están íntimamente relacionados. A medida que disminuye el contenido de agua del suelo aumenta la energía de retención de estas por parte de la matriz del suelo (disminuye el potencial mátrico). Esta relación depende de las características texturales y estructurales del suelo (Figura 15)

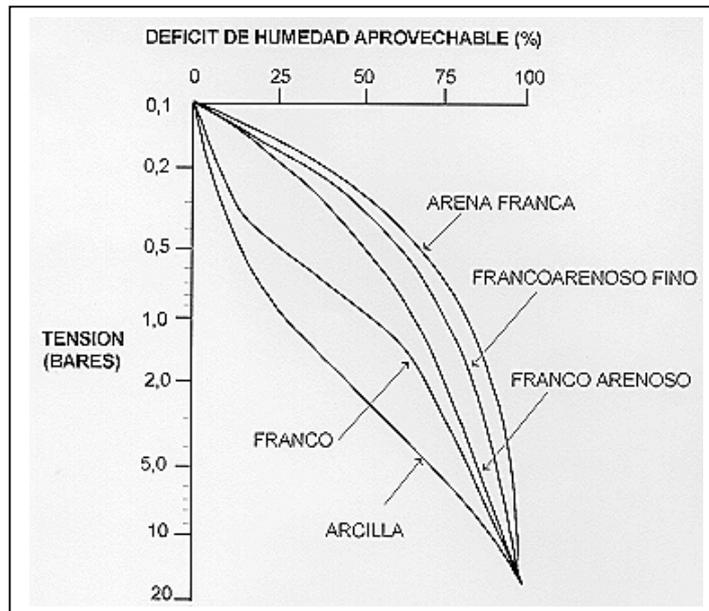


Figura 15 Relación entre el contenido de humedad del suelo y la energía de retención del agua (Potencial mátrico)

Dentro de los instrumentos que miden la energía del agua en el suelo se encuentran los tensiómetros, ampliamente conocidos, y los bloques de resistencia eléctrica (Water marker). Los tensiómetros miden la energía de retención del agua en el suelo hasta 60 a 70 kPa (60 a 70 centibares, cb) solamente, sin embargo en este rango se encuentra más del 50 % de la humedad aprovechable del suelo. Los Watermarker registrar valores mayores, sin embargo han mostrado muy poca sensibilidad a rangos altos de humedad en el suelo, que es el caso normal en riego localizado

Son instrumentos útiles, sin embargo requieren de cuidado en su colocación y determinar claramente su ubicación respecto del sistema radicular de las plantas y realizarles una adecuada mantención

Dentro de los equipos que miden humedad de suelo se encuentran sensores conocidos con el nombre de sondas Capacitivas o FDR.

El FDR (Frequency Domane Refractometry) es un instrumento que basa su medición en la constante dieléctrica del suelos, la cual varía en función del contenido de humedad de este. La constante de un suelo seco es del orden de 4 a 10, en cambio la del agua pura es del orden de 80. El sensor esta constituido por un sonda con un par de electrodos (anillos circulares) conectados a un oscilador. Cuando esta sonda se introduce en el suelo, a través de un tubo de acceso de PVC , el campo

eléctrico se activa utilizando una radio frecuencia y su variación registra el contenido de humedad. Los instrumentos traen una curva de calibración incorporada, sin embargo se pueden presentar errores de medición en suelos con contenidos salinos sobre 1 dS/m o suelos heterogéneos. Es muy importante que los tubos de acceso de PVC queden muy bien ajustados al perfil de suelos para obtener lecturas adecuadas, ya que bolsones de aire entre el tubo y el suelo invalidan las lecturas. Es posible trabajar con las curvas de calibración estándares que traen los equipos, para diferentes texturas de suelo, no obstante es indispensable al menos calibrar las curvas estándar con el contenido de humedad a **capacidad de campo** de cada suelo, medido "in situ", a objeto de tener un patrón de comparación real de las lecturas, determinando si la humedad esta por sobre a bajo este valor, y cuanto es esta diferencia. El contenido de humedad a capacidad de campo se puede obtener por mediante mediciones de humedad al término del período de lluvias invernales, o bien realizando pretilles en torno a los tubos, los cuales se inundan con abundante agua para saturar el perfil de suelo, se deja drenar durante 48 a 72 horas y luego se mide el contenido de humedad con la sonda (para evitar la evaporación directa el pretil se cubre con un mulch de paja)

Independiente del sistema de medición de humedad que se utilice es necesario tener presente la variabilidad espacial de la distribución de humedad que se produce tanto al interior del bulbo húmedo generado por el gotero como entre los diferentes sectores del campo, para definir el número y posición de los puntos de medición de humedad, de tal manera que estos sean representativos . En cada estación de control de humedad , a lo menos se debieran considerar tres puntos de medición, al centro de la línea de plantas, al centro de la entre hilera y en un punto intermedio (Figura 16). Es recomendable previo a la colocación de los instrumentos (tensiómetros o tubos para FDR), ver en calicatas la forma y distribución de la humedad del bulbo húmedo y donde se concentran las raíces.



Figura 16 Ubicación de tubos para la medición representativa de la humedad de suelo.(izquierda). A la derecha sonda DEVINER 2000 ..

Un ejemplo de medición con de humedad utilizando una sonda FDR se presenta en la Figura 17.

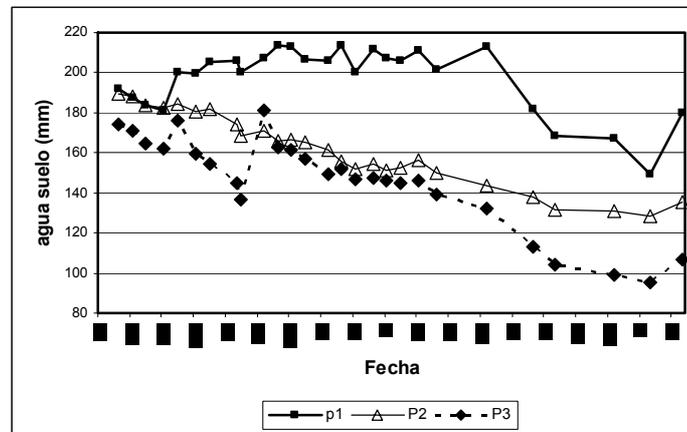


Figura 17.- Ejemplo de lecturas de humedad de suelo con un FDR. P1, corresponde a la humedad medida sobre la hilera de plantas, P2 a la humedad medida a 70 cm de la hilera de plantas y P3 a la humedad medida al centro de la entre hilera (ver figura 16). En el caso de la figura no se ha realizado una calibración “in situ”. Las lecturas corresponden a la calibración estándar del equipo para las condiciones texturales del suelo .

De acuerdo a la figura 17, el contenido de humedad se mantiene alto sobre la hilera, sin embargo existe una disminución progresiva de humedad en las otras dos posiciones, lo que señala la gran extracción de agua que realizan las raíces en esta zona y la necesidad de ampliar el bulbo de mojado (Figura 18).

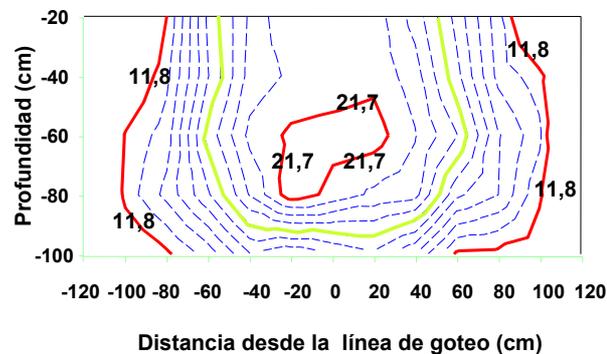


Figura 18, Distribución de humedad en un bulbo de goteo, los contenidos de humedad varían desde el centro del bulbo hacia la periferia del mismo. Las diferentes líneas representan la distribución del contenido de humedad (Selles et al 2001)

2.2.2. Control del estado hídrico en 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 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

- **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 xilemática se puede medir con una cámara de presión conocida también con el nombre de bomba Scholander (Figura 23).



Figura 19. Representación esquemática de una cámara de presión

Existen dos técnicas de medición, una que permite medir el potencial xilemático (Ψ_x) y otra que mide el potencial foliar (Ψ_f).

Para obtener el potencial xilemático (Ψ_x) es necesario envolver las hojas en una bolsa plástica y papel de aluminio, para bloquear la transpiración, y luego de dos horas se las hojas envueltas cortan al nivel del peciolo 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 peciolo 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 especial cuidado en el muestreo y en el tiempo transcurrido entre el corte y la medición de las hojas, para que no se deshidraten durante la manipulación. Es posible realizar varias repeticiones , de acuerdo a variedades y tipos de suelo.

El potencial foliar (Ψ_f) se mide en hojas que transpiran. Para Ψ_f la hoja se cubre solo con una bolsa de polietileno inmediatamente antes de realizar la medición.

Durante el día, la tensión de la savia aumenta como consecuencia del aumento en la demanda evaporativa de la atmósfera, por lo cual el potencial xilemático disminuye, llegando a su punto mínimo cerca del medio día (Potencial mínimo) y a su valor más alto antes de amanecer (Potencial de base) , cuando no hay evaporación (figura 20). 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.

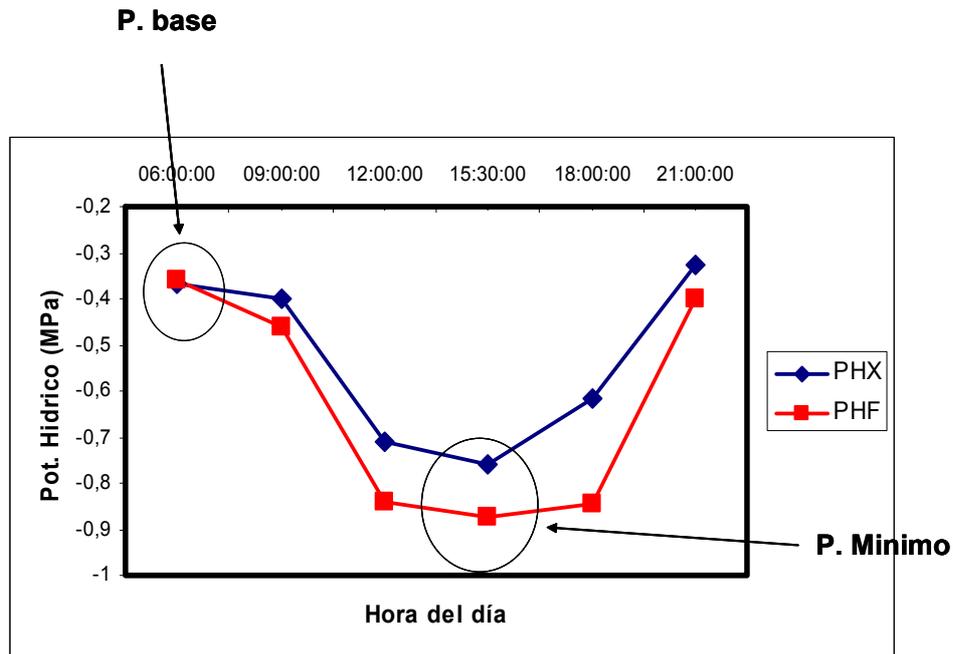


Figura 20, evolución diaria del potencial hídrico xilemático (PHX) y del potencial hídrico foliar (PHF) en vides de mesa variedad Crimson Sedles, (valle de Aconcagua 3 de diciembre 2002)

Los valores que se obtienen de mediciones de Ψ_f son más negativos que los que se obtienen de mediciones de potencial xilemático (Ψ_x , del orden de 0,2 a 0,3 MPa (2 a 3 bares), Figura 21. Por otra parte, las evidencias experimentales existentes muestran que las mediciones de potencial xilemático son menos variables, representando mejor la condición hídrica del árbol y además permiten determinar con mayor precocidad posibles déficit hídricos que se están generando, de tal manera que en los últimos años las mediciones se realizan en hojas cubiertas.

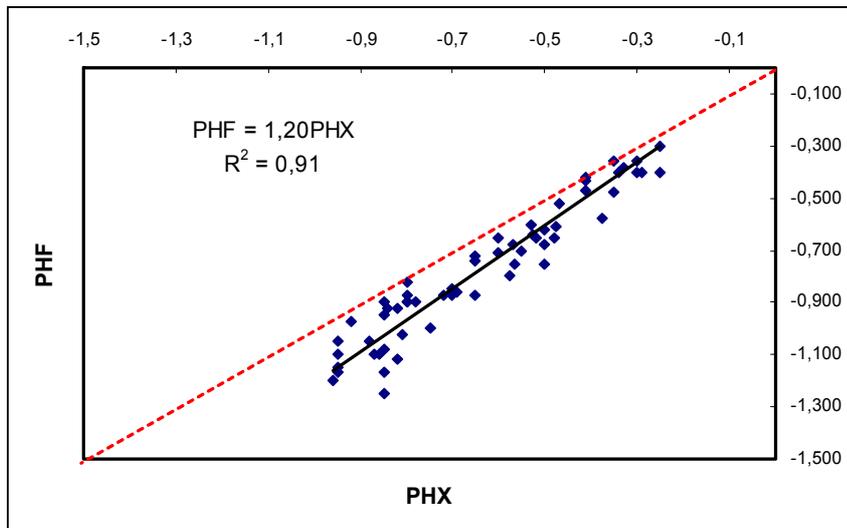


Figura 21. Relación entre el potencial hídrico xilemático (PHX), en Mpa, y el potencial hídrico foliar (PHF), ambos en MPa. (Potencial medido a medio día en variedad Crimson S., valle de Aconcagua, (Fuente: INIA, Selles et al, datos no publicados, proyecto FONDECYT 1020836)

Las mediciones de potencial xilemático se deben realizar en hojas expuestas al sol, no existiendo grandes diferencia entre las mediciones que se realizan en hojas asoleadas ubicadas a la altura de los alambres del parrón u hojas asoleadas que están por sobre los alambres (Cuadro.12), plantas regadas con 100% de la Etc.

Cuadro 12. Potencial xilemático (MPa) medido a medio día, en hojas asoleadas, ubicadas en el tercio medio de los brotes, a la altura de los alambres del parrón (canopia alambres) y en brotes que se desarrollan sobre los alambres (dosel elevado). Plantas regadas con 100% de la Etc, 10 de enero 2003). Fuente: INIA, Selles et al, datos no publicados, proyecto FONDECYT 1020836)

Muestra	Potencial xilemático (MPa)	
	Dosel alambres	Dosel elevada
1	-0,78	-0,80
2	-0,70	-0,80
3	-0,73	-0,75
4	-0,85	-0,85
5	-0,82	-0,87
6	-0,85	-0,85
7	-0,78	-0,8
8	-0,76	-0,75
9	-0,85	-0,75
10	-0,72	-0,75
11	-0,71	-0,75
12	-0,7	-0,82
Promedio	-0,77	-0,79
Des. Est	0,06	0,05
CV%	-7,77	-5,69

La Figura 22a muestra el comportamiento del potencial xilemático medido a medio día, en plantas de vid de mesa variedad Crimson S , regadas a 100 % de la Etc. En la figura 22 b, se muestra que existe una clara relación entre el potencial hídrico promedio medido cuaja y pinta y la tasa de crecimiento de las bayas en ese mismo período.

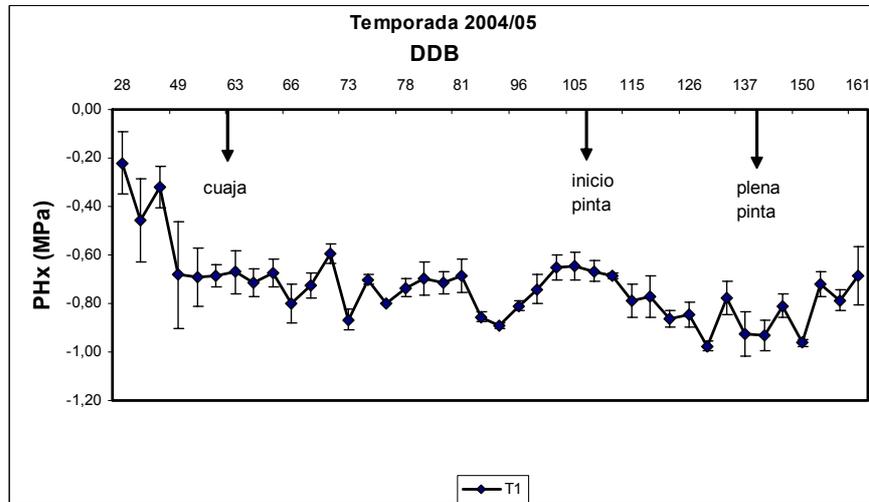


Figura 22a, evolución estacional del potencial hídrico xilemático de vides variedad Crimson S., regadas a 100% de Etc. Valle de Aconcagua

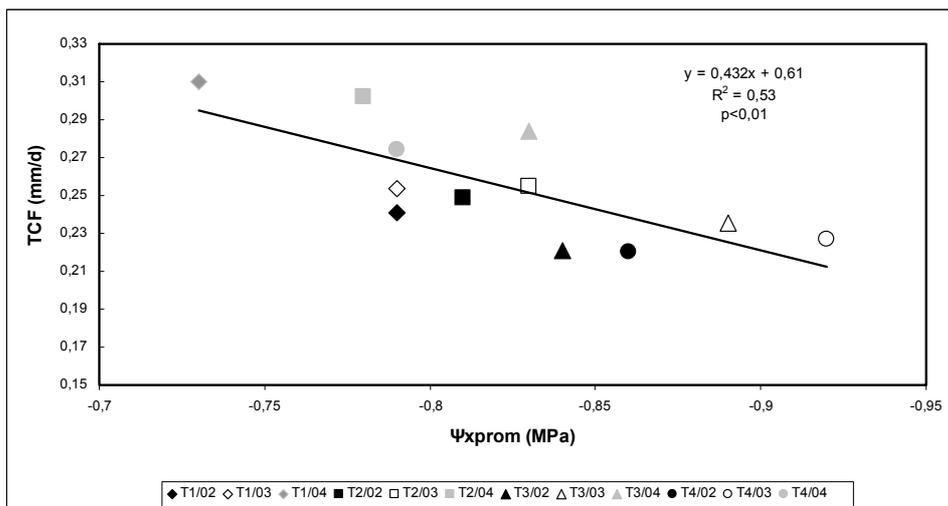


Figura 22b, Relación entre el potencial hídrico promedio, medido a medio día, en el período de cuaja a pinta (ψ_{xprom} , MPa) y la tasa de crecimiento de las bayas (TCC, mm/día) . vides variedad Crimson S., Valle de Aconcagua

Valores de potencial hídrico xilemático medidos en la zona central de Chile que reflejan un adecuado estado hídrico de las plantas, para diferentes especies se presentan en el cuadro 13

Cuadro 13 Potenciales hídricos xilemáticos (MPa) medidos a medio día, en diferentes variedades adecuadamente regadas

Cultivo	Plantas con suministro de agua Normal (Ψ_x , MPa)	
	Vides mesa Thompson Seedless (San Felipe)	-0,6
Vides de mesa Flame Seedless (Nancagua)	-0,65	-0,9
Vides de mesa Crimson Seedless (Curimón)	-0,7	-0,80

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, especialmente con los valores de agua en el suelo medidos a 70 cm de la hilera en el centro de la entre-hilera (figura 22, c). Por lo tanto el potencial hídrico xilemático refleja bien las condiciones más restrictivas de suministro de agua para las plantas por parte del suelo. 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 . La cámara de presión tiene la ventaja que permite realizar muchas mediciones en un tiempo relativamente corto.

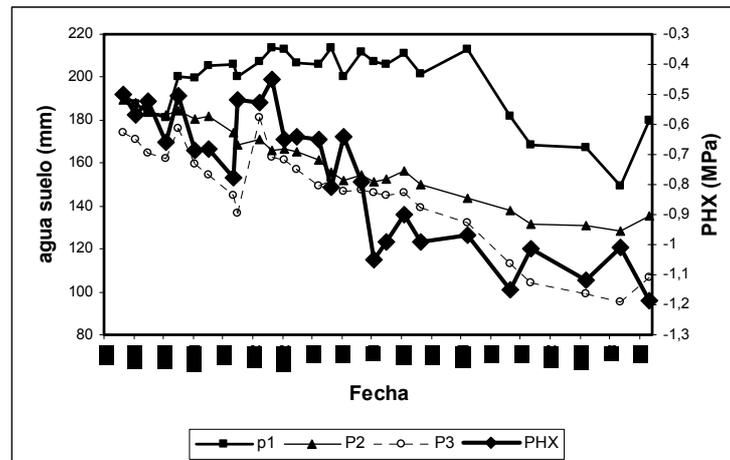


Figura 22 c. Variación del contenido de agua en el suelo sobre la hilera de plantas (P1), a 70 cm de la hilera de plantas (P2), en el centro de la entre hilera (P3) y variación del potencial xilemático (PHx) medido a medio día. Para ver ubicación los puntos de medición de humedad referirse a la figura 16

Más detalles sobre las características y el uso de la cámara de presión se pueden encontrar en Selles van Sch., G. ; Ferreyra E., R. Maldonado B., P. (2002).- Cámara de Presión. Instrumento para controlar el riego midiendo el estado hídrico de la planta. Aconex 75: 5-9.

- **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 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 23). 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 negativo. La tendencia del crecimiento diario permite determinar si las condiciones de riego son optimas 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 de 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.

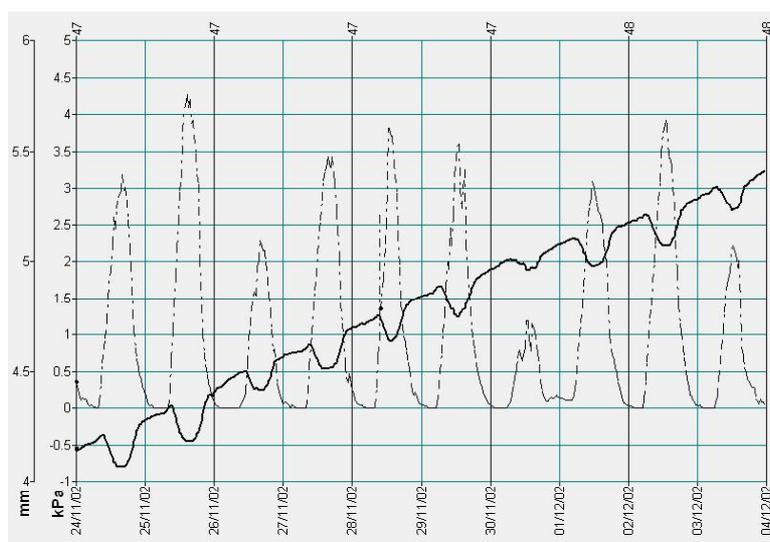


Figura 23 Secuencia de la variación diaria del diámetro del tronco en vid de mesa var. Crimson Sedles. La línea punteada corresponde a la demanda evaporativa de la atmósfera (Fuente: INIA, Selles et al, datos no publicados, proyecto FONDECYT 1020836)

Un ejemplo de la respuesta del crecimiento del diámetro de tronco de vides var. Crimson Seedless, regadas con diferentes cantidades de agua a lo largo de la temporada se presenta en la Figura 24.

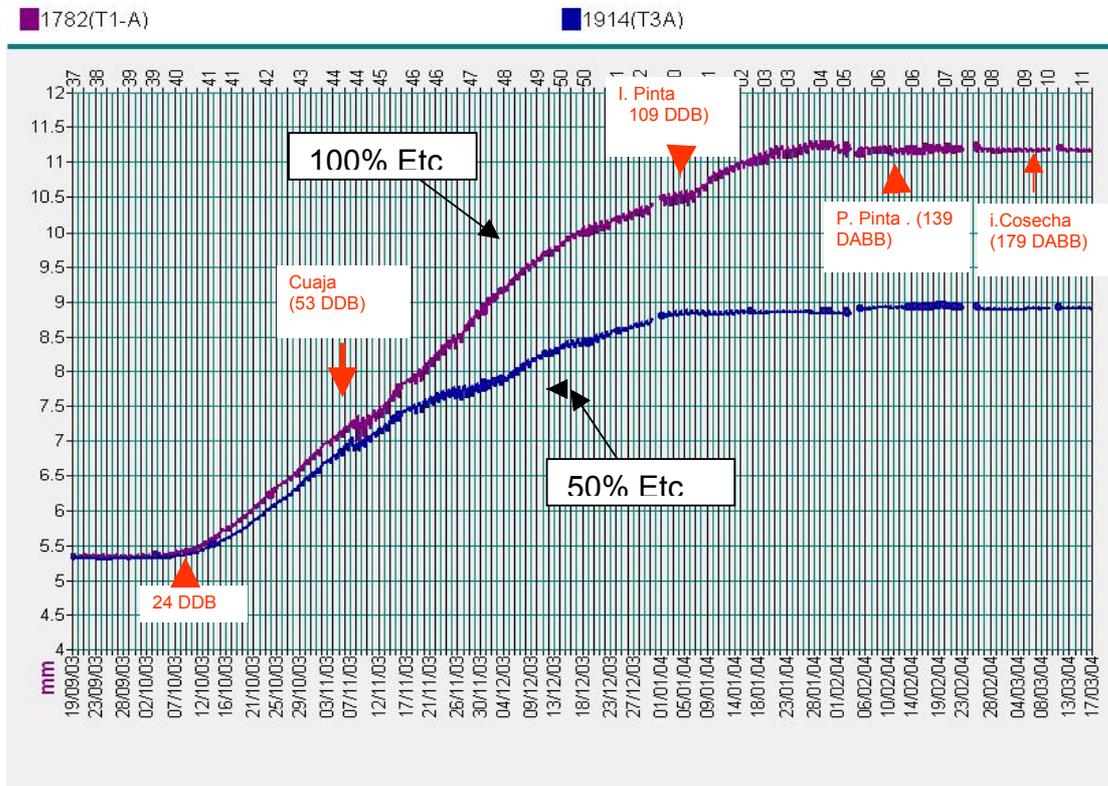


Figura 24a Crecimiento del tronco de plantas regadas con diferentes cantidades de agua (100% y 50% Etc) , medidos con dendrómetros (vides var. Crismom S.) (Fuente: INIA, Selles et al, datos no publicados, proyecto FONDECYT 1020836)

Se ha visto que existe una buena correlación entre la tasa promedio de crecimiento de los troncos y la velocidad de crecimiento de las bayas, en el período comprendido entre cuaja y pinta (figura 24b), donde la baya adquiere más del 80% de su calibre final.

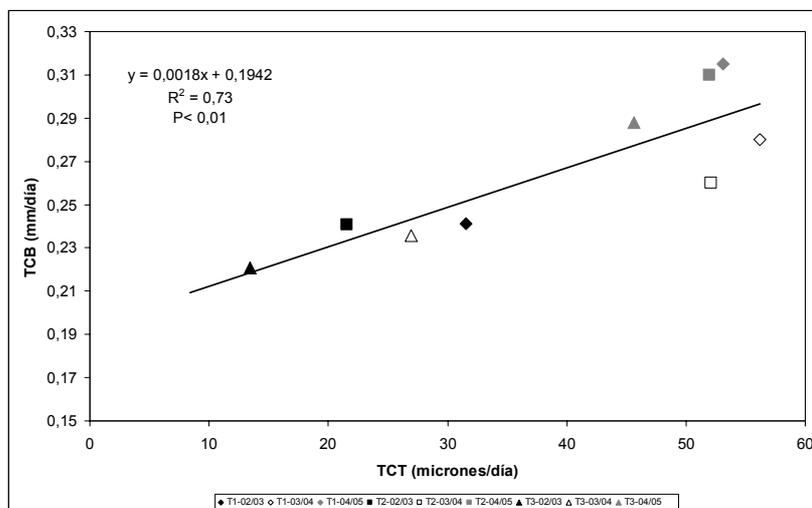


Figura 24b Relación entre la tasa de crecimiento del tronco (TCT, $\mu\text{m}/\text{día}$) y la tasa de crecimiento de las bayas (TCB, $\text{mm}/\text{día}$), en el período comprendido entre cuaja y pinta.

Es necesario tener presente que la tasa de crecimiento de los troncos está estrechamente ligado con el desarrollo de otros órganos (como los frutos), por lo cual la correcta interpretación de este indicador debe tomar en cuenta este hecho. Por otra parte interviene la edad de la planta, en plantas jóvenes la tasa de crecimiento es mayor que en plantas adultas. Una forma práctica de abordar este aspecto es mantener en el huerto un sector “testigo” el cual este adecuadamente regado, e ir comparando el comportamiento del resto del huerto para realizar los ajustes de riego que se requieran. Por otra parte la carga frutal también afecta la tasa de crecimiento de los troncos, por lo cual no es posible establecer valores umbrales fijos. La tasa de crecimiento diaria del tronco (figura 24b), ha mostrado ser muy sensible a la reducción de aplicaciones de agua, en particular entre floración y pinta, donde estas alcanzan alrededor del 80% de su diámetro final. Por otra parte se ha visto en experimentos de campo, que la tasa de crecimiento de tronco, medida con dendrómetros electrónicos es más sensible y precoz en la determinación de déficit hídricos moderados que la cámara de presión

Este sistema, denominado bioprogramador, o fitomonitor, esta compuesto por un captor de desplazamiento lineal o dendrómetro electrónico, que se ubica en la base del tronco de la planta, y mide variaciones del orden de 1 micron (0,001mm), el cual va conectado a una central de adquisición de datos, lo que permite que realiza mediciones en forma permanente. Estos fitomonitores pueden estar equipados de otros sensores, para medir diámetro de frutos, temperatura de hojas o humedad de suelo (figura 27). Hay modelos que se comunican a la central de adquisición de datos mediante cables y los más recientes lo hacen en forma inalámbrica (ondas de radio),

lo que permite hacer mediciones hasta 300 m de distancia de la central en tiempo real. La información se baja a un computador para ser procesada y analizada.

También existen dendrómetros mecánicos en los cuales se deben realizar lecturas dos veces al día, temprano en la mañana para determinar el diámetro máximo del día, y a medio día para determinar el diámetro mínimo

Este sistema podría permitir una automatización del riego en el caso de los sistemas presurizados (goteo y microaspersión), sin embargo su aplicación masiva requiere más investigación.



Figura 24 Esquema de un fitomonitor, con diferentes sensores. (1) dendrómetro de tronco (2) dendrómetro de rama (3) sonda de humedad de. suelo