LÍNEAS DE GESTIÓN DEL RIEGO: UMBRALES PARA INTERPRETAR LOS DATOS DE HUMEDAD DEL SUELO REGISTRADOS POR SONDAS DE CAPACITANCIA

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas

Callejas Rodrigo. Ing. Agr. Dr. sc. agr.
Navarrete Jaime. Ing. Agr. Mg.Sc.
Rioseco Maximiliano. Lic. Cs. Agr.

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto "Mejoramiento de la competitividad de la fruticultura a través del uso eficiente del agua de riego y energía eléctrica", Región de O´Higgins, financiado con fondos FIC.

Relación suelo-agua-planta

El agua es el componente fundamental de todo sistema productivo y define, en gran medida, la posibilidad de alcanzar altos rendimientos. Constituye entre el 80 a 95% de la masa de los tejidos vegetales en crecimiento yforma el medio donde ocurren la mayoría de las reacciones bioquímicas de la célula, esenciales para la vida vegetal (Taiz y Zeiger, 2007). Además, los nutrientes minerales, que se necesitan para el crecimiento y los productos orgánicos de la fotosíntesis, son transportados a través de la planta mediante soluciones acuosas (Nobel, 2005).

Adaptar una nueva tecnología extranjera a la agricultura nacional, requiere normalmente grandes cuotas de innovación local, muchas veces no valorada por aquellos que se dicen especialistas en esta materia.

El uso correcto de nuevas tecnologías y de las terminologías que se utilizan para su aplicabilidad en terreno, deben respetar el conocimiento tradicional que se encuentra ampliamente respaldado en la literatura, de manera de no provocar confusión de conceptos.

La extracción de agua del suelo por parte de la planta se rige por la demanda hídrica atmosférica, formando un continuo de agua que va desde el suelo, pasando a través de la planta, hasta los sitios de evaporación en las hojas (Nobel, 2005).De esta forma, la evapotranspiración (ET) es uno de los principales componentesde la pérdida de agua de los ecosistemas terrestres (Morales, 2010), por lo que su cuantificación es de gran importancia para estimar las necesidades de riego de los cultivos (**Figura 1**).

Figura 1. (izquierda) Tanque evaporímetro rodeado por un cultivo verde, (derecha) Estación meteorológica.

La ET por definición, es la combinación de dos procesos: evaporación y transpiración. La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa desde el suelo y los cuerpos de agua. La transpiración, por otra parte, es el proceso mediante el cual el agua es conducida desde el suelo hacia la atmósfera a través de la planta, siendo liberada como vapor de agua a través de los estomas.

Por otra parte, el rendimiento y calidad de la fruta están directamente relacionados con el manejo del agua en el suelo (Sellés *et al*.,2003; Vita *et al*., 2005), de tal manera que resulta fundamental integrar las propiedades hidráulicas del suelo como uno de los factores determinantes para la obtención de un óptimo producto comercial. Es dentro de este concepto que Gispert *et* al. (2013) y Raine *et al*. (2007) destacan la importancia de conocer las características del suelopara manejar el riego de forma óptima y eficiente, con miras a alcanzar sistemas productivos sustentables.

El agua dentro del suelo está sometida a distintos procesos, dentro de los cuales la retención, el almacenamiento y la conducción tienen gran injerencia sobre las respuestas fisiológicas de la planta. Estas propiedades dependen del sistema poroso, el arreglo de partículas y la distribución de sus distintos tamaños dentro de un volumen de suelo (Jury *et al*., 1991). Así, las diferentes especies vegetales tendrán distintas capacidades de soportar días sin riego según el suelo en el cual se estén desarrollando y el objetivo productivo para el que estén destinadas.

Muchas de las funciones importantes del suelo, tales como su capacidad tampón, infiltración, transporte de químicos (incluyendo nutrientes y contaminantes) y el transporte de agua hacia las raíces de la planta ocurren en la zona no saturada, definida normalmente como zona vadosa, la cual se ubica entre el nivel freático y la superficie del suelo (Dexter, 2004). En esta zona, la fase líquida se encuentra confinada entre las superficies sólidas del suelo y el aire presente en él (Jury *et al*., 1991).

La localización del agua en el suelo tiene una directa implicancia sobre el desarrollo de las raíces de la planta. Se sostiene que el sistema radical de los árboles frutales se concentra en el volumen de suelo mojado por el sistema de riego, aumentando la densidad radical y la eficiencia de extracción de agua y nutrientes (Box, 1996). Al respecto, y de acuerdo a las observaciones de Gispert *et al*. (2013), para lograr el éxito productivo de una especie frutal no siempre es necesario alcanzar grandes volúmenes de suelo mojado.

Según Ruiz (2000), la calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las plantas; es así como, en general, existe concordancia en afirmar que mayores producciones están relacionadas a un mayor desarrollo del sistema radical (Richards, 1983; Honorato *et al.,* 1988, 1990; Davies y Zhang, 1991; Silva *et al.,* 1991; Ruiz, 2000; Sellés *et al.,* 2003; Ruiz *et al.,* 2007; Callejas*et al.,* 2012) (**Figura 2)**.

En situaciones de riego de alta frecuencia, uno de los principales factores que limita la producción y calidad de la fruta es una inadecuada relación entre el agua y el aire en el suelo (Sellés *et al*., 2000). En épocas en que existe desarrollo del sistema radical, el suelo debe contar con la humedad óptima para que esto ocurra. En este sentido, el contenido de agua no debe ser excesivo, debido a que se dificulta la difusión de oxígeno en el suelo, afectando la respiración de las raíces (Ferreyra *et al*., 2001)

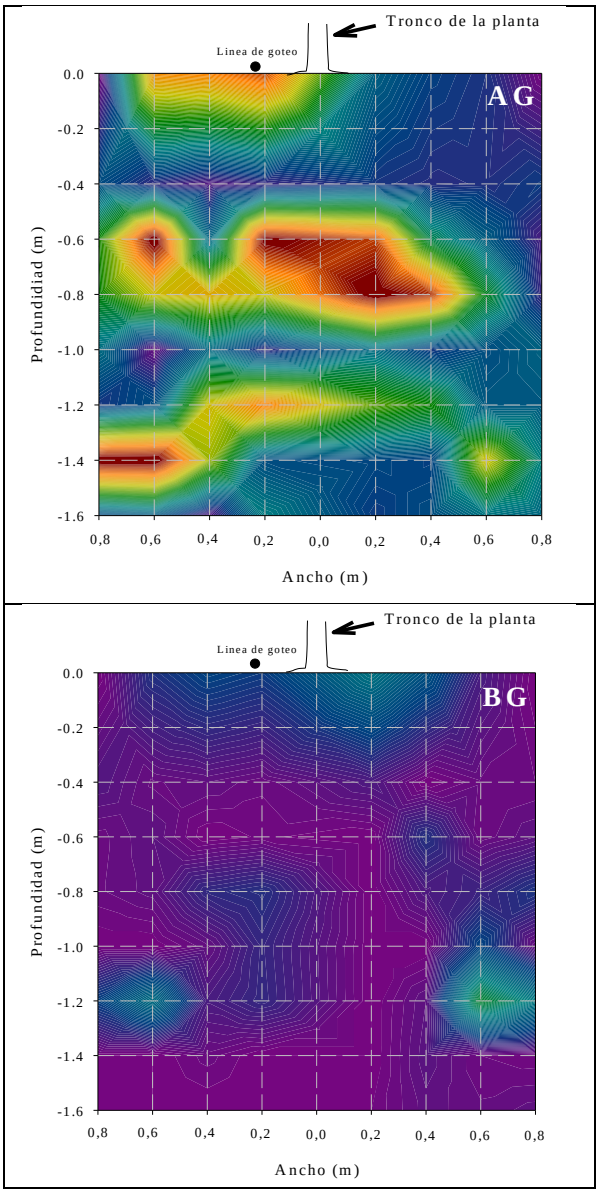


Figura 2. Mapas de densidad de raíces en vid Sultanina (nº raíces/400cm^2), de diámetro menor a 0,5 mm en plantas de alto (AG) y bajo (BG) potencial productivo en suelo de textura gruesa (G). Callejas *et al.* 2012.

Programación del riego

La estrategia de riego, en general, ha sido abastecer con suficiente agua las áreas cultivadas, permitiendo que las plantas transpiren a su máximo potencial a través de la temporada, lo que implica un alto costo para los agricultores (Fereres y Soriano, 2007).

El concepto de programación del riego, consiste en la utilización de una o varias metodologías que permitan definir **cuándo y cuánto** regar de manera de alcanzar la máxima eficiencia en el uso del agua de riego sin afectar los rendimientos. Los métodos se pueden agrupar en la determinación del estado hídrico de la planta, el estado hídrico del suelo, el microclima del medio circundante y/o la determinación del balance hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera (Castilla y Montalvo, 2005). Según investigaciones en naranjo (Fares y Alva, 2000) y duraznero (Mounzer *et al*., 2008), el monitoreo del estado hídrico del suelo en tiempo real es el que presenta el mayor potencial como herramienta para la programación del riego, debido a que entrega la posibilidad de evaluar la extracción y movimiento del agua en y bajo la zona de raíces.

Método basado en el estado hídrico del suelo

El gran desafío que se han planteado los especialistas en tecnologías de control del riego a nivel de suelo, es crear un instrumento cuyo precio de venta se encuentre al alcance de los agricultores. Adicionalmente, debe ser seguro de manipular, duradero, realizar mediciones lo más precisas posibles (menor interferencia de la temperatura y sales del suelo) en un amplio rango de texturas de suelo, facilidad de instalación, mínima mantención, que permita lecturas frecuentesy la posibilidad de automatizar el acceso a los datos registrados por el instrumento.

A pesar que la suma de características positivas sea mayor a las desventajas del sistema, lo que importa es que los agricultores validen la tecnologíaen terreno, a través de la obtención de mejores rendimientos, calidad de fruta, desarrollo de raíces y ahorro en el consumo de agua y fertilizantes.

De acuerdo a lo anterior, queda de manifiesto que la primera tarea para el productor es elegir el método o equipo más adecuado según su realidad, lo que no es sencillo, dado que en muchos casos se prefiere simplemente lo más barato por sobre la calidad del producto y el servicio.

La segunda dificultad a superar, y que requiere un proceso de iteración en el aprendizaje, es la gestión de la información, entendiéndose por esto: manejo del computador u otro dispositivo para descargar la información, aprender a conectarse directamente a los equipos, entender las configuraciones, ordenamiento de los archivos, etc.

Finalmente, el tercer punto y más importante, es aprender a transformar los datos en información útil, de manera que la interpretación permita tomar las decisiones de tiempo y frecuencia de riego, respondiendo así la gran pregunta de todo agricultor; ¿cuánto y cuándo debo regar?

Sondas de capacitancia

Uno de los métodos modernos para determinar la humedad del suelo,se basa en la medición de la constante dieléctrica del suelo a través de capacitancia y la imposición de un campo electro magnético dentro del suelo (Rius, 2005). Esto es posible, dado que la frecuencia depende del contenido de agua que hay en el suelo que rodea el sensor que crea dicho campo eléctrico (Martín de Santa Olalla *et al.* 2005; Howell y Meron, 2007), principio que utiliza la sonda EnviroScan® (Sentek, Australia) para su funcionamiento(**Figura3**).

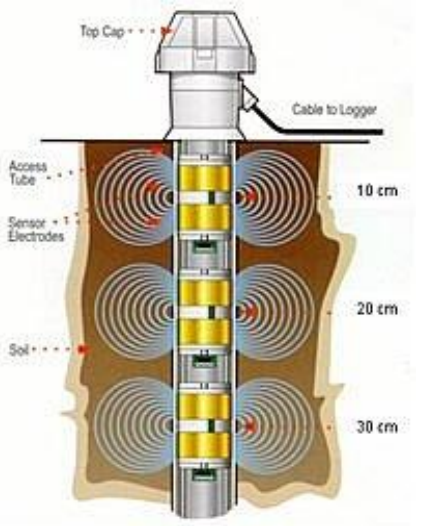


Figura 3. Esquema del funcionamiento de los sensores de la sonda EnviroScan.

Este instrumento permite evaluar el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades en forma rápida y continua, además, casi sin disturbar las condiciones de suelo circundantes.Esfácilmente automatizable, logrando información detallada sobre la dinámicadel agua en la zona de raíces. Su elección, como herramienta a utilizar en las condiciones de Chile, se basó en antecedentes de la literatura científica, experiencia de uso en terreno en el extranjero y durabilidad (Fares y Alva, 2000).

¿Qué es una sonda EnviroScan?

Es un equipo conformado por un cuerpo de plástico (**Figura 4 A**) sobre el cual se distribuyen normalmente 4 sensores a diferentes profundidades (**Figura 4 B**), un tubo de PVC enterrado en el suelo con una cápsula superior de protección (**Figura 4 C**), una tapa (**Figura 4 D**) y finalmente la placa o cerebro de la sonda (**Figura 4 E**).

Adicionalmente, se complementa con una caja externa que soporta las pilas (**Figura 5 A**)o una unidad de energía solar acoplada a un sistema de transmisión de datos (telemetría, sistema Plus) (**Figura 5 B**).

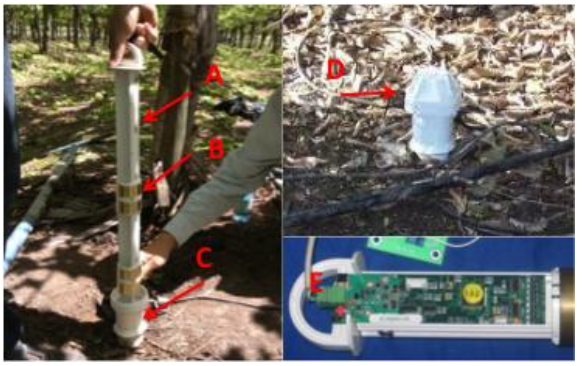


Figura 4. Esquema de una sonda EnviroScan.

Figura 5. Caja de pila con conector (A) y sistema Plus de energía solar y telemetría (B).

Nuestra larga experiencia ha permitido probar que es un equipo confiable, que se complementa con un poderoso software (IrriMax®) que nunca termina por sorprender. Sin embargo, hemos detectado que una de las grandes dificultades, a nivel de terreno, se centra en los inconvenientes que tiene el usuariopara interpretar y entender los conceptos utilizados en las gráficas, al generarse los umbrales de gestión.

El objetivo de este artículo es explicar cómo se generan los umbrales o líneas de gestión, el significado de cada una de ellas y cómo se pueden utilizar para definir tiempo y frecuencia de riego.

Líneas de gestión e interpretación de datos

Para la interpretación de los datos obtenidos por los equipos Enviroscan® se utiliza un programa computacional llamado IrriMAX® que requiere crear, basado en el análisis de la dinámica de extracción de agua por las plantas, umbrales, indicadores o parámetros de referenciadenominados "**Líneas de Gestión**"(**LG**) del riego.

Gran parte de los conceptos que se mencionarán o explicarán a continuación, responden a la necesidad de cuantificar parámetros involucrados en el balance hídrico dentro del volumen de suelo (**Figura 6**)

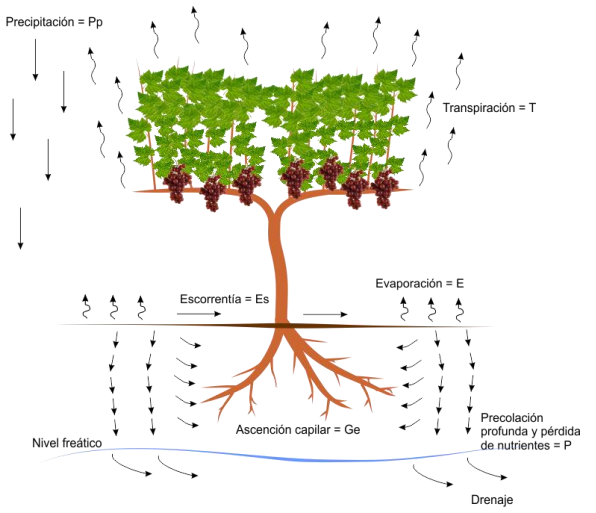


Figura 6. Representación esquemática del balance hídrico en el volumen suelo (Adaptado de Martín de Santa Olalla *et al*. 2005).

En la interpretación gráfica de la variación del contenido de agua del suelo enrespuesta a la actividad de la planta y la demanda atmosférica, se definen líneas horizontales paralelas que conforman las LG, conocidas como: **nivel de lleno** (NLL), **capacidad de campo sonda** (CDCs), **relleno temprano** (RT), **punto de recarga** (PR) y**relleno en**

zona de inicio de estrés (RZIE)(**Figura 7**). Su descripción y significado se hará más adelante.

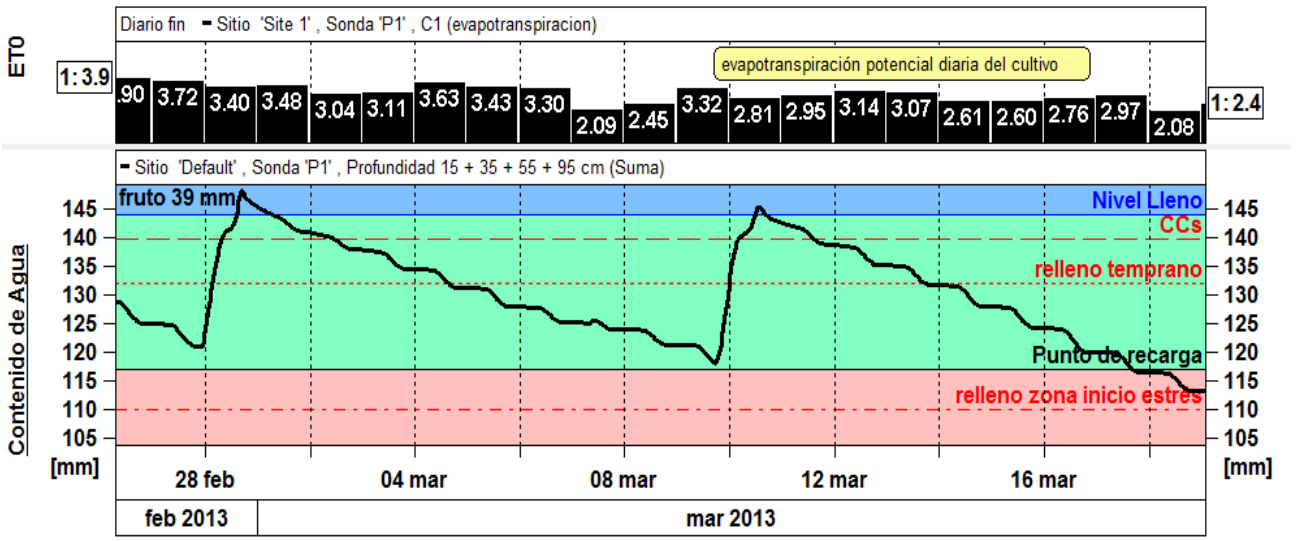


Figura 7. Evolución del contenido de agua del suelo en el tiempo, evaluado con sonda EnviroScan. Gráfico tipo sumatoria.

Se debe aclarar que, generalmente, se trabaja con 2 tipos de gráficos; el primero que permite definir la frecuencia de riego, para lo cual se utiliza el "gráfico sumatoria" (**Figura 7**) que integra los datos provenientes de los 3 primeros sensores (**Figura 8,en rojo**) y representa la absorción en conjunto de agua por las raíces de la planta. El cuarto sensor de la sonda (extremo inferior),ubicado en una zona de escasa actividad radical y del cual se desea normalmente una lectura constante en el tiempo (**Figura 8, círculo celeste inferior**), permite definir el tiempo de riego, para cuya interpretación se usa el gráfico denominado "apilado" (**Figura 9**), donde a su vez, permite observar el comportamiento de los 4 sensores por separado. Este gráfico es muy importante, ya que permitirá definir en qué profundidad se encuentra la mayor cantidad de raíces absorbentes, eso quiere decir, mayor actividaddel sistema radical.

Figura 8. Sensores que determinan la frecuencia de riego (rojo superior) y sensor que define el tiempo de riego (celeste inferior).

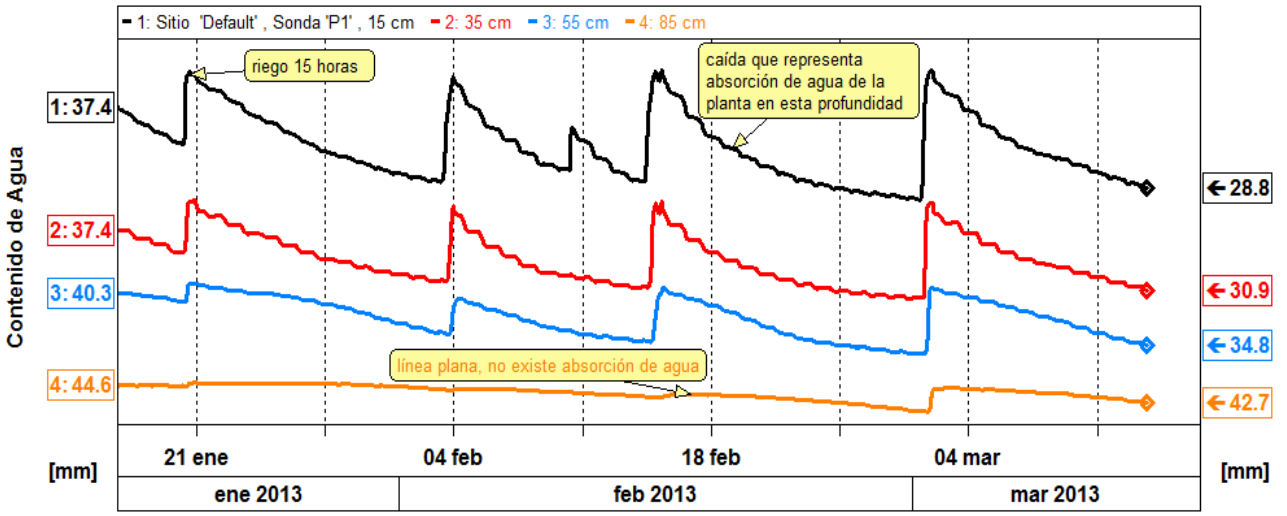


Figura 9. Gráfico apilado.

¿Cómo se observa en el gráfico el consumo de agua de la planta?

Analizando el gráfico sumatoria (**Figura 10**), se observa el consumo diario de agua de la planta en respuesta a la demanda atmosférica.

El mismo software IrriMax, permite transformar las caídas a mm/día de agua consumida por la planta, facilitando la interpretación de la información (**Figura 11**).

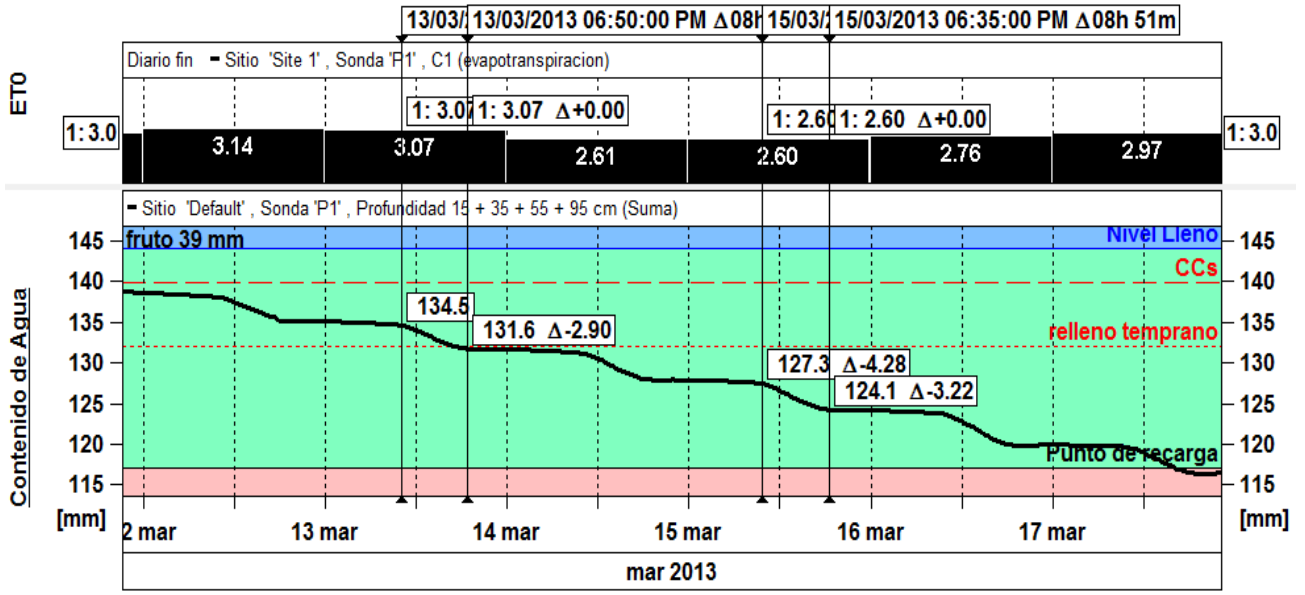


Figura 10. Gráfico sumatoria: caída del contenido de agua del suelo producto de su consumo por las raíces de la planta en un periodo de 6 días.

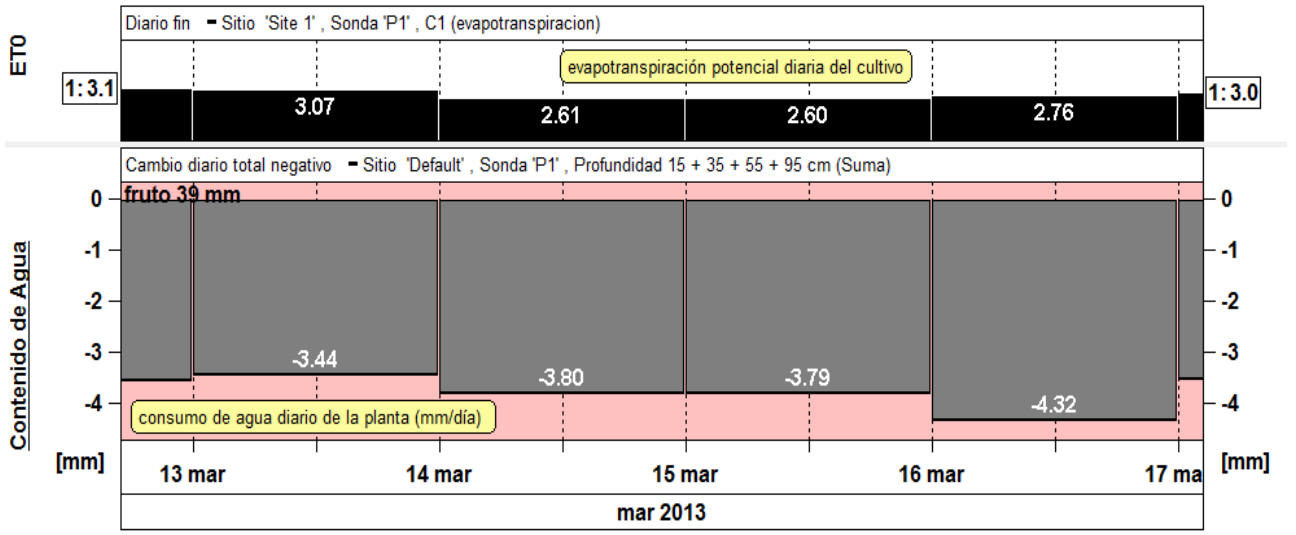


Figura 11. Consumo diario de agua en mm/día.

Descripción de las LG

A continuación se explicará cómo se define cada LG y su uso práctico en la interpretación.

Nivel de lleno (NLL). Es la máxima cantidad de agua que puede contener el suelo (**Figura 12)** sin que se produzca percolación profunda, condición que debe ser determinado analizando el gráfico apilado (**Figura 13**). A este nivel de aporte de agua de riego, el sensor más profundo no debe mostrar actividad y si la muestra, debe ser mínima (**Figura 13, flecha roja**). Se debe hacer una excepción si el objetivo es hacer un riego de lavado de sales

En la práctica, esta LG se determina a través de un riego abundante que asegure la percolación profunda, de manera que el frente de mojamiento sea detectado por el sensor inferior.

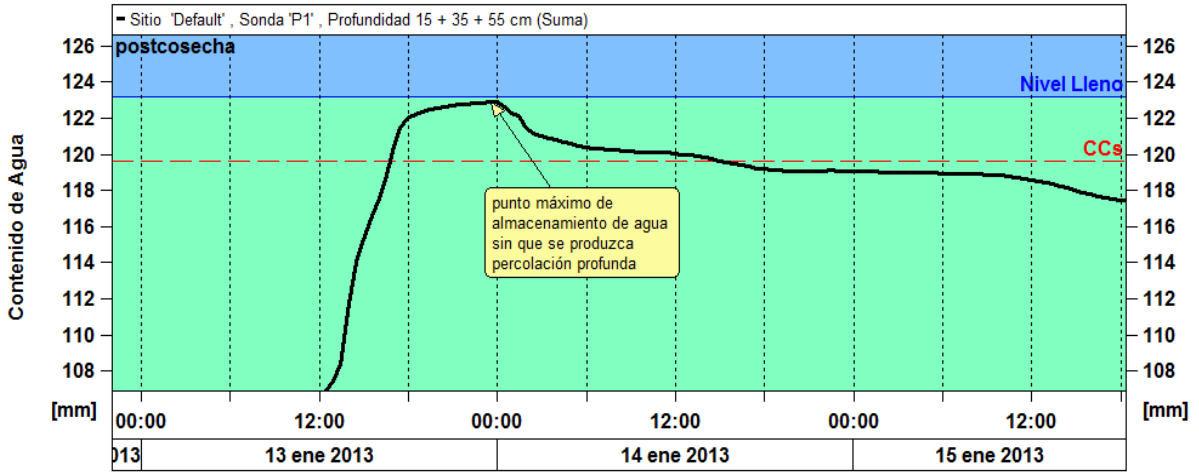


Figura 12. Nivel de lleno en gráfico sumatoria.

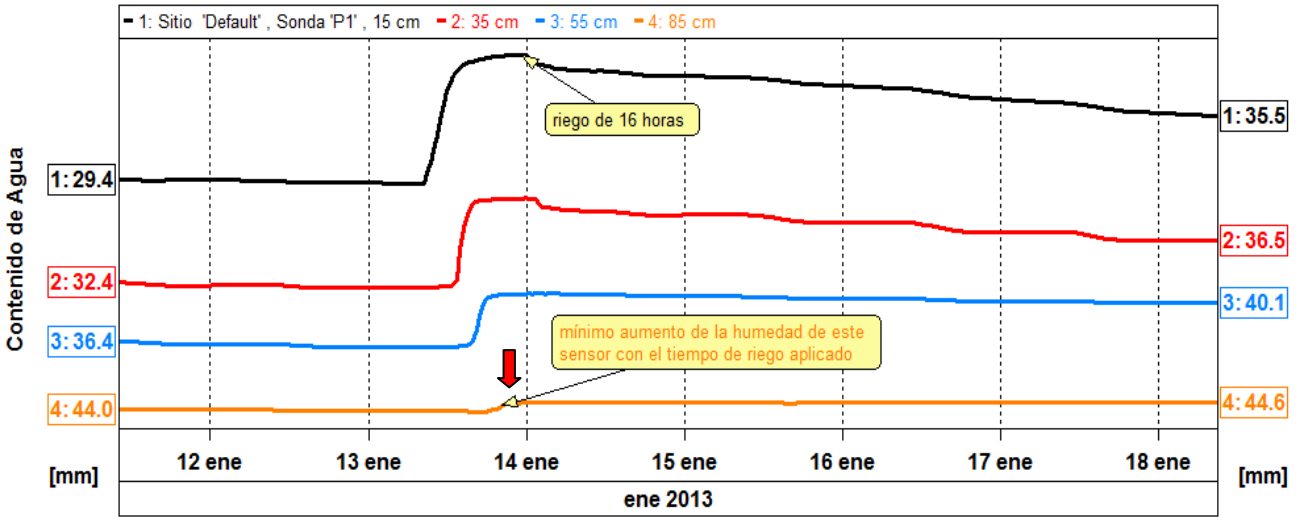


Figura 13. Contenido de agua en el suelo evaluado por cada sensor. Se indica en flecha roja un pequeño incremento del agua en el suelo, producto del riego, en el último sensor.

Capacidad de campo sonda (CCs). La definición tradicional de capacidad de campo del suelo (CC) postulada por Veihmeyer y Hendrickson (1950), señala que "es la cantidad de agua que queda almacenada en el suelo después de aplicar un exceso de agua y se deja drenar libremente, lo que tiene lugar en 1 día para texturas gruesas, 2 días para texturas medias y 3 a 4 días para texturas finas. El exceso de agua puede ser producto de unalluvia o del riego". En este sentido, Moya (2009) indica, a modo de orientación, que la capacidad de retención de agua depende del tipo de sueloy normalmente se expresa en mm, teniendo en cuenta que 1 mm equivale a 1 L por cada metro cuadrado de superficie (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Retención de agua a CDC en diferentes suelos

Arenoso	0,33 a 0,85 mm/cm de profundidad
Ligeros	0,85 a 1,25 mm/cm de profundidad
Medios	1,25 a 1,90 mm/cm de profundidad
Arcillosos	1,45 a 2,10 mm/cm de profundidad

En la práctica, se han utilizado 3 métodos para evaluar la capacidad de campo y de esa manera poder indicar en la gráfica esta LG. El primer método es el tradicional y se basa en la determinación en laboratorio de la CC con platos de presión (en la gran mayoría de los suelos equivale al contenido de agua a un potencial mátrico de -33 kPa y -10 kPa para textura gruesa), sin embargo, lo hemos desechadopara el trabajo con estos equipos dada la incoherencia de los valores respecto de las mediciones en campodeterminada con la sonda.

La segunda alternativa, con valores muy similares a la sonda, es obtener la CC utilizando el softwareSoil Water Characteristics (USDA Agricultural Research Service)a partir del análisis textural del suelo donde se ubica la sonda.

Finalmente, el último métodoes determinar la CC directamente con los datos de humedad registrados por la sonda y que hemos llamado **CCs (Figura 14)**. Si bien se usa el mismo criterio planteado por Veihmeyer y Hendrickson (1950), los valores son diferentes a la CC tradicional, requiriéndose el sufijo "S" para evitar confundir a los usuarios.

La CCs se determina en invierno, sin transpiración y mínima evaporación desde la superficie, después de una lluvia abundante o un riegoprofuso en conjunto con un cilindro infiltrómetro, para asegurar una adecuada dotación de agua en el suelo, sobre todo en áreas con bajas precipitaciones.

En la **Figura 15**, se observael contenido de agua en el suelo a diferentes profundidades, en invierno y luego de una profusa lluvia, observándose su estabilización luego de 3 días, permitiendo determinar la CCs de ese suelo en particular.

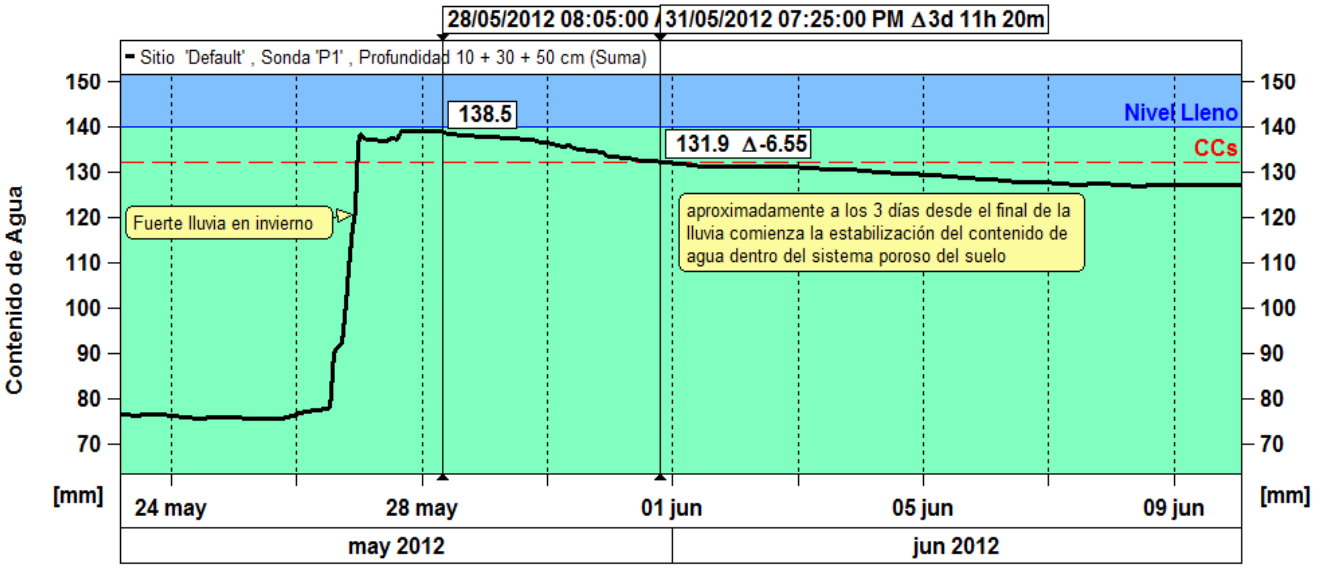


Figura 14. CCs en gráfico sumatoria.

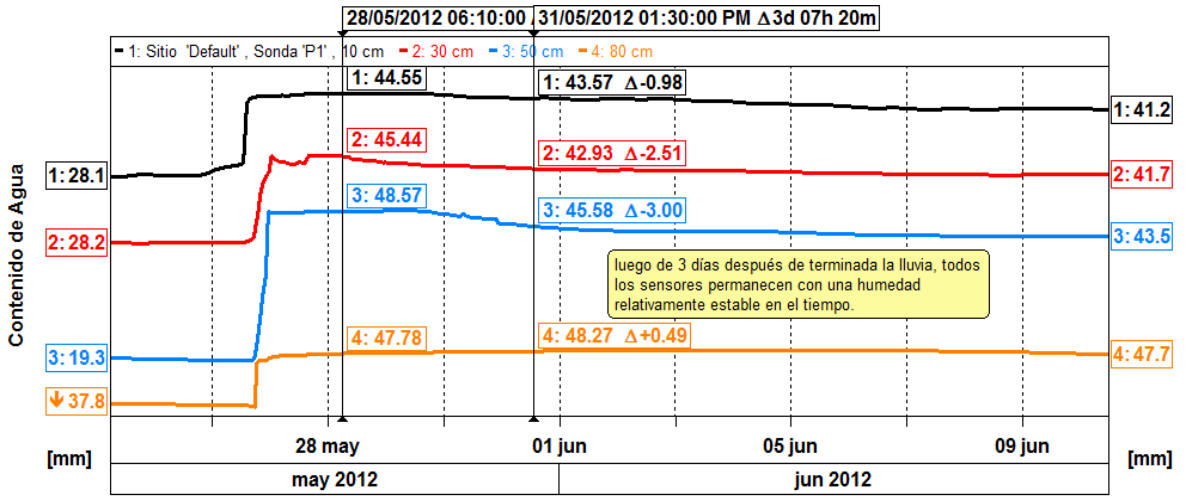


Figura 15. Determinación de la CCs a partir del análisis del gráfico apilado.

Punto de recarga(PR). Corresponde al momento en que hay que volver a regar, definiendo la frecuencia del riego.

Tradicionalmente, esta determinación dependía del balance de agua en el suelo, en donde adicionalmente al concepto de CC se acuñó el de punto de marchitez permanente (PMP), momento en que el contenido de agua era tal, que generaba el marchitamiento de la planta sin la posibilidad de reponerse luego de un riego. La diferencia entre la CC y PMP, generaba el agua útil (AU) para la planta o también conocido como "intervalo de humedad disponible" (IHS) o "capacidad de retención de agua disponible" (CRAD), expresada en mm/m o en mm cuando era conocida la profundidad efectiva del suelo (profundidad útil) (Martín de Santa Olalla *et al.* 2005). Adicionalmente, y para definir el momento del riego, se genera el concepto de "déficit de humedad admisible" (Castilla y Montalvo, 2005), en donde se evita que la humedad del suelo llegue al límite inferior del agua útil de manera de no provocar marchitez. Por lo tanto, el punto de riego o recarga corresponde a un umbral donde el déficit de humedad es admisible, evitándose alteraciones de las funciones metabólicas, en los rendimientos, la calidad de la fruta, el potencial productivo de las plantas u otra variable de acuerdo al objetivo productivo.

Si bien la explicación anterior ha sido por largo tiempo utilizada, y claramente permite una aproximación al entendimiento del riego en función del contenido o potencial del agua del suelo, en la realidad esta situación es aún más compleja. Gurovich (2001), señala que el agua fácilmente disponible depende adicionalmente de la habilidad de las raíces para absorber el agua almacenada en el suelo, así como la habilidad del suelo para aportar y transmitir el agua hacia las raíces a una velocidad suficiente que permita compensar los requerimientos de transpiración. Este último punto deja en evidencia que en zonas donde el déficit de presión de vapor diario es muy alto, por no decir extremo, durante el ciclo de crecimiento (alta demanda atmosférica), por ejemplo, Región de Atacama o parte cordillerana de la Región de Coquimbo, es deseable una mayor densidad de raíces por m^3 de suelo y adicionalmente que ellas exploren el máximo de volumen de suelo mojado.

Por lo tanto, un buen riego no solamente se logra aplicando agua en alta frecuencia o antes que se llegue al nivel de agotamiento admisible, sino, hay que tener un sistema radical denso, creciendo activamente, sano y que permita, tal como lo dice Gurovich (2001), que la velocidad de absorción de agua equilibre la velocidad de pérdida por transpiración de la parte aérea de las planta.En este sentido, es factible señalar que se puede estar en una situación de un reciente riego, pero inmediatamente en estrés, dado que el sistema agua-suelo-raíces no es lo suficientemente eficiente para compensar la velocidad de pérdida diaria de agua a través de los estomas.

Los antecedentes expuestos anteriormente, evidentemente apoyan el esfuerzo en zonas climáticas extremas (zona norte) de promover el uso de portainjertos en vides, cuyas evaluaciones han generado una mayor densidad de raíces/m^3 de suelo.

Definición del PR con la sonda.Es el punto donde la caída diaria del contenido de agua,medida por los 3 sensores superiores a una máxima demanda atmosférica y contante, comienza a disminuir producto de la reducción en el contenido de agua en el suelo y a la dificultad que esto genera en la absorción de agua por parte de la planta (**figuras 16 y 17**). Esta información deberá ser apoyada con la información climática entregada por una estación meteorológica.

Algunos usuarios nombran a esta LG como "inicio de estrés", pero hemos descartado esta denominación dado que si bien se puede observar una menor caída diaria del consumo de agua a una máxima demanda atmosférica, no necesariamente es factible constatar, a través de otras variables, que la planta está sufriendo en estrés (Ej: potencial hídrico xilemático, conductancia estomática, etc.).

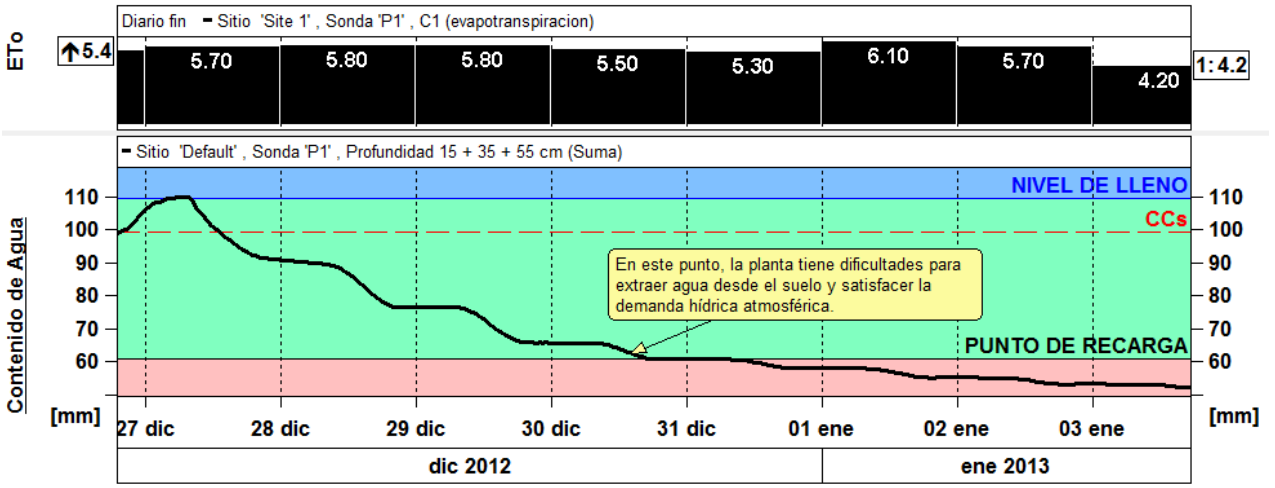


Figura 16. PR en gráfico sumatoria y serie de caídas diarias del contenido de agua del suelo a máxima demanda atmosférica

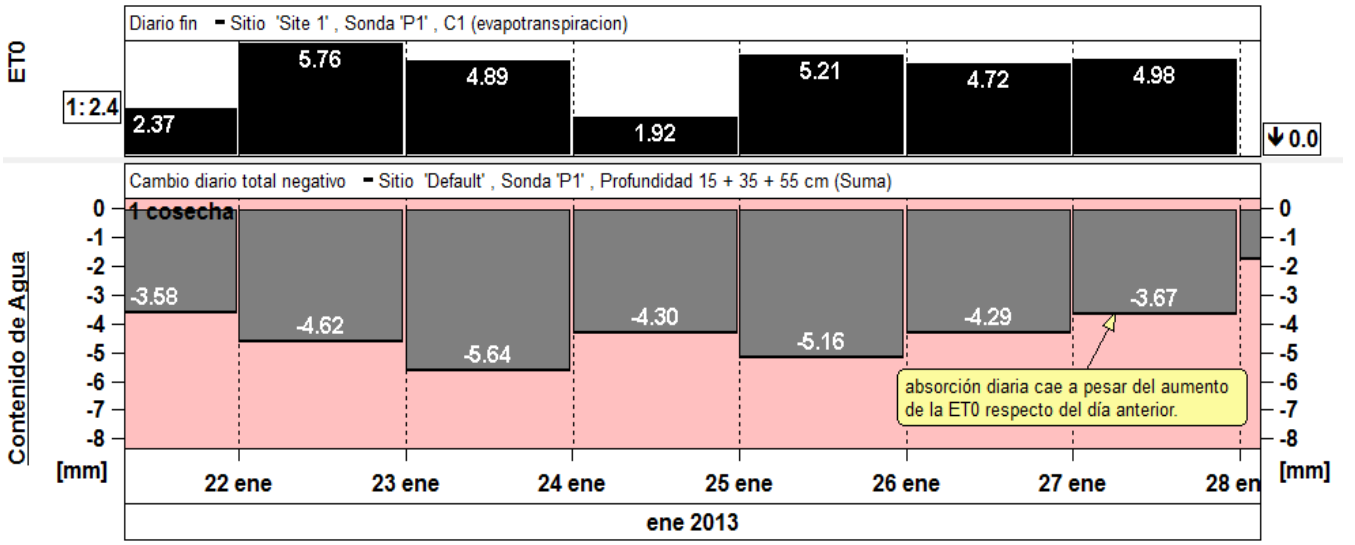


Figura 17. Consumo diario de agua en mm/día.

Relleno en zona de inicio estrés (RZIE). Umbral claramente por debajo del PR (**Figura 18**), utilizado en casosespeciales donde se requiere lograr un objetivo comercial o condición especial sobre la planta, manejos que aún requieren ser validados en la práctica con investigación aplicada. Algunos ejemplos son: mejor calidad de la materia prima para la producción del vino, mayor contenido de aceite en olivas, incremento de sólidos solubles, promoción de crecimiento de raíces (el déficit hídrico, provoca una expansión del sistema radical en zonas no exploradas por las raíces), promoción de la maduración de madera en zonas donde las condiciones templadas se prolongan en otoño, ahorro de agua de riego, etc.

Relleno temprano (RT). Punto de recarga anticipado atendiendo el comportamiento del sensor ubicado en el horizonte con mayor densidad de raíces y por endemayor consumo de agua, de manera que no se produzca una condición de estrés puntual en esta zona (**Figura 19**). En la **Figura 20**, se observa en el gráfico apilado lo anteriormente señalado para el sensor en posición 1.

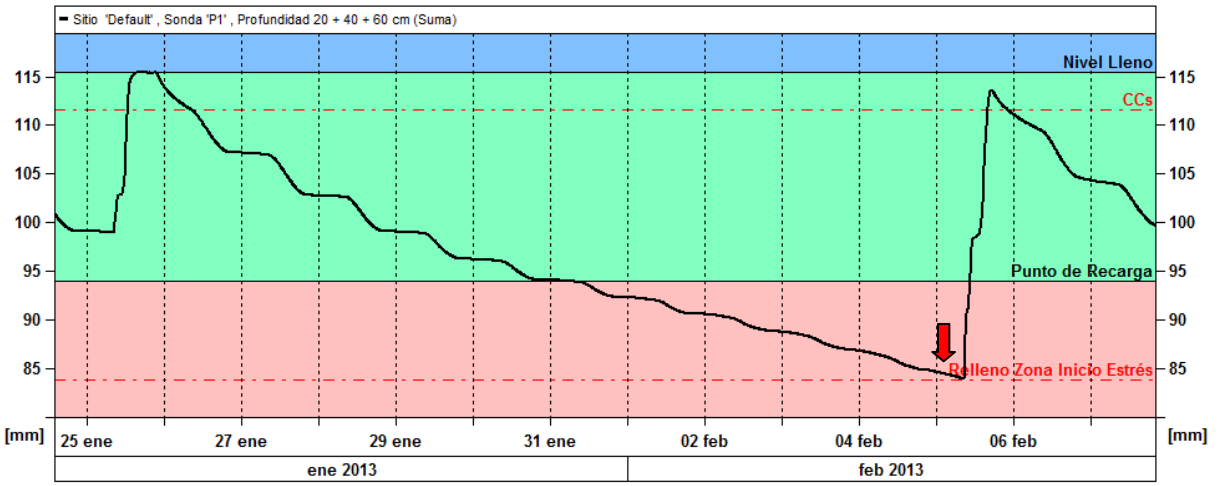


Figura 18. RZIE en gráfico sumatoria y reducción permanente en la serie de caídas diarias del contenido de agua del suelo a máxima demanda atmosférica

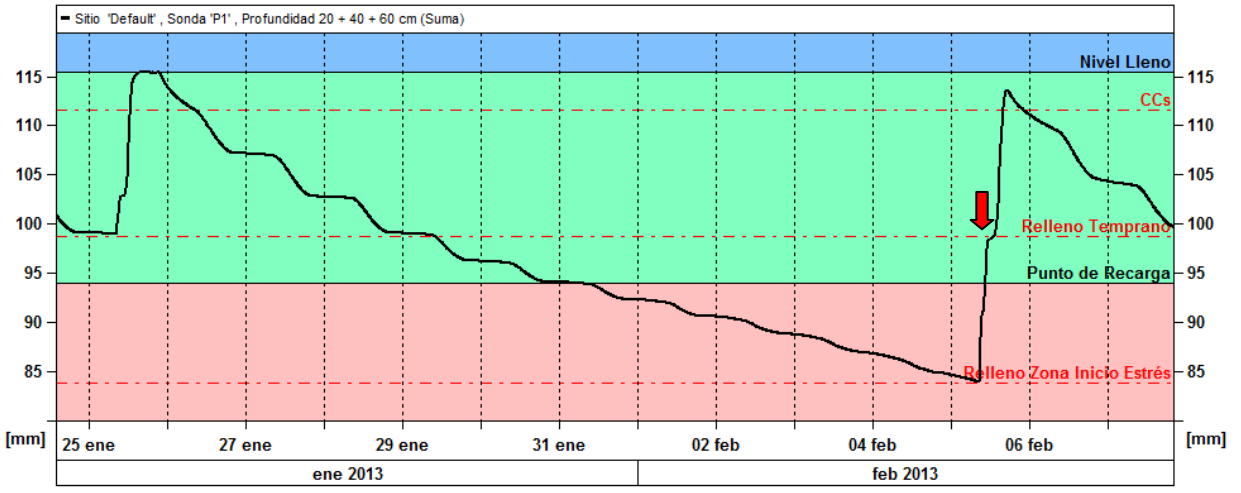


Figura 19. RT en gráfico sumatoria

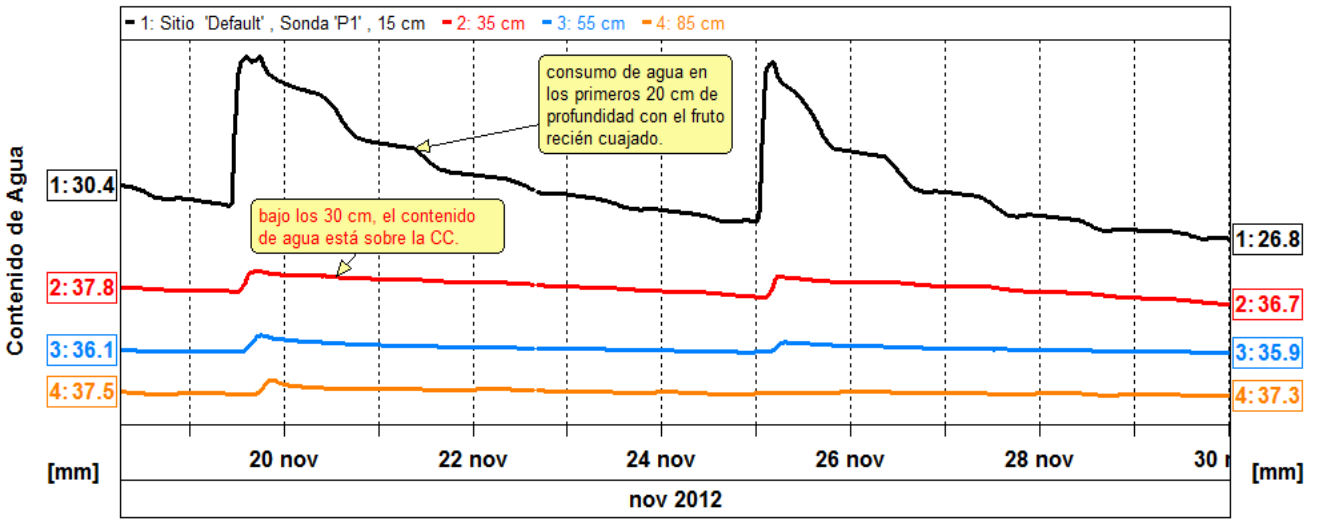


Figura 20. Gráfico apilado utilizado para definir la necesidad de regar tempranamente.

Normalmente,esta LG se utiliza para adelantar el riego respecto del PR en algunos estados fenológicos donde la presencia de un estrés mínimo podría afectar, hipotéticamente, los rendimientos o calidad de la fruta, como por ejemplo, el crecimiento de baya en uva de mesa. Es importante recalcar que estas suposiciones deben ser aún validadas con investigación aplicada.

En algunos casos existen usuarios que utilizan diferentes LG entre la CC y PR, denominándolos "%HA" o porcentajes de la humedad aprovechable, en alusión al concepto tradicional de nivel de agotamiento permisible (Martín de Santa Olalla *et al.,* 2005). Se estima que su uso no esadecuado en estas condicionesya que crea confusión entre los usuarios y técnicos, dado que en la literatura queda establecido que esos cálculos se hacen sobre la diferencia entre la CC y el PMP (el agua útil), totalmente diferente al sistema con sondas, donde el cálculo se construye sobre un menor volumen de agua almacenada en el suelo, correspondiente a la diferencia entre la CC y el PR.

Aplicación en terreno

Adaptar una nueva tecnología extranjera a la agricultura nacional y que impacte en la competitividad de los productores, requiere normalmente de grandes cuotas de innovación local, muchas veces no valorada por aquellos que creen ser especialistas en estas materias. Por el contrario, son los agricultores, agrónomos o especialistas que viven a diario el desafío de objetivar los criterios utilizados a nivel de campo (la fisiología llevada a la práctica), quienes entienden que una máquina, un equipo o herramienta tecnológica por sí sola no es una innovación sino se valida en terreno y se traduce en mayores rendimientos, calidad de fruta o menores costos. Es en este proceso donde se requiere innovar (nueva forma de pensar el problema) yque debe, necesariamente, terminar en un "Paquete Tecnológico". Desgraciadamente, en la mayoría de los casos estos logros son poco valorados, no se pueden apropiar (son de uso público), comercializar a través de un registro y se confunden, por personas con poca formación, como una simple asesoría.

Hasta la fecha, llevamos aproximadamente 12 años de arduo trabajo con diferentes equipos de lectura continua y discontinua, adaptándolos al cultivo de frutales y hortalizas, tales como sondas TDR y de capacitancia. Es así como se ha logrado avanzar en la objetivación de los criterios de riego, permitiendo rebajas sustanciales en el consumo del aguay mejoras en los rendimientos y calidad de la fruta (Red Agrícola, 2013; Diario Chañarcillo, 2012; El Rancagüino, 2012).

Estamos seguros que lo anterior, sumado a una red meteorológica eficiente, el apoyo de algunos equipos complementarios y jóvenes técnicos y agrónomos bien formados, permitirá dar un salto tecnológico invaluable en el manejo del riego, condición fundamental para mantener la competitividad de los productores chilenos.

Conclusiones

El uso correcto de nuevas tecnologías y de las terminologías que se utilizan para su aplicabilidad en terreno, deben respetar el conocimiento tradicional que se encuentra ampliamente respaldado en la literatura, de manera de no provocar confusión de conceptos.

Las LG deben ser de fácil entendimiento, permitiendo acercar esta tecnología a todo tipo de usuario relacionado con los cultivos.

Literatura

Box, J., 1996. Modern methods for root investigations. pp. 193-237 In: Eshel, A., U. Kafkafi, Y. Waisel. (eds). Plants roots, the hidden half. 2a ed. Marcel Dekker. New York, USA. 1002 p.

Callejas, R., E. Rojo, C. Benavidez y E. Kania. 2012. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa. Agrociencia 46: 23-35.

Castilla N. y T. Montalvo. 2005. Programación del riego. *In*: Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Cadahía C. (Ed). 3ª edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pág. 277-298.

Davies, W. J. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Plant Physiol. 42: 55-76.

Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma 120 (3-4): 227-239.

Diario Chañarcillo, 2012. Agricultores de Alto del Carmen destacan aporte tecnológico de UCHILECREA. Diario Chañarcillo 1 de agosto de 2012. Disponible en: http://www.chanarcillo.cl/articulos_ver.php?id=58270

Diario El Rancagüino. 2012. Mejoramiento de la competitividad en la fruticultura a través del uso eficiente del agua de riego y energía eléctrica. El Rancagüino 20 de noviembre de 2012. Disponible en: http://www.uchilecrea.cl/not/2012/noviembre/uchilecrea_rancaguino.jpg

Fares, A y A.K. Alva. 2000. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. Irrigation Science 19 (2): 57-64.

Fereres, E. and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58 (2): 147-159.

Ferreyra R., G. Sellés y I. Sellés. 2001. Riego deficitario controlado en uva de mesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín
INIA Nº 60. Santiago de Chile. 44p.

Gispert, J.R., F. Ramirez de Cartagena, J.M. Villar y J.Girona. 2013. Wet soil volumen and strategy effects on drip-irrigated olive tres (cv. ''Arbequina''). Irrigation Science 31 (3): 479-489.

Gurovich L. 2001. Riego superficial tecnificado. 4ª edición. Ediciones Universidad Católica de Chile.616 p.

Honorato, R., H. Silva y C. Bonomelli. 1988. Efecto del suelo en el patrón de enraizamiento y productividad de la vid. Ciencia e Investigación Agraria 15 (3): 159-171.

Honorato, R., H. Silva y C. Bonomelli. 1990. Productividad de parronales de la Región Metropolitana y sus relaciones edáficas. Ciencia e Investigación Agraria 17 (3): 133-143.

Howel, T. y M. Meron. 2007. Irrigation scheduling. *In*: Microirrigation for crop production. Lamm F., J. Ayars y F. Nakayama Editors. Elsevier, Amsterdam. Pág. 61-130.

Jury, W., W. Gardner and W. Gardner. 1991. Soil physics. 5a edición. Ed. John Wiley & Sons, Inc. California, USA. 328 p.

Martín de Santa Olalla, F.P. Lopez. y A. Calera, 2005. Agua y Agronomía.Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 606 p.

Morales, L. 2010. Evapotranspiración. *In:* Nodo de riego: Difusión y transferencia tecnológica para el uso eficiente del agua de riego en la Región de Atacama. Rodrigo Callejas y Gabino Reginato editores.Universidad de Chile.

Mounzer, O.H., J. Vera, L.M. Tapia, Y. García-Orellana, W. Conejero, I. Abrisqueta, M.C. Ruiz-Sánchez and J.M. Abrisqueta-García. 2008. Irrigation scheduling of peach trees (*Prunus persica* L.) by continuous measurement of soil water status. Agrociencia 42 (8): 857-868.

Moya, J.A. 2009. Riego localizado y fertirrigación. 4ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 575 p.

Nobel, P. 2005. Physicochemical and Environmental plant physiology. 3a edición. Academic Press. New York, EE.UU. 567 p.

Raine, S.R., W.S. Meyer, D.W. Rassam, J.L. Hutson y F.J. Cook. 2007. Soil-water and solute movement under precision irrigation: Knowledge gaps for managing sustainable root zones. Irrigation Science 26 (1): 91-100.

Red Agrícola. 2013. Agrícola HC en el Valle del Elqui: Frutales de nicho, agroindustria e impecable gestión del agua. Revista Red Agrícola 54: 32 – 37. Disponible en: http://telemetria.uchilecrea.cl/~uchilecrea/articulos/HC%20Red%20Agricola.pdf

Richards, D. 1983. The grape root system. Horticultural Reviews 5:127-168.

Rius, X. 2005. Apuntes de vitivinicultura australiana. Agro Latino, Barcelona. 445 p.

Ruíz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. Agricultura Técnica 60 (4): 379-398.

Ruíz, R., G. Sellés y R. Ahumada. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. pp. 101-114. In: Muñoz, I., M. González y G. Sellés. (eds.). Manejo de suelo y riego en vides para vino y mesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Santiago. Serie Actas Nº 39. 196 p.

Sellés G., R. Ferreyra, y I. Sellés. 2000. Riego. J. Valenzuela (Ed.). Uva de mesa en Chile. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) Santiago, Chile. 338p.

Sellés, G., R. Ferreyra, G. Contreras, R. Ahumada, J. Valenzuela y R. Bravo. 2003. Manejo del

riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. Agricultura Técnica 63 (2):180-192.

Silva, H., R. Honorato y C. Bonomelli. 1991. Crecimiento radical y desarrollo de la vid variedad Thompson Seedless. Aconex 34: 14-21.

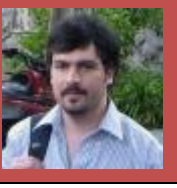
Taiz, L. and E. Zeiger. 2007. Plant Physiology. 3a edición. Ed. Sinauer Associates, Inc. 580 p.

Veihmeyer, F.J. y A. H. Hendrickson. 1950. Soil moisture in relation to plant growth.Ann. Rev. Plant Physiol. 1:285-304.

Vita, F., M. Liotta y C. Parra. 2005. Efecto de diferentes láminas de riego en la producción de uva de mesa cv. Sugarone Seedless. Disponible en:http://www.uvademesa.cl/ARCHIVOS%20PDF/3%20laminasdeaguaen%20Sugarone.pdf. Leído 2 de mayo de 2011.

Rodrigo Callejas R. Dr.es Profesor de la Universidad de Chile y Director del Centro de Transferencia Tecnológica e Investigación Aplicada UCHILECREA

Jaime Navarrete.Ing. Agr. Mg.Sc.UCHILECREA.



Maximiliano Rioseco Lic. Cs. Agr. UCHILECREA.

Editores
Prof. Oscar Seguel. Dr.
Prof. Gabino Reginato. Ing. Agr. Mg.Sc.