

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DE DOS CRITERIOS DE RIEGO, SOBRE EL CRECIMIENTO
DE RAÍCES EN UVA DE MESA CV. THOMPSON SEEDLESS**

ANIBAL EUGENIO LÓPEZ MUÑOZ

SANTIAGO – CHILE

2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DE DOS CRITERIOS DE RIEGO, SOBRE EL CRECIMIENTO
DE RAÍCES EN UVA DE MESA CV. THOMPSON SEEDLESS**

**EFFECT OF TWO IRRIGATION CRITERIA, OVER THE ROOT GROWTH IN
TABLE GRAPES CV. THOMPSON SEEDLESS**

ANIBAL EUGENIO LÓPEZ MUÑOZ

SANTIAGO – CHILE

2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

**EFEECTO DE DOS CRITERIOS DE RIEGO, SOBRE EL CRECIMIENTO
DE RAÍCES EN UVA DE MESA CV. THOMPSON SEEDLESS**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

ANIBAL EUGENIO LÓPEZ MUÑOZ

PROFESORES GUÍAS	CALIFICACIONES
Sr. Rodrigo Callejas R. Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.	6,5
Sr. Cristián Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,0
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Mauricio Galleguillos T. Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.	5,8
Sra. Cecilia Baginsky G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,2

SANTIAGO – CHILE

2015

“Sé tú el cambio que quieres ver en el mundo” Gandhi.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Mónica y Ricardo, por el apoyo en cada una de las decisiones que he tomado en la vida. Gracias a ustedes y a sus consejos, pude cumplir mi sueño de ser profesional.

A mi familia, hermanos/a, primos/as, tíos/as, tatas, en especial a quienes estuvieron presente en esta etapa, mis hermanos Diego y Fabiola.

A la empresa Freshland Chile S.A., por la excelente disposición e interés mostrado en la realización de esta memoria. De igual forma, quisiera agradecer al personal de planta y a los trabajadores de temporada, con quienes compartí y aprendí de sus experiencias durante la etapa de mediciones.

A mis profesores guía Rodrigo Callejas y Cristián Kremer, quienes me orientaron y me entregaron las directrices para la realización de esta memoria. Agradezco los consejos y la ayuda prestada durante todo este proceso.

A quienes son y fueron parte del equipo de trabajo de UCHILECREA: Pola, Juan Ignacio, Jaime, Helen, Max, Carla y Naty. Muchas gracias por los consejos entregados y por la buena disposición que tuvieron conmigo, apoyándome en la elaboración de la memoria.

A mis amigos de la vida: Heriberto, César, Alcides, Emilio, Sebastián, quienes me han acompañado en cada paso, en especial a César, quien fue el que me aconsejó tomar esta carrera universitaria, siendo el mejor consejo que haya recibido hasta el día de hoy.

A la gente linda que conocí en Antumapu de distintas generaciones y en especial a mis compañeros de la generación 2009, porque siempre me hicieron sentir como en casa. Quisiera dedicar esta memoria a los amigos y futuros colegas con quienes viví bonitas experiencias: Lita, Cata, Anita, Pancho, Migue, Bruno y Fabián.

Quisiera dedicar esta memoria de forma especial, a Daniela Román, quien fue la mujer que me recibió con los brazos abiertos en mi primer día de universidad, me apoyó y aconsejó durante toda mi etapa universitaria.

A todos y a cada uno de ustedes, muchas gracias.

INDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
Antecedentes generales	3
Crecimiento y distribución de las raíces de vid	3
El rol del agua en el crecimiento de raíces.....	4
Utilización de sondas de capacitancia para el manejo de riego	6
Condición hídrica de la planta: potencial hídrico xilemático.....	7
Hipótesis.....	8
Objetivo.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Caracterización del sitio de estudio.....	9
MÉTODO.....	9
Evaluaciones	9
Caracterización del suelo	9
Contenido de agua en el suelo.....	10
Condición hídrica de la planta.....	11
Crecimiento de raíces	12
Cosecha	14
Peso de poda.....	14
Análisis estadístico.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Caracterización del suelo	15
Criterios de riego.....	16
Volumen anual de agua de riego.....	20
Dinámica del agua en el suelo.....	23
Nivel de consumo de agua	24
Condición hídrica de la planta.....	25
Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) y déficit de presión de vapor (DPV).....	25

Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) y efecto de los tratamientos	27
Crecimiento de raíces	28
Escáner de raíces	28
Método del barreno	34
Cosecha	35
Producción y calidad de la fruta.....	35
Eficiencia del uso del agua (EUA).....	36
Peso de poda.....	37
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

RESUMEN

En la vid, el potencial productivo y los estudios de riego, están relacionados normalmente con la parte aérea de las plantas, dejando de lado el estudio del comportamiento de las raíces. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de dos criterios de riego, sobre el crecimiento de raíces, condición hídrica de la planta y rendimiento en uva de mesa cv. Thompson Seedless, en un predio ubicado en San Vicente de Tagua Tagua en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Para cada tratamiento se seleccionó un grupo de 18 plantas adultas, y se utilizó una sonda FDR Enviroscan de lectura continua. El sistema de riego fue por goteo de doble línea, con emisores separados a 1 m, con descarga de $4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ y la precipitación del equipo fue de $1,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Los tratamientos fueron: T1 (RS), determinado en base a las líneas de gestión (la frecuencia de riego definida por el punto de recarga (PR) y el tiempo por el nivel de lleno (NLL)); y T2 (RT), el testigo campo, cuya frecuencia y tiempo de riego fueron establecidos a través de la observación de calicata, siendo un riego de alta frecuencia. Adicionalmente se evaluó el estado hídrico de la planta mediante el potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}), temperatura ambiental (T_a ; °C) y humedad relativa (HR; %).

Se determinó el crecimiento de raíces mediante el uso de un escáner de raíces CI600, tomando fotografías a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm de profundidad. Posteriormente se realizó una evaluación descriptiva de la tasa de crecimiento de raíces mediante el uso del programa computacional WinRhizo Tron. En receso invernal, y como complemento al escáner, se evaluó el crecimiento de raíces mediante el método del barreno. Durante la cosecha se determinó: peso de racimo, desgrane, tamaño de baya y contenido de sólidos solubles, y en receso invernal el peso de poda. Se determinó la eficiencia del uso del agua (EUA) tanto en fruta exportable como para el total de fruta por tratamiento.

El volumen de agua anual para cada tratamiento fue de $3.541 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y $4.452 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para T1 (RS) y T2 (RT), respectivamente. No hubo diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento de raíces, peso de poda y rendimiento promedio por tratamiento ($\text{kg fruta exportable} \cdot \text{planta}^{-1}$). Los dos tratamientos presentaron dos puntos de crecimiento de raíces, en pinta y postcosecha, principalmente.

Finalmente, T1 (RS) presentó mayor EUA en el total de fruta por hectárea, con 9,0 kg de fruta por m^3 de agua.

Palabras clave: líneas de gestión, potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}), densidad de longitud de raíces (DLR), eficiencia del uso del agua (EUA).

ABSTRACT

In the vine, production potential and irrigation studies, are usually related to the aerial parts of the plants, ignoring the study of the roots behavior. The aim of this study was to determine the effect of two irrigation criteria, over the root growth, water plant condition and yield in table grapes cv. Thompson Seedless, in a vineyard located in San Vicente de Tagua Tagua (O'Higgins Region).

A group of 18 adult plants and a continuous reading Enviroscan FDR probe were used for each treatment. The irrigation system was a drip double line, with 4 L·h⁻¹ emitters every 1 m, and the equipment precipitation was 1.8 mm·h⁻¹. The treatments were: T1 (RS), outlined according to indicator management lines (irrigation frequency defined by the charging point (PR) and time by the filling level (NLL)); and T2 (RT), the field control, where frequency and time were defined by soil pits, with a high frequency irrigation. Additionally the plant water status was assessed using the stem water potential (Ψ_{hx}), ambient temperature (T_a ; °C) and relative humidity (HR; %).

Root growth was determined by using a CI600 root scanner, taking photographs at 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm depth. Subsequently a descriptive assessment of the roots growth rate was performed using the WinRHIZO Tron computer program. Additionally, during dormancy, root growth was assessed using a soil borer. At harvest were determined: cluster weight, berry shatter, berry size and soluble solids; and in winter pruning weight. The water use efficiency (EUA) was determined for both, exportable and total fruit.

The annual volume of water for T1 (RS) and T2 (RT), was 3.541 m³ · ha⁻¹ and 4.452 m³ · ha⁻¹ respectively. There were no statistically significant differences for root growth, pruning weight and average yield per treatment (kg exportable fruit·plant⁻¹). The two treatments presented two peaks of root growth, around veraison and postharvest, respectively.

Finally, T1 (RS) showed higher EUA total fruit per hectare, with 9,0 kg of fruit per m³ of water.

Key words: management lines, stem water potential (Ψ_{hx}), root length density (DLR), water use efficiency (EUA).

INTRODUCCIÓN

Antecedentes generales

Chile tiene una participación relevante en la producción total de uva a nivel mundial y, siendo el principal país exportador, aportó 812.152 toneladas el año 2012 (ODEPA, 2014). Bajo este contexto, la superficie plantada con parronales continúa liderando las plantaciones frutales a nivel nacional, alcanzando cerca de un quinto de la producción frutícola.

En la vid, el potencial productivo se relaciona normalmente con el desarrollo de la parte aérea de la planta, llevándose a cabo numerosos estudios con énfasis en ella y dejando de lado el estudio del comportamiento de las raíces (Callejas et al., 2011). Situación similar ocurre con los estudios de riego, los cuales se han concentrado en la parte aérea de la planta analizando de forma indirecta el efecto de este factor sobre la producción y calidad de fruta por planta, sin estudiar la respuesta o efectos sobre el sistema radical. Esto debido, en la mayor parte de los casos, a las dificultades técnicas y mecánicas ya que se requiere de estructuras anexas para poder evaluar periódicamente su crecimiento (Rojas, 2008; Wieczorek, 2009).

Crecimiento y distribución de las raíces de vid

El estudio del crecimiento de raíces es importante ya que son ellas las responsables de aportar la mayor parte del agua y los nutrientes demandados por la parte aérea de la planta (Gregory, 2007). Bajo este contexto, la información disponible sobre la periodicidad del crecimiento de raíces será determinante sobre ciertos manejos en vides, como épocas de fertilización nitrogenada, control de nematodos, etc. (Ibacache y Lobato, 1995).

Richards (1983), al estudiar el sistema radical de la vid, determinó que el crecimiento activo de la misma comienza a temperaturas de suelo mayores a 6°C, siendo la temperatura óptima cercana a 30°C. Richards (1983) e Ibacache y Lobato (1995), señalan que el sistema radical en uva de mesa muestra dos períodos claros de crecimiento, comenzando el primero lentamente en primavera y alcanzando un máximo crecimiento al final del estado de floración, con raíces más gruesas cuyo diámetro es >1mm. Un segundo período se produce en otoño, siendo éste menor al conseguido en época estival y concentrándose principalmente después de cosecha y antes de la caída de hojas, con raicillas de diámetro <1mm. La drástica disminución del crecimiento de raíces coincide con la cuaja y posterior crecimiento de la fruta (Ibacache y Lobato, 1995). El ritmo de crecimiento de raíces no es constante, pero se ha registrado en primavera hasta 1 cm por día (Richards, 1983).

Dependiendo de la edad de la vid, las raíces varían en diámetro, encontrándose usualmente entre 6 y 100 mm. De la estructura principal, surgen pequeñas raíces permanentes, de diámetro que oscila entre 2 a 6 mm, las cuales crecen tanto horizontal como verticalmente. Estas raíces, ramifican en unas pocas raíces de extensión media, las cuales miden generalmente de 1 a 2 mm y de rápido crecimiento. Estas raíces mueren a las pocas semanas de emerger, por lo cual, son reemplazadas constantemente (Richards, 1983).

En cuanto a la distribución de las raíces en el perfil de suelo, esta se encuentra concentrada en los primeros 50 cm del suelo, donde se presenta el mayor porcentaje de raíces finas menores de 2 mm, cantidad que depende de la textura del suelo (Pérez, 2007). En suelos de textura franca y bajo la línea de goteo, aparentemente existe una zona de menor densidad de raíces, situándose el mayor número de éstas entre los 25 a 50 cm de profundidad, lo que se explica probablemente por una menor aireación debido al régimen de riego (Pérez, 2007, Callejas et al., 2011). Las raíces funcionales de vid de diámetro menor a 0,5 mm, se encuentran en zonas del suelo con buenas condiciones de aireación y alejadas de zonas de saturación, en el caso de suelos francos, y con una distribución uniforme en el perfil de suelo, en el caso de texturas gruesas (Rojo, 2007; Araujo et al., 1995).

Las raíces son el principal factor en el balance de carbohidratos de la vid, además proveen de agua y nutrientes necesarios para el crecimiento aéreo y fructificación, recogiendo señales positivas o negativas del suelo. Por ello, es fundamental tener la capacidad de cuantificar el volumen de raíces, su calidad y localización en el suelo, para poder determinar los puntos críticos que puedan estar limitando la expresión óptima de las plantas en un parrón (Rojo, 2007).

Independiente de la distribución que pueda tener el sistema radical, las plantas más productivas están asociadas a una mayor cantidad de raíces, en especial aquellas de menor diámetro (Callejas et al., 2011).

El crecimiento de raíces de vid, como respuesta a distintas condiciones edafoclimáticas y manejos, es una materia que no está completamente estudiada, siendo probablemente una de las principales causas de las ineficiencias de muchas labores de manejo que son importantes en esta especie y en otros frutales en general (Callejas et al., 2005).

El rol del agua en el crecimiento de raíces

Respecto al manejo hídrico en parronales, se utiliza principalmente el riego localizado independiente de la disponibilidad del recurso hídrico. Dentro de las ventajas del riego por goteo por sobre los riegos tradicionales, se encuentra la mayor uniformidad de distribución de agua, la posibilidad de aplicar fertilizantes vía riego y los menores costos en mano de obra (Sellés et al., 2003).

En épocas en que existe desarrollo radical, el suelo debe contar con la humedad óptima para

que esto ocurra. En este sentido, el contenido de agua no debe ser muy alto, debido a que se dificulta la difusión de oxígeno en el suelo, afectando la respiración de las raíces (Ferreira et al., 2001). Bajo este contexto, el principio básico de usar riego por goteo es mantener un alto potencial hídrico del agua en un volumen reducido de suelo, lo cual se consigue al hacer aplicaciones diarias de agua, para reponer lo consumido el día anterior (Bresler, citado por Sellés et al. 2003).

Bresler (1977, citado por Sellés et al. 2003), señala que la mantención de un potencial hídrico elevado es una de las ventajas atribuibles al riego por goteo, lo cual se vería reflejado en una mayor producción respecto a sistemas de riego superficiales y cuyo manejo se adecúa perfectamente en suelos de texturas gruesas, con baja capacidad de retención de humedad y buenas condiciones de aireación. Sin embargo, en suelos de textura fina, al hacer riegos diarios, se podrían producir problemas de compactación, lo cual afectaría el crecimiento de raíces, por ende, la frecuencia de riego debe ser menor en estos casos (Sellés et al. 2003).

Según Bresler (1977, citado por Sellés et al. 2003), una disminución en la frecuencia de riego implica un aumento en el volumen de agua aplicado, por ende, un incremento en el tamaño del bulbo húmedo, particularmente en suelos de textura fina, además de un aumento en la aireación del suelo, entre los ciclos de riego. Por lo tanto, según lo anterior, el riego por goteo diario podría ser reemplazado por manejos que contemplen riegos de mayor duración y menor frecuencia, obteniéndose bulbos húmedos más amplios y profundos, mejorando las condiciones de humedad y aireación para el crecimiento de las plantas. Además, se lograría un mayor volumen de suelo explorado por el sistema radical, lo que se traduce en un mayor crecimiento de la parte aérea de la planta y mayor productividad (Sellés et al., 2003).

Existen otros factores que pueden influir en el crecimiento y funcionalidad de las raíces, como la temperatura del suelo, el suplemento nutricional, el grado de resistencia mecánica y la aireación del suelo (Richards, 1983). En la mayoría de las especies frutales, el espacio poroso no debe ser inferior al 10%, mientras que para el caso de la vid, los límites adecuados se encuentran entre el 12 a 15% para un buen crecimiento de raíces (Richards, 1983).

En lo que respecta al estrés hídrico, Silva y Rodríguez (1995), señalan que tiene un efecto directo e indirecto en el desarrollo radical. El efecto directo tiene que ver con la baja disponibilidad de agua, la que determina un menor crecimiento de raíces, mientras que el efecto indirecto se produce porque en la parte aérea disminuye la tasa fotosintética y de esta forma, las raíces no obtienen suficientes carbohidratos disminuyendo su crecimiento, contrario a lo que ocurre bajo un exceso de agua.

El exceso de agua en el suelo, inducido por riegos excesivos o precipitaciones permanentes, disminuye la aireación del suelo inhibiendo el crecimiento radical y sus funciones, lo que se ve agravado en suelos arcillosos de baja permeabilidad, afectando no solo la fotosíntesis, sino que además, parte del sistema radical muere o se retrasa la emisión de raíces blancas,

restringiéndose el crecimiento sólo a estratas superiores con mayor aireación (Silva y Rodríguez, 1995).

El agua ocupa normalmente los microporos del suelo, sin embargo, al haber un exceso de la misma en el suelo, ocurre la ocupación de los macroporos afectando la disponibilidad de oxígeno para las plantas, observándose distintos efectos: a nivel de suelo ocurre una selección de flora microbiana a favor de microorganismos anaerobios; disminuye el contenido de nitrógeno para la formación de nitrógeno libre de los nitritos; acumulación de amoníaco; se hace más lenta y deficiente la mineralización de sustancias orgánicas, lo que conlleva a la acumulación de productos perjudiciales para la planta, como el etileno (Fregoni, 2005). A nivel de planta, el exceso de agua provoca una muerte parcial del sistema radical y reducción de los pelos radicales, mientras que en hojas se observan cambios de color por deficiencias nutricionales, marchitamiento, abscisión, dependiendo de la persistencia del exceso de agua, provocando un cierre parcial de los estomas, reduciendo el potencial hídrico foliar a valores más negativos (Fregoni, 2005).

Por lo tanto, el agua es uno de los factores más importantes, dado que afecta directamente la aireación y mecanismos de resistencia, e indirectamente, la temperatura del suelo y el suplemento de nutrientes (Richards, 1983).

Utilización de sondas de capacitancia para el manejo de riego

La cantidad de agua que absorbe la planta durante la temporada de crecimiento es muy variable, lo cual depende del clima y de los factores que afectan la transpiración, tales como la radiación solar, temperatura, humedad, además del estado sanitario de la planta y el grado de expansión del sistema radical (Ferreira et al., 1998). Según Contreras y Pinto (1973, citado por Ferreira et al. 1998), las necesidades hídricas al inicio de la brotación son mínimas (1,5% del total), similar a la floración en que tampoco se excede esa cantidad, mientras que de floración a cuaja consumen el 10%, con un requerimiento mayor de cuaja al estado de pinta, y de pinta a madurez, con un 43 y 44% respectivamente.

Si el suelo se encuentra saturado en períodos prolongados de tiempo, durante la estación de crecimiento del parronal, las raíces pueden morir por falta de aireación de suelo, reflejándose en el viñedo como síntomas característicos de una falta de agua, debido a la incapacidad de las pocas raíces sanas de satisfacer las necesidades de la planta, incluso en suelo muy mojado (Winkler et al., 1974).

El período de mayor crecimiento es el más afectado por la falta de agua y se extiende aproximadamente desde la brotación hasta una semana antes de floración. En esta etapa ocurre un rápido aumento del área foliar y transpiración, por lo tanto, cualquier déficit hídrico provocaría una reducción en la elongación celular, traduciéndose en un menor crecimiento de brotes (Ferreira et al., 1998).

Según las necesidades hídricas de la planta y para asegurar una adecuada cantidad de agua en etapas de activo crecimiento radical, existen en la actualidad equipos como las sondas de capacitancia FDR, Enviroscan® (Frequency Domain Reflectometry), que tienen la capacidad de medir el contenido de agua del suelo, basado en la constante dieléctrica, siendo ésta, la capacidad que tiene una sustancia o material de transmitir ondas o pulsos electromagnéticos, influenciada por un volumen de agua (Santa Olalla et al., 2005).

En lo que respecta al análisis de datos obtenidos por estos equipos Enviroscan®, se ha diseñado un programa computacional llamado IrriMAX, que permite analizar los datos y generar líneas de gestión (LG), utilizadas como indicadores o parámetros de referencia para medir el contenido de agua en el suelo. Algunos de los parámetros utilizados son presentados en el Cuadro 1 (Callejas et al., 2013).

Cuadro 1. Líneas de gestión.

Línea de gestión	Descripción
Nivel de lleno	Es el contenido de agua máximo que puede sostener el suelo, hasta que el último sensor marca una diferencia en el contenido de agua. A este nivel de agua en el suelo, el sensor más profundo de la sonda FDR Enviroscan® debe mostrar mínima actividad.
Capacidad de campo sonda (CCs)	Contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se deja drenar libremente (Silva et al., 2000). En este caso, será evaluada según la información recopilada por la sonda considerando la sumatoria de los 3 sensores superiores.
Relleno temprano	Punto de recarga anticipado atendiendo el comportamiento del sensor ubicado en el horizonte con mayor densidad de raíces y por ende, consumo de agua, de manera que no se produzca una condición de estrés.
Punto de recarga	Punto donde las caídas de agua diarias, a una máxima demanda atmosférica y constante, medidas por los sensores, comienzan 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. Esta información deberá ser contrastada con la información climática entregada por una estación meteorológica.
Relleno en zona de inicio estrés	Parámetro utilizado en ciertos casos, como uva de mesa por ejemplo, para promover el crecimiento de raíces, debido a la falta de agua en el medio, o en períodos de ahorro en agua de riego (materia en investigación). El déficit hídrico, provoca una expansión del sistema radical, en zonas no exploradas por las raíces.

Condición hídrica de la planta: potencial hídrico xilemático

Uno de los indicadores utilizados en la actualidad para evaluar la condición hídrica de la

planta es el potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}), el cual indica el nivel máximo de estrés que pueden sufrir las plantas en el transcurso del día (Sellés et al., 2003).

Según Lambers et al. (2008), el potencial hídrico es definido como la diferencia de potencial químico existente entre el agua de un sistema específico y el agua pura, a una misma temperatura y presión atmosférica, medida en unidades de presión (MPa). Por lo tanto, el Ψ_{hx} refleja el estado hídrico de la planta bajo condiciones de transpiración, siendo el resultado de la diferencia entre la absorción y la transpiración (Sellés et al., 2003).

Garnier y Berger (1985, citado por Sellés et al. 2003), señalan que una menor disponibilidad de agua en el volumen de suelo explorado por las raíces de la planta, se vería reflejado en un menor Ψ_{hx} medido a medio día. No obstante, los valores medidos no provocarían un cierre estomático o disminución de la fotosíntesis, situación que si podría ocurrir a potenciales más negativos o escasa disponibilidad de agua.

Por otra parte, Gálvez (2011) basado en los estudios de McCutchan y Shackel (1997), propuso complementar la medición del Ψ_{hx} con la demanda atmosférica representada por el DPV, lo que permite mantener a la planta bajo una óptima condición hídrica, suministrándole agua sólo cuando ésta lo requiera.

A pesar de que el Ψ_{hx} es un índice que refleja bastante bien la condición hídrica de la planta, este parámetro no indica necesariamente el volumen de agua almacenado o la eficiencia de uso a nivel de suelo, por lo tanto, es necesario hacer un contraste con parámetros directamente relacionados con el agua del suelo (Navarrete, 2013).

Hipótesis

El uso de sondas de capacitancia FDR, permite disminuir el uso de agua de riego y con ello promueve el crecimiento de raíces.

Objetivo

Determinar el efecto de dos criterios de riego, sobre el crecimiento de raíces, condición hídrica de la planta y rendimiento en uva de mesa cv. Thompson Seedless.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo durante la temporada 2012/2013, en la comuna de San Vicente de Tagua Tagua, empresa Freshland Chile S.A., fundo El Grifo (19 H 299.303,43 m E 6.182.635 m S 201 m.s.n.m.), Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Se utilizaron plantas del cv. Thompson Seedless autoenraizadas, plantadas el año 1999, conducidas bajo el sistema de parrón español, ubicadas sobre camellones, a una distancia de 3 m sobre hilera y 3,5 m entre hilera. El sistema de riego fue por goteo, con dos líneas distanciadas del tronco a 0,15 m y con goteros separados a 1 m, los cuales tenían una descarga de $4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$. La precipitación del equipo fue de $1,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

MÉTODO

En la temporada 2012, se implementaron 2 configuraciones de riego definiéndose los 2 tratamientos (Cuadro 2). El diseño fue completamente al azar, con 3 repeticiones y la unidad experimental fue un grupo de 6 plantas.

Cuadro 2. Distintas configuraciones de riego implementadas en el ensayo campo.

Tratamiento	Criterio de riego
T1 (RS)	Frecuencia de riego definida por el punto de recarga y el tiempo, por el nivel de lleno.
T2 (RT)	Testigo campo, cuya frecuencia y tiempo de riego se determinó a través de la observación de calicata. Riego de alta frecuencia.

Evaluaciones

Caracterización del suelo

Se realizó una descripción morfológica del suelo mediante una calicata frontal de 1 m de profundidad (considerando el camellón de altura 0,25 m), por 2 m de largo y perpendicular a la hilera de plantación, una para todo el ensayo, siendo ésta, representativa del sector de estudio. Para el análisis textural, se tomaron muestras de suelo a 15 y 55 cm de profundidad, seleccionando ambas profundidades según diferencias detectadas a través del tacto. Las muestras fueron enviadas a laboratorio.

Contenido de agua en el suelo

Se dispuso de 2 sondas de capacitancia FDR Enviroscan®, cada una con 4 sensores, ubicados a 15, 35, 55 y 85 cm de profundidad.

La información del contenido de agua en el suelo fue almacenada cada 15 minutos por una unidad de telemetría remota de funcionamiento autónomo, siendo transmitidas a un software para el procesamiento, almacenamiento, distribución de la información, análisis y determinación de las líneas de gestión (LG). El software que se utilizó para analizar los datos fue “IrriMAX”, versión 9.1, sistema de monitorización de humedad del suelo, acoplado a los sensores Sentek.

Las LG fueron determinadas durante la primera temporada de instalación de las sondas de capacitancia FDR Enviroscan® (2011-2012), siendo utilizadas para definir los dos criterios de riego aplicados en el ensayo.

Para generar las LG, se trabajó bajo la metodología usada por Callejas et al. (2013), con 2 tipos de gráficos por sonda FDR; el primer gráfico permitió definir la frecuencia de riego llamado “gráfico sumatoria”, el cual integró los datos en conjunto de los 3 primeros sensores, representando la absorción de agua por las raíces de la planta. El segundo gráfico denominado “apilado”, mostró el comportamiento de los 4 sensores por separado, lo cual fue muy importante ya que permitió definir a qué profundidad se encontraba la mayor cantidad de raíces absorbentes o mayor actividad del sistema radical, además el cuarto sensor, ubicado en una zona de escasa actividad radical (sensor más profundo), se utilizó para determinar el tiempo de riego.

Al concluir la temporada de riego, se calculó las horas de riego totales utilizadas para cada criterio de riego determinado previamente. Para esto, se utilizaron datos de contenido de agua extraídos desde la plataforma virtual “Drop Control”, cuya información fue contrastada con la información registrada por el encargado de riego del campo. La cantidad de agua utilizada para cada tratamiento fue calculada desde brotación hasta caída de hoja, sumando las precipitaciones acontecidas en la misma junto con el agua de riego aplicada.

Se calculó el agua de riego aplicada usando las siguientes ecuaciones:

$$PP_{\text{equipo}} = \frac{Q_e}{D_e \cdot D_l} \cdot 10 \text{ (factor de conversión)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Agua riego} = PP_{\text{equipo}} \cdot h \text{ total} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

PP_{equipo} = Precipitación del equipo ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)

Q_e = Caudal del emisor ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)

D_e = Distancia entre emisores (m)

DI = Distancia entre las laterales (m)

Agua riego = Volumen de agua de riego total, usado en la temporada ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

h total = Horas de riego totales, usadas para cada criterio de riego.

En base a pruebas de descarga de los emisores, se determinó el coeficiente de uniformidad del caudal de riego, siendo éste de un 80%. Para determinar la uniformidad del sistema, se seleccionó una línea de goteo, 12 goteros (elegidos al azar), y se midió la descarga por emisor con una probeta durante 1 minuto, registrando el volumen de agua caído en ese período de tiempo. De los 12 valores registrados, se calculó el promedio de los 3 emisores de menor caudal ($q_{25\%}$) y el caudal total de los emisores ($q_{100\%}$). Tomando ambos valores, se determinó el coeficiente de uniformidad del caudal mediante la ecuación:

$$\text{Coeficiente de uniformidad del caudal (\%)} = \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \cdot 100\%$$

Cabe destacar que el seguimiento de los distintos tratamientos, además del uso de sondas de capacitancia FDR, estuvo apoyado por la evaluación de la evapotranspiración de referencia, determinada por una estación meteorológica, ubicada al interior del campo de estudio.

Condición hídrica de la planta

Con el objetivo de evaluar el estado hídrico de las plantas, durante la temporada de riego se realizaron mediciones de potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}), temperatura ambiental (T_a ; °C) y humedad relativa (HR; %).

Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}). Para medir el potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) se utilizó una cámara de presión tipo Scholander modelo Pump-up® (PMS Instrument Company, Oregon, EE.UU), evaluando 6 plantas por tratamiento (2 plantas por repetición), una hoja por planta. Esta medición se realizó para contrastar el estado hídrico del suelo con la planta, en los 2 criterios de riego. Las hojas que se evaluaron fueron aquellas que estaban sombreadas y cercanas a la corona de la planta (Gálvez, 2011).

Las evaluaciones fueron periódicas, cubriendo las hojas con bolsas plásticas, envueltas en papel de aluminio, siendo posteriormente retiradas sin extraerlas de las bolsas, midiéndose inmediatamente el Ψ_{hx} con la cámara de presión tipo Scholander. Las bolsas, fueron puestas a partir de las 11:00 AM, evaluando el Ψ_{hx} entre las 14:00 y las 15:30 PM, momento en el cual ocurre la máxima demanda de agua diaria en el sitio de estudio. Los estados de desarrollo en que se llevaron a cabo las evaluaciones, fue entre baya 12 mm y cosecha.

Temperatura ambiental (Ta; °C) y humedad relativa (HR; %). Se midió Ta y HR en paralelo al potencial hídrico xilemático, entre las 14:00 y 15:30 PM, por medio de un termo-higrómetro digital modelo AZ 8701 (AZ Instrument Corp. Tai-chung, Taiwán), ubicado a la sombra, a 1 m de altura sobre el follaje de la vid para determinar la demanda atmosférica real, sin la intervención del parrón (Gálvez, 2011). Con estos valores, se determinó la presión parcial de vapor (e_a) y a saturación (e_s) del aire, a través de las ecuaciones 1 y 2 (Murray, 1967, citado por Gálvez 2011)

$$e_s(T) = 0,611^{(17,27 T / (T + 237,3))} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$e_a = e_s \cdot \text{HR}/100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

e_s = Presión de vapor del aire a saturación (kPa)

e_a = Presión parcial de vapor del aire (kPa)

T = Temperatura (°C)

Crecimiento de raíces

Se utilizaron dos métodos.

Escáner de raíces. Para evaluar el crecimiento de raíces, durante el receso invernal (año 2012) se montaron tubos de plexiglás de 0,8 m de largo, ubicándolos en una “proyección diagonal” de 0,6 m con respecto al tronco, insertando los tubos en un ángulo de 45° (Figura 1). La profundidad efectiva alcanzada por el tubo fue de 0,6 m aproximadamente y el gotero más cercano se ubicó a 0,35 m de la entrada del tubo (Figura 1).

Se utilizó un escáner de raíces “CI 600 Digital Root Imager” para obtener imágenes de las raíces y poder así, llevar a cabo un seguimiento anual del crecimiento de las mismas. Se dispuso de 2 tubos de acceso, uno por tratamiento, seleccionando aquella planta que fuera homogénea en relación a los distintos criterios de riego.

Finalmente, se realizó una evaluación descriptiva de la tasa de crecimiento de raíces. Las imágenes obtenidas por el escáner fueron analizadas con el programa WinRhizo Tron.

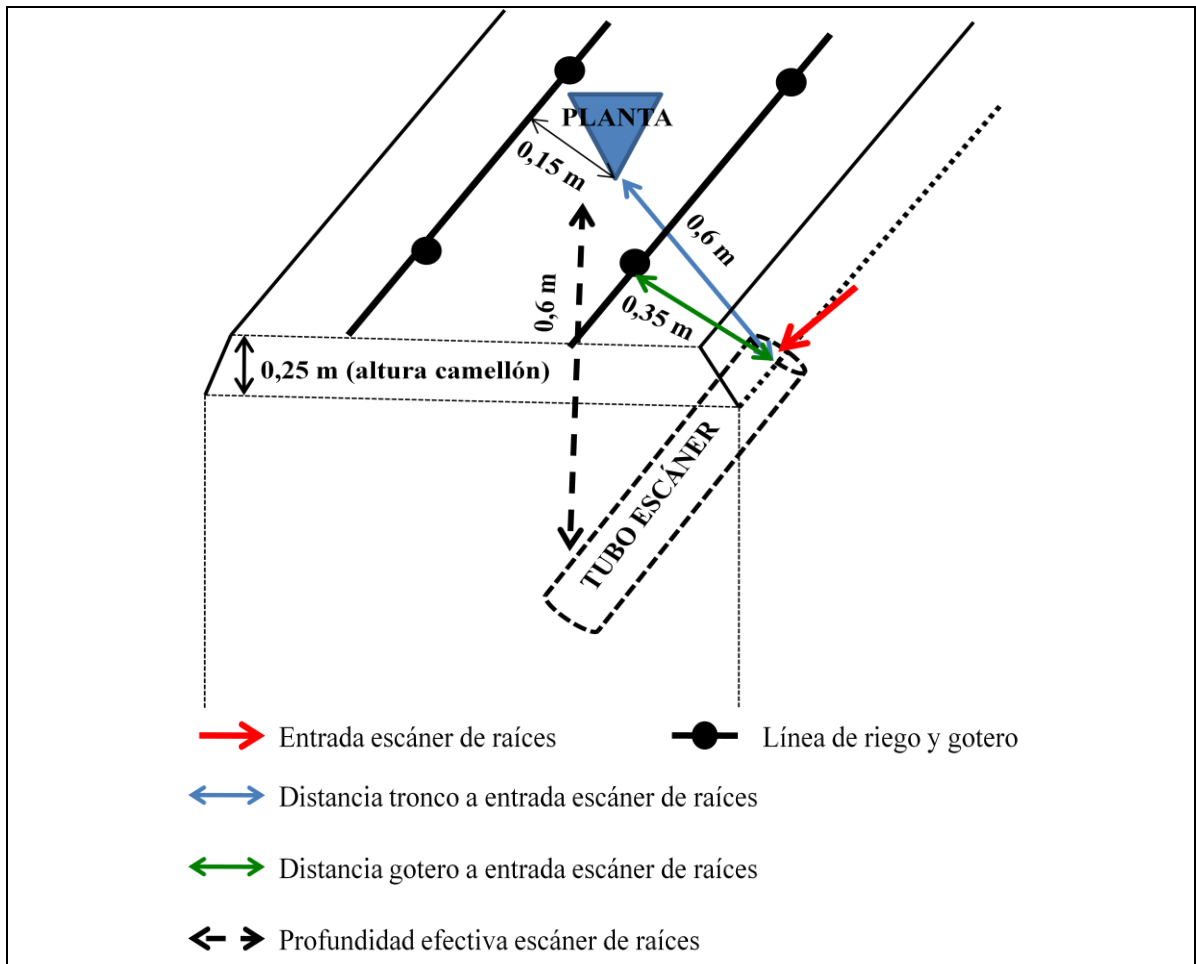


Figura 1. Esquema del posicionamiento del tubo para la introducción del escáner de raíces en la hilera de plantación.

Método del barreno. Basado en la metodología descrita por Weller (1964), a inicio de invierno se tomaron muestras a 0-25 y 25-50 cm de profundidad, en 3 puntos de la sobrehilera. Estos puntos fueron ubicados a 50 cm de separación entre uno y otro, sobre una línea recta imaginaria, perpendicular a la hilera de plantación y que se proyectó a 60 cm del tronco de la planta. Se muestrearon 3 plantas por tratamiento, 1 planta por repetición.

Se extrajeron muestras de suelo mediante barrenos manuales de tarro con un volumen aproximado de 1.963 cm^3 , separando las raíces y el suelo. Las raíces fueron secadas en horno a 75°C por un período de 48 horas, para posteriormente, ser masadas con una balanza de precisión. Con estos datos, se hizo una estimación del sistema radical presente en el volumen de suelo correspondiente a cada profundidad.

Cosecha

En 6 plantas por tratamiento (2 plantas por repetición), se evaluaron los siguientes parámetros:

- a) Peso de racimo: se midió el peso de todos los racimos por planta al momento de la cosecha, mediante el uso de una balanza de precisión Uwe® (HGM-2000)
- b) Desgrane: se midió el desprendimiento de baya de 5 racimos por planta. Se pesaron, luego estos se sacudieron levemente por 10 segundos, para pesar posteriormente las bayas que se desprendieron, lo que permitió estimar el porcentaje de bayas desgranadas en relación al total de racimos en base a su peso.
- c) Tamaño de baya: a 5 racimos por planta se les extrajo 3 bayas por racimo, de la parte superior, central e inferior del mismo, a las cuales se les midió diámetro ecuatorial al momento de cosecha, con un pié de metro.
- d) Contenido sólidos solubles (° Brix): las 3 bayas que fueron extraídas de 5 racimos para medir tamaño, se utilizaron para medir el contenido de sólidos solubles, mediante un refractómetro electrónico.

Peso de poda

En invierno, durante el receso de las plantas y para determinar el efecto de los dos criterios de riego sobre el crecimiento vegetativo, se evaluó el peso de poda en 6 plantas por tratamiento (2 plantas por repetición). La poda fue realizada el día 10 de julio de 2013, llevándose a cabo bajo el criterio del predio.

Análisis estadístico

Se realizó un estudio comparativo entre los 2 tratamientos, para lo cual, se trabajó bajo el supuesto de que el sector de ensayo fue homogéneo.

Los datos fueron sometidos a un test de normalidad y homogeneidad de varianzas, para luego, ser procesados bajo un modelo de análisis de varianza (ANDEVA), con 1 criterio de clasificación (tratamiento). Se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, al 5%, para ver si existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

Para procesar la información obtenida de campo, se utilizó el programa computacional Infostat Statistical Software®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo

La serie de suelo del lugar de estudio correspondió a Laguna de San Vicente (franco arcillo limosa), miembro de la familia limosa fina, mixta, térmica de los Oxiaquic Calcixerolls (Mollisol). Suelos de origen lacustre, moderadamente profundos, estratificados, de alta fertilidad destinado principalmente al cultivo del maíz (CIREN, 2002).

El suelo presentó texturas franco arcillosas a arcillo limosas en profundidad, con una profundidad de calicata de 1 m y con presencia de raíces hasta los 0,60 m de profundidad. Cada una de las estratas está descrita en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción del perfil de suelo donde fue realizado el ensayo.

Profundidad (cm)	Observaciones
0-42	Franco arcilloso, estructura de bloques subangulares finos y medios, medios. Plástico y adhesivo. Poros finos abundantes, medios, comunes. Macroporos comunes. Escaso desarrollo de raíces.
42-95	Arcilloso a arcillo limoso. Estructura de bloques subangulares medios, fuertes. Estructura tiende a un grado masivo. Plástico y muy adhesivo. Poros finos, comunes. Escaso desarrollo de raíces. Presencia de raíces muertas. Sin macroporos. Se observa una alta humedad.

Según lo observado en el perfil de suelo al momento de hacer la calicata, el contenido de agua del suelo evaluado con la sonda TDR-100, se encontraba en valores de entre 40-42% de humedad correspondiente a capacidad de campo. El tipo de suelo donde se instaló el ensayo (suelo pesado), se caracterizó por su alta capacidad de retener agua, por tanto si el riego no es el adecuado, no permitiría una adecuada oxigenación del suelo necesario para el crecimiento de raíces, afectando en este caso a las plantas de vid.

En este sentido, Sellés et al. (2003), señala que el riego diario en suelos de textura fina (exceso de agua), además de provocar problemas en el desarrollo de raíces, afectando la tasa de difusión de oxígeno hacia el sistema radical, genera una acumulación de anhídrido carbónico u otras sustancias en el suelo, provocando la muerte de raíces o afectando la absorción de agua. Por lo tanto, es indispensable un buen intercambio gaseoso entre la raíz y la atmósfera para una adecuada actividad metabólica de las plantas (Letey, 1985) y para esto, un adecuado criterio de riego es fundamental.

Criterios de riego

Utilizando la plataforma “Drop Control”, se determinaron las líneas de gestión para los dos criterios de riego. Al analizar los datos en el software “IrriMAX v.9.1”, se generaron curvas apiladas (Figura 2) y sumadas (Figura 3) para cada criterio de riego. La Figura 2, muestra la determinación del “nivel de lleno (NLL)” a partir del análisis del gráfico apilado, mientras que en la Figura 3, muestra el NLL y ejemplifica el cálculo de “capacidad de campo sonda (CCs)” para uno de los tratamientos (T2).

Se estableció el nivel de lleno (NLL) según la descripción del “Full Point” extraída del manual de usuario del “IrriMAX v.9.1”, modificada por Callejas et al. (2013). Llevándolo a la práctica, es la máxima cantidad de agua que puede contener el suelo, hasta que el último sensor marca una diferencia en el contenido de agua, condición que se determina al observar el gráfico apilado (Figura 2). A este nivel de aporte de agua, el sensor más profundo debe mostrar mínima actividad, tal como se observó en este caso.

En la Figura 2, se presenta el contenido de agua en el suelo a 15, 35, 55 y 85 cm de profundidad luego de una lluvia profusa, de precipitación constante y sin interrupciones, en que el agua logra infiltrar hasta el último sensor simulando el efecto de un riego profundo. Luego de 3 días se observó una estabilización del contenido de agua en el suelo, pudiéndose determinar la CCs para los dos criterios de riego y sitio bajo estudio.

Se determinó la CCs usando la definición tradicional de capacidad de campo (CC) en terreno, postulada por Veihmeyer y Hendrickson (1950, citada por Callejas et al. 2013), siendo la cantidad de agua que queda almacenada en el suelo después de aplicar un exceso de agua y se deja drenar libremente durante un período de 3 días para texturas finas. El exceso de agua fue considerado luego de una lluvia, con las plantas en receso y con una baja ETo (Figura 3).

Finalmente, se estableció el punto de recarga (PR) para cada tratamiento, correspondiente al momento en que se debe regar nuevamente, definiendo la frecuencia de riego. Según Callejas et al. (2013), el PR corresponde a un umbral donde el déficit de humedad es admisible, evitándose alteraciones de las funciones metabólicas, en los rendimientos, calidad de fruta, potencial productivo u otras variables de acuerdo al objetivo productivo. El PR definido por la sonda es un punto donde las caídas diarias del contenido de agua, medida por los 3 sensores superiores y a una máxima demanda atmosférica y constante, comienza a disminuir debido a la reducción del contenido de agua en el suelo, dificultando la absorción de agua por parte de las plantas. Esta información debe ser apoyada por información climática entregada por una estación meteorológica. Las figuras 4 y 5, ejemplifican la determinación del PR para uno de los tratamientos (T1).

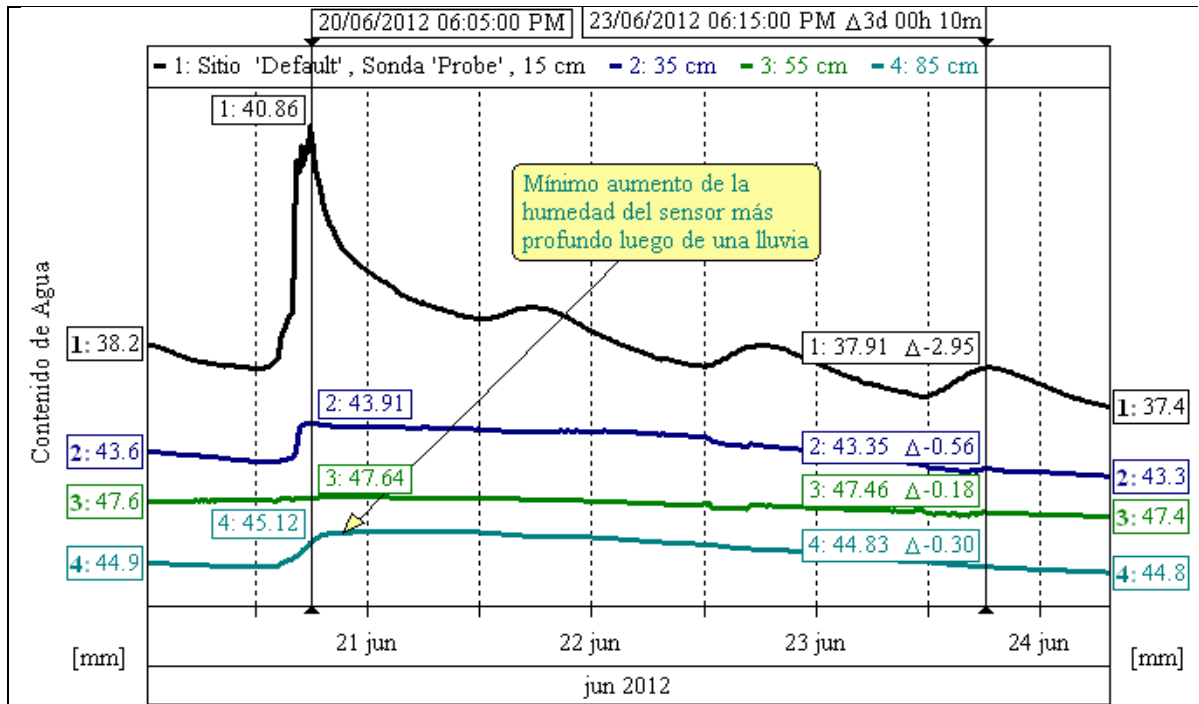


Figura 2. Determinación del nivel de lleno (NLL) a partir del análisis del gráfico apilado del software “IrriMAX v. 9.1”, T2 (RT).

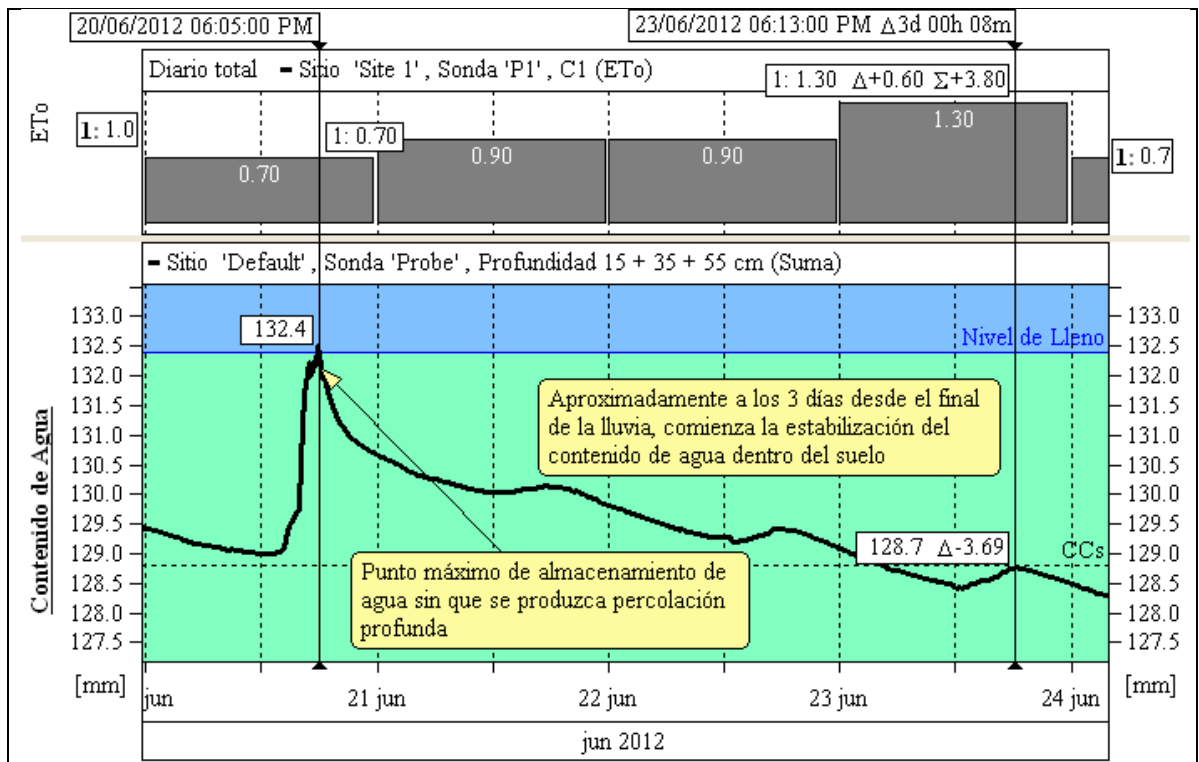
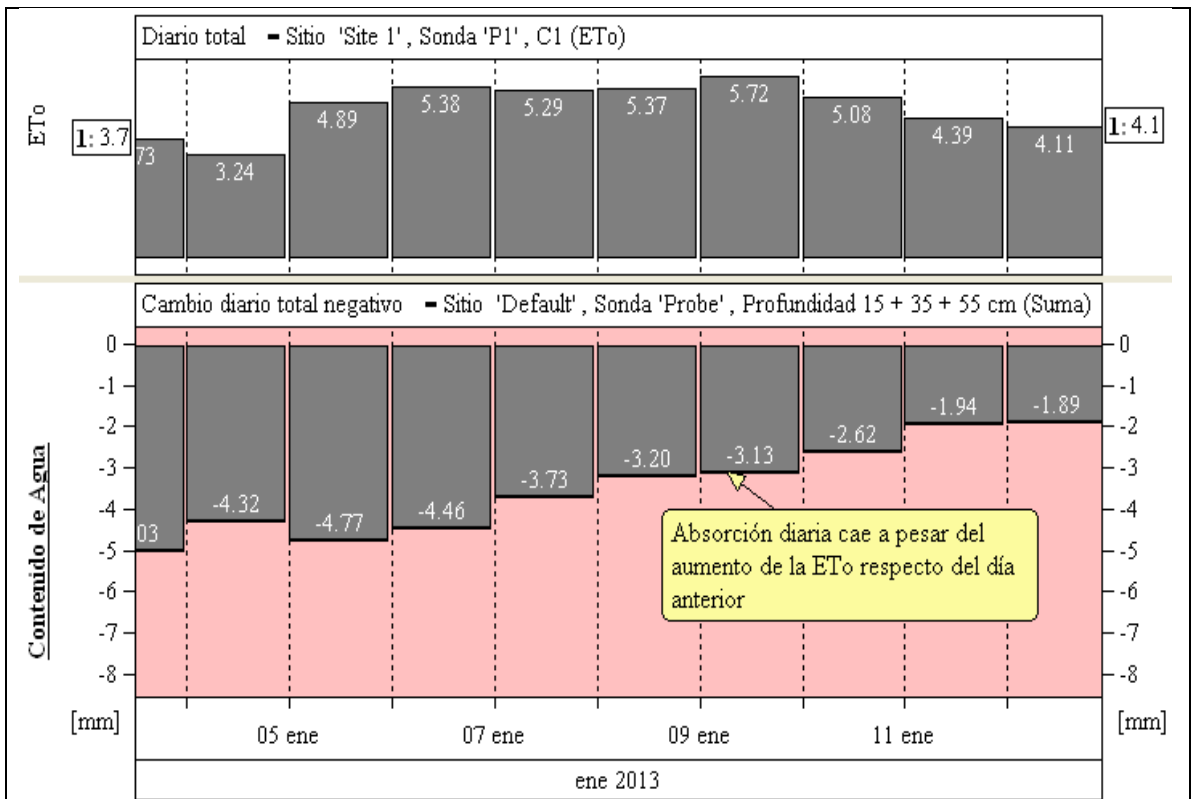
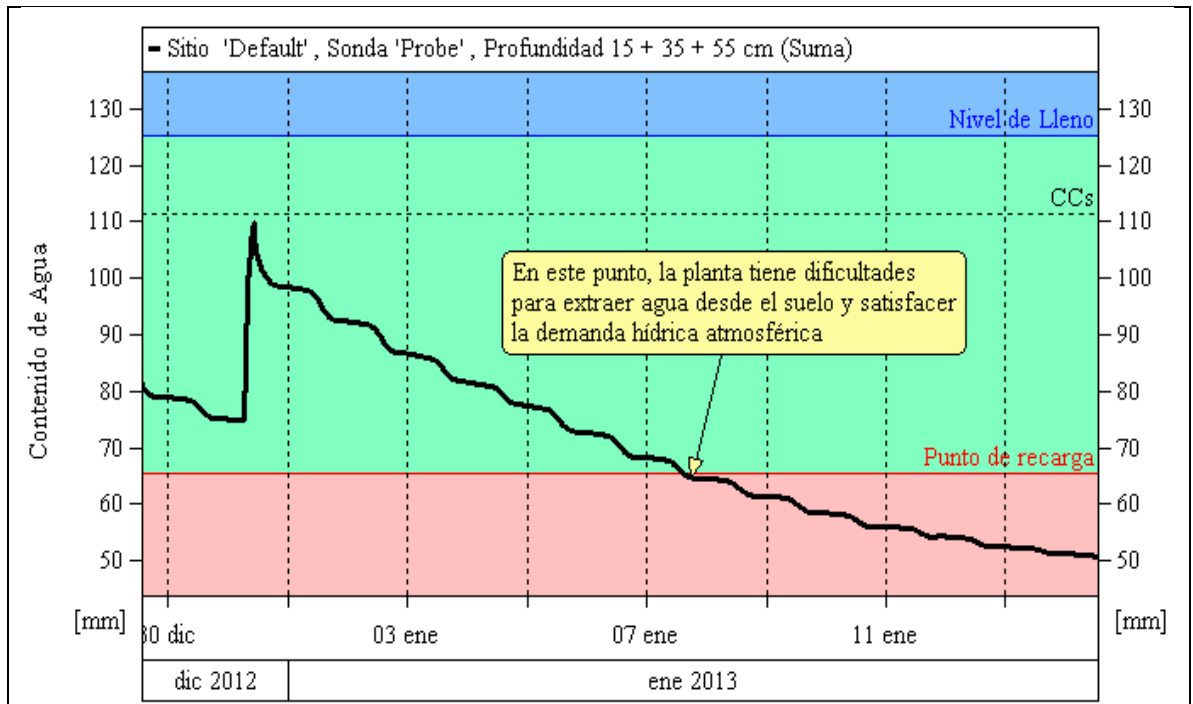


Figura 3. Nivel de lleno (NLL), ETo y determinación de la capacidad de campo sonda (CCs) en el gráfico sumatoria del software “IrriMAX v. 9.1”, T2 (RT).



En la Figura 5, se observa una caída en la absorción de agua diaria a pesar del aumento de la ETo, coincidiendo con un punto de inflexión observado en el gráfico sumatoria (Figura 4). Las dificultades que tiene la planta para extraer agua a partir de este punto, se ratifica al comparar, por ejemplo, la absorción de agua del día 5, siendo $E_{To}=4,89 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, con una absorción equivalente a $-4,77 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, mientras que en el día 11, se observa una $E_{To}=4,39 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ pero la absorción solamente es de $-1,94 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$.

En el Cuadro 4 se presentan, a modo de resumen, las líneas de gestión utilizadas para cada criterio de riego o tratamiento, observándose el nivel de lleno (NLL), capacidad de campo (CCs) y punto de recarga (PR).

Cuadro 4. Líneas de gestión utilizadas para los dos criterios de riego.

Tratamiento	Nivel de lleno	Capacidad de campo sonda	Punto de recarga
	----- mm -----		
T1 (RS)	125,3	119,5	65,6
T2 (RT)	132,4	128,8	107,6

Adicionalmente y a través de las sondas FDR, se determinó el momento en que la planta comenzó la absorción de agua por parte de las raíces, mostrando a inicio de la temporada de crecimiento (primavera) un punto de inflexión captado por los sensores (Figura 6), siendo este uno de los parámetros utilizado para iniciar los riegos correspondientes a la temporada 2012/2013.

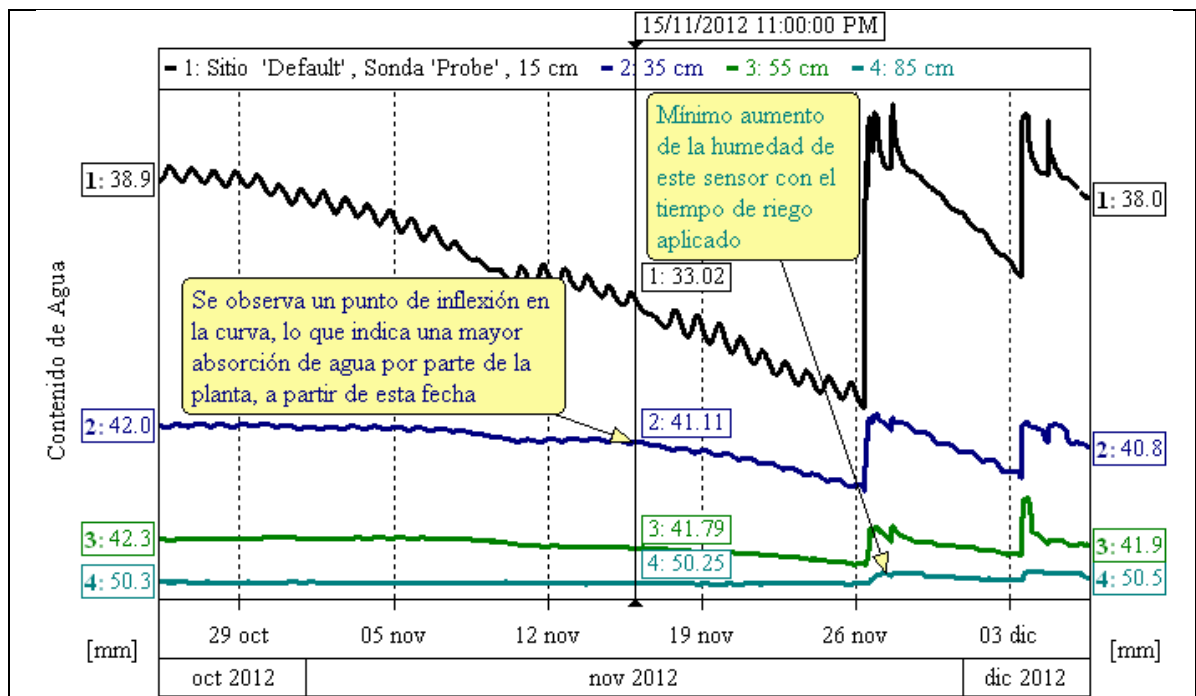


Figura 6. Determinación del punto de inflexión para el inicio de la temporada de riego, a partir del gráfico apilado del software "IrriMAX".

Al observar el gráfico apilado (Figura 6), el comportamiento del primer sensor (15 cm) está influenciado por la absorción de la planta y la ETo, mientras que en los sensores 2 y 3 (35 y 55 cm, respectivamente), se observa la absorción de agua por la planta. Se destaca el día 15 de noviembre, ya que a partir de esa fecha ocurre un punto de inflexión captado por la sonda, en particular los sensores 2 y 3, ya que ambos representan netamente el consumo de agua de la planta. La mayor actividad radical, ocurre en los primeros 50 cm de profundidad (Figura 6).

Volumen anual de agua de riego

La cantidad de agua aplicada para cada tratamiento, sumado a las precipitaciones caídas durante la temporada, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Volumen de agua total utilizado en la temporada 2012/2013, para cada criterio de riego, expresados en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tratamiento	Agua riego	Lluvia “efectiva”	Volumen de agua total	Agua aplicada respecto del testigo
		$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$		%
T1 (RS)	2.718	823	3.541	79,5
T2 (RT)	3.618	834	4.452	100

De acuerdo a los criterios de riego definidos para el ensayo, se pudo determinar el volumen de agua utilizado para cada tratamiento, siendo el T2 el que ocupó un mayor volumen de agua durante la temporada.

La determinación de la lluvia “efectiva” fue realizada en base a las observaciones de las sondas FDR, luego de un evento de lluvia. Para ejemplificar el cálculo, en la Figura 7 se observa la infiltración y el movimiento del agua en el suelo durante un período de lluvia; el primer sensor (15 cm) indica el momento en que el agua de lluvia comienza a infiltrar en el suelo, mientras que el sensor más profundo, luego de un tiempo aproximado de 8 horas, indica que la lluvia llegó a los 85 cm de profundidad con un volumen de agua de 18,1 mm, caído durante ese período (Figura 7).

La sumatoria de los eventos de lluvia, multiplicado por una superficie de 1 ha, entregó el valor aproximado de lluvia “efectiva” caída entre brotación y caída de hoja para cada criterio de riego.

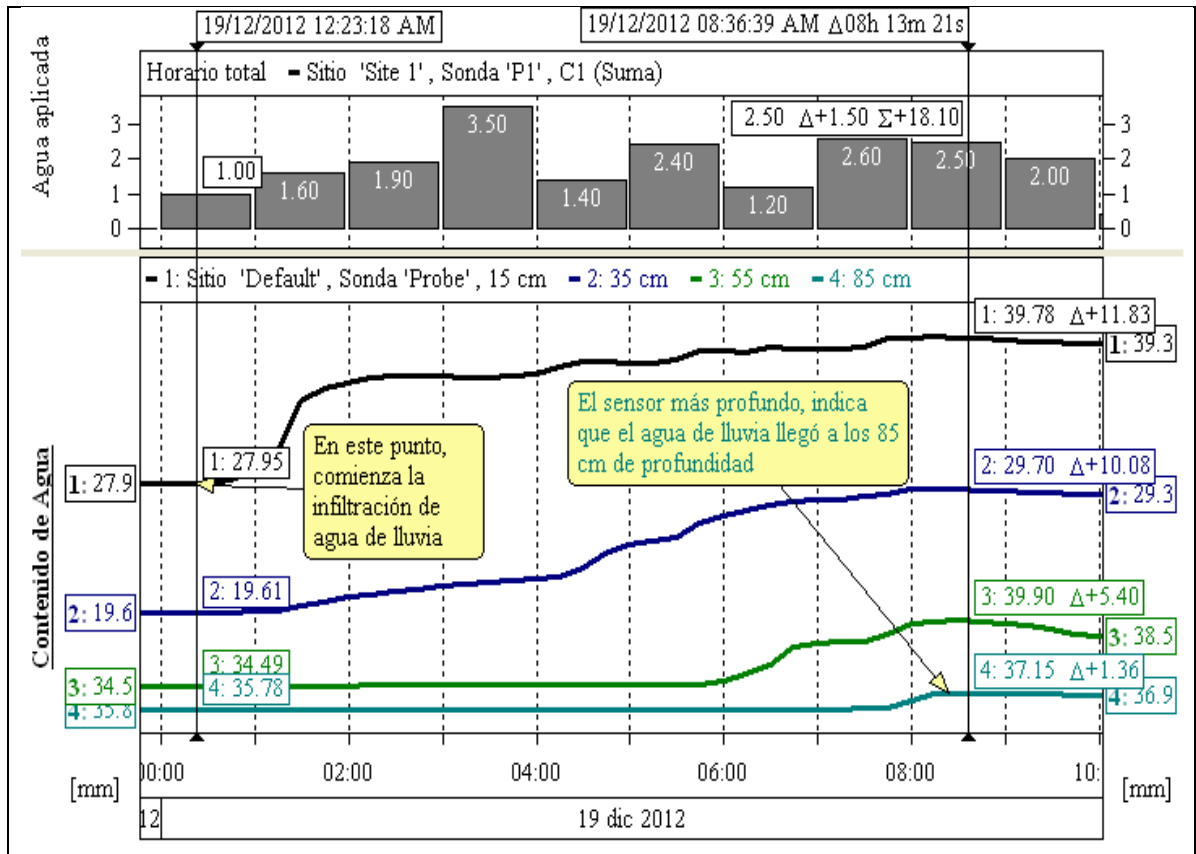


Figura 7. Ejemplo de estimación de la lluvia “efectiva” durante un evento de lluvia, medida a través de las lecturas de la sonda FDR.

Cuando se planificó el ensayo y sus distintos tratamientos, se esperaba un volumen de agua total al final de la temporada de aproximadamente $8.500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para el testigo campo (T2), ya que era el volumen de agua aproximado que se venía registrando históricamente, con riegos diarios en períodos de mayor demanda de agua. Sin embargo, en la temporada de estudio se modificó la estrategia de riego en el campo, atendiendo los problemas que genera el exceso de agua, realizando riegos según lo observado en el comportamiento de las sondas, además de observación de calicatas, siendo una de las razones por la cual se registró un bajo volumen de agua en T2 (RT).

Con la nueva estrategia del campo (T2), se realizaron riegos cada 2-3 días y de $10,8\text{-}14,4 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, manteniendo el contenido de agua entre nivel de lleno (NLL) y punto de recarga (PR) desde el inicio de la temporada de riego (mediados de noviembre) hasta “pinta”. Luego de esto, el suministro de agua disminuyó a un contenido cercano a PR en cosecha. Finalmente, en postcosecha hubo una mayor restricción en los riegos, con 2 riegos por semana y tiempos de riego de entre $5,4\text{-}7,2 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ (Figura 8). A lo anterior se suma además, un período de precipitaciones que se extendió desde la segunda quincena de diciembre de 2012 hasta fines del mismo mes, coincidiendo con el inicio del período de mayor demanda de agua en la zona (Figura 8).

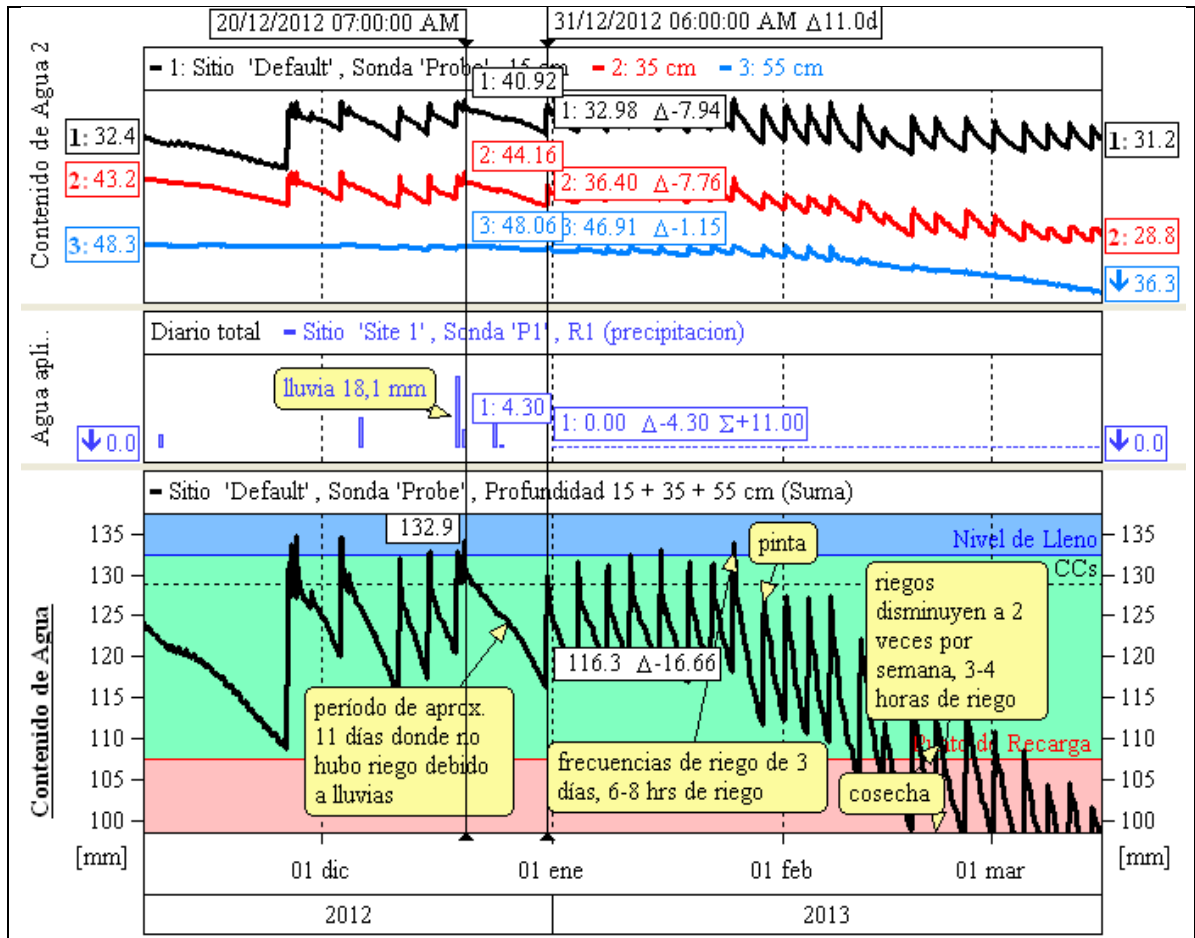


Figura 8. Comportamiento del contenido de agua en el suelo, desde inicio de temporada de riego hasta postcosecha, T2 (RT).

Respecto a T1 (RS), se esperaba obtener un volumen de agua al final de la temporada, cercano a los $4500-5000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, manteniendo el contenido de agua entre nivel de lleno (NLL) y punto de recarga (PR). Sin embargo, debido a la nueva estrategia de riego implementada en el campo, algo similar a lo planificado para T1, se optó por restringir aún más el agua de riego en relación a T2, de tal manera de diferenciar un tratamiento de otro en base al volumen de agua total, para ello se dejó un período de 22 días sin regar en enero, lo que resultó en una disminución en el contenido de agua por debajo del PR (Figura 9). Desde el 31 de diciembre y tras 9 días sin regar, se observó un punto de inflexión captado por la sonda, siendo este el punto de recarga del tratamiento ($\text{PR}=65,6 \text{ mm}$). A partir de PR, la planta presentó baja absorción de agua, debido a la falta de la misma.

Desde pinta a cosecha, se realizaron riegos cada 2-3 días y de $7,2-10,8 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, manteniendo el nivel de agua cercano a PR (Figura 9). Finalmente, en postcosecha disminuyeron los riegos a 2 veces por semana y tiempos de riego de entre $5,4-7,2 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, igual a T2. A pesar de esta baja en el agua de riego aplicada en postcosecha, el contenido de agua se mantuvo cercano a PR, lo que destacaría la gran capacidad de

retención de agua que presentó el suelo donde se realizó el ensayo (Figura 9).

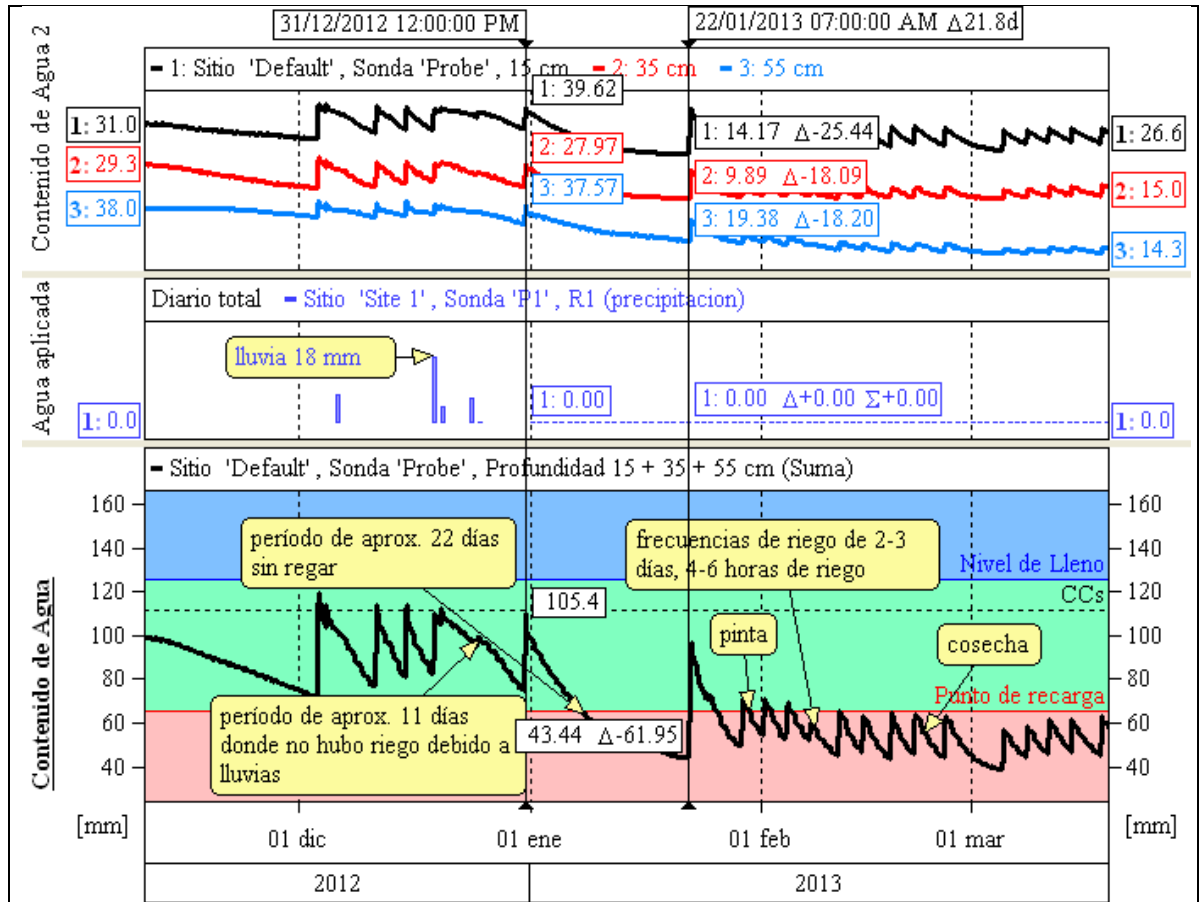


Figura 9. Comportamiento del contenido de agua en el suelo, desde inicio de temporada de riego hasta postcosecha, T1 (RS).

La reducción del suministro hídrico a lo largo de la temporada resultó en un ahorro de agua de un 20,5% en el tratamiento T1 (RS) respecto al tratamiento T2 (RT).

Dinámica del agua en el suelo

En base a lo anterior y según lo observado en ambos tratamientos, es importante destacar el comportamiento mostrado por las sondas durante la temporada en relación a la dinámica del agua en el suelo, captada a través de los sensores dispuestos en distintas profundidades. La mayor extracción de agua se presenta a 15 y 35 cm de profundidad y en menor medida a 55 cm (Figura 10), similar a lo observado por Sellés et al. (2012) en uva de mesa Thompson Seedless. Dicho comportamiento, coincidió con la zona donde se concentra la mayor cantidad de raíces en el perfil de suelo.

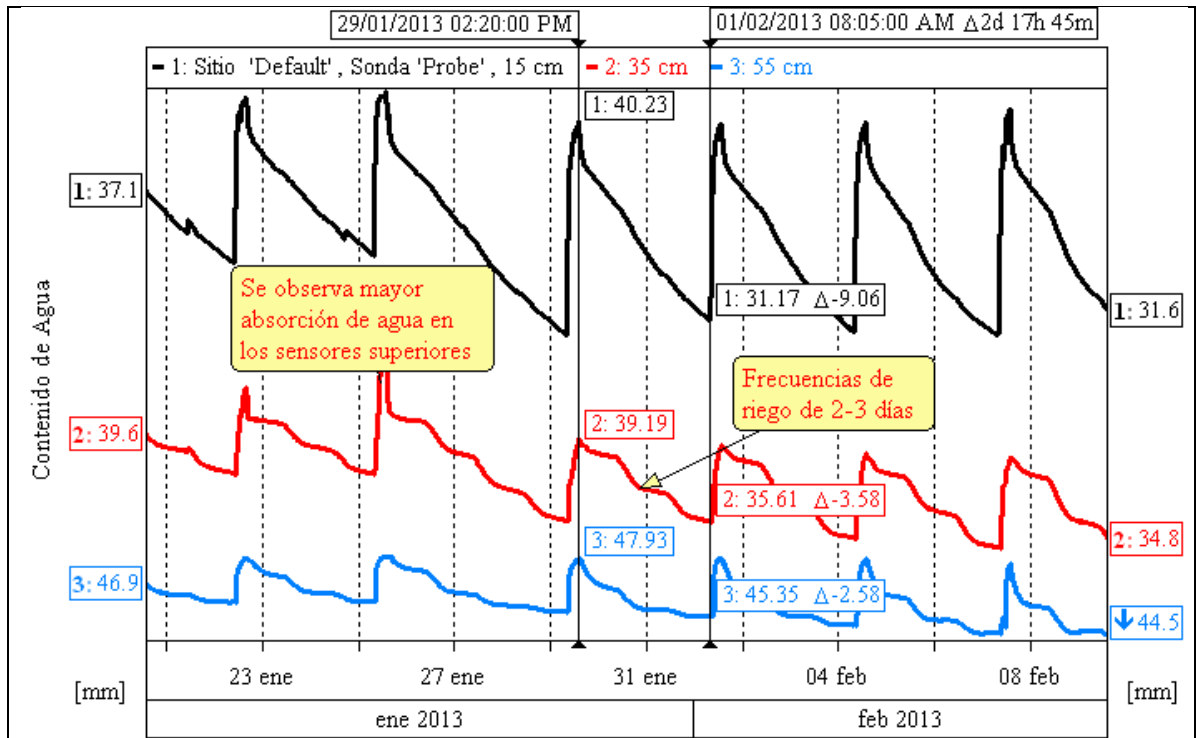


Figura 10. Dinámica del consumo de agua por la planta, T2 (RT).

Nivel de consumo de agua

En cuanto al nivel de consumo de agua durante la temporada para los dos criterios de riego, se observó una baja demanda entre brotación y cuaja, llegando a un 80% del volumen total a ser consumido entre cuaja y cosecha.

Respecto a lo anterior, Williams (2000) señala que el consumo de agua en la planta varía a través de la temporada, siendo bajo a principios de la misma y aumentando de manera casi lineal hasta que alcanza la máxima cobertura, donde el uso del agua se hace constante. Luego, el consumo de agua comienza a disminuir a medida que avanza la temporada, dado por la senescencia y caída de hojas.

Resultados similares a los de Williams (2000) obtuvieron Contreras y Pinto (1973, citado por Ferreyra et al. 1998). Ellos señalan que las necesidades hídricas entre brotación y floración son mínimas, mientras que de floración a cuaja aumentan hasta un 10%. El mayor requerimiento de agua ocurre de cuaja a madurez de la fruta, con un consumo de agua cercano al 85% del volumen total de agua usado en una temporada.

Finalmente, al estimar el volumen de agua utilizado en la temporada para los dos tratamientos y su relación con la evapotranspiración del cultivo (ET_c) total de la temporada, se obtuvo que T1 (RS) y T2 (RT) fueron regados a un 69,6% y un 87,6% de la ET_c, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Volumen de agua total para cada criterio de riego, y su relación respecto al ETc de temporada.

Tratamiento	Volumen de agua total	ETc* (ETo · Kc)	Relación de los tratamientos respecto de ETc
	----- m ³ · temporada ⁻¹ -----		%
T1 (RS)	3.541	5.083	69,6
T2 (RT)	4.452	5.083	87,6

*Valor estimado en base a ETo de campo, y Kc propuesto por Sellés et al. (2012), según estado fenológico.

Condición hídrica de la planta

Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) y déficit de presión de vapor (DPV)

Durante el período de estudio se observaron rangos de déficit de presión de vapor (DPV) entre 1,5 a 4,5 kPa (Figura 11), debido a la variación de la temperatura ambiental y humedad relativa. Adicionalmente y en relación al potencial hídrico xilemático, en el testigo campo (RT) las plantas mostraron mayor Ψ_{hx} en comparación al T1 (RS), independiente del valor de DPV alcanzado.

Según lo observado en la Figura 11, T1 (RS) fue el tratamiento que alcanzó valores más bajos o negativos de Ψ_{hx} , siendo aquellas plantas que recibieron una menor cantidad de agua durante todo el ensayo, mientras que T2 (RT) fue el que obtuvo los valores más altos, presentando valores similares a la curva generada por UCHILECREA para uva de mesa cv. Thompson Seedless, en el marco del programa “Uso eficiente de agua, VI Región (2014)”.

A medida que aumentó el DPV el Ψ_{hx} disminuyó. Dicha relación coincidió con lo observado por Gálvez (2011) para uva de mesa Thompson Seedless. Gálvez (2011) señala que existe una gran influencia de factores climáticos sobre el Ψ_{hx} y DPV, cuando no se presentan limitaciones hídricas en el suelo (Figura 11).

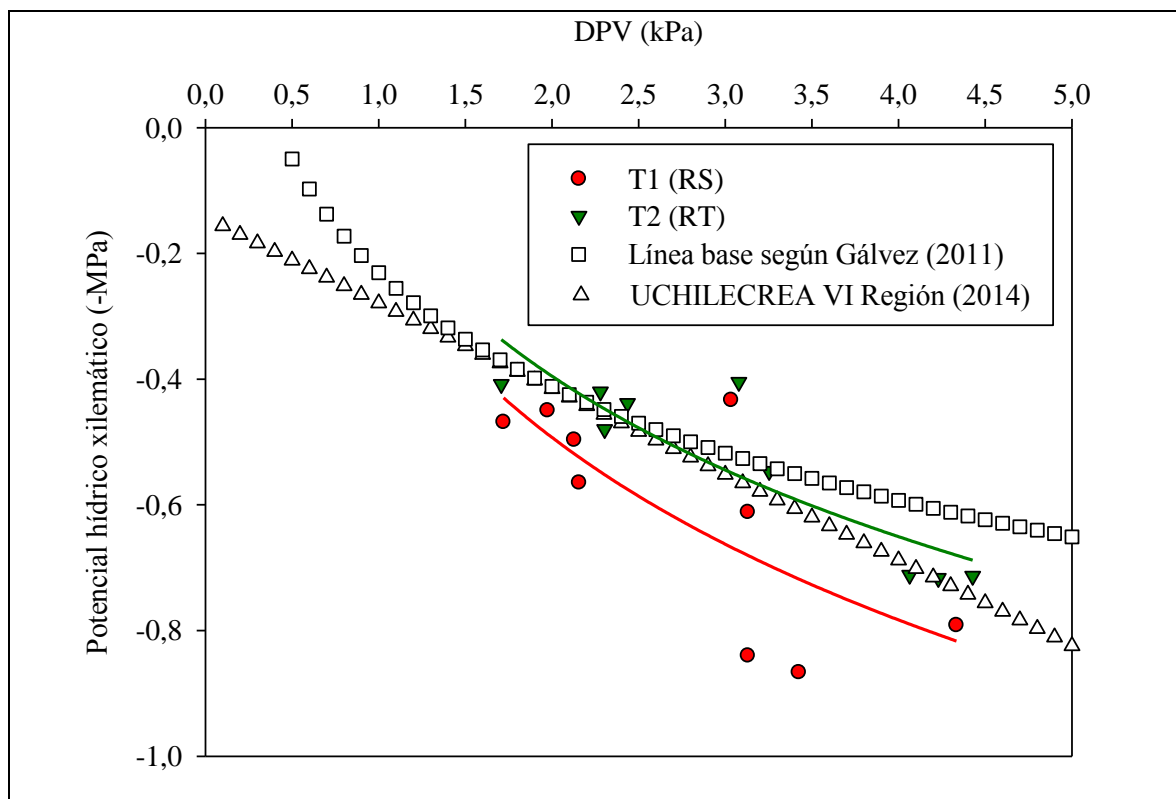


Figura 11. Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) en función del déficit de presión de vapor de la atmósfera (DPV), para los dos criterios de riego.

La mayoría de los investigadores que han usado el Ψ_{hx} como criterio de evaluación del estado hídrico de la planta, lo asocian a un valor puntual (Sellés et al., 2003; Ferreyra et al., 2006), siendo sólo algunos los que incluyen factores climáticos (McCutchan y Shackel, 1992; Gálvez, 2011; Navarrete, 2013).

En cuanto a los valores de Ψ_{hx} observados en vides bajo condición hídrica “óptima”, se han detectado diferencias de entre -0,7 hasta -1 MPa, llegando incluso a valores más negativos (Gálvez, 2011).

Según Gálvez (2011), las diferencias observadas en el Ψ_{hx} entre los distintos investigadores puede deberse a diversos factores. Uno de ellos, es la metodología aplicada al momento de medir Ψ_{hx} , específicamente a la velocidad de respuesta de la hoja al aumento de la presión dentro de la cámara, pudiendo aparecer una burbuja en el pecíolo de la hoja cuando la presión ejercida excede la necesaria para alcanzar el equilibrio de la columna de agua dentro de la hoja. Otro factor a considerar, es la diferencia edafoclimática y varietal de los distintos ensayos, ya que plantas en condiciones óptimas de hidratación, presentan Ψ_{hx} umbrales diferentes, debido a los distintos equilibrios entre la absorción y la transpiración de la planta. Un tercer factor se refiere al tiempo de espera mínimo de la hoja dentro de la bolsa de aluminio y el tiempo de medición del Ψ_{hx} una vez cortado el pedicelo; se ha visto variaciones de hasta un 8% en los Ψ_{hx} de una misma planta, cuando la

medición no se ha hecho inmediatamente después de cortada la hoja (Navarrete, 2013).

Potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) y efecto de los tratamientos

En cuanto al seguimiento del Ψ_{hx} (Figura 12) evaluado desde 21 días antes de envero (DAE), el cual ocurrió el 29 de enero, hasta 30 días después de envero (DDE), se observaron diferencias entre los 2 tratamientos. El T2 (RT), en períodos puntuales de medición, presentó valores superiores de potencial hídrico xilemático en comparación a T1 (RS), existiendo diferencias estadísticamente significativas (Figura 12). T1 fue el tratamiento que, a lo largo de la temporada, presentó valores más bajos de potencial hídrico xilemático en relación al testigo campo (T2).

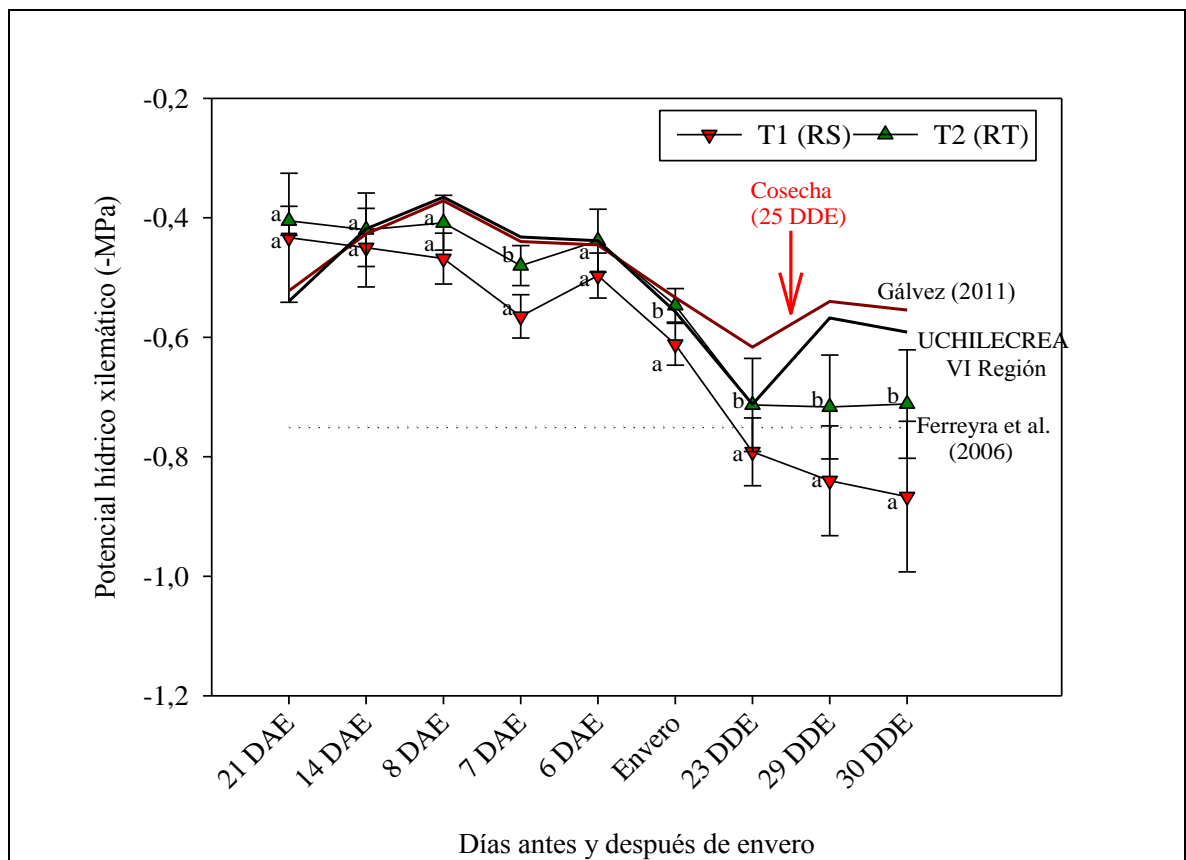


Figura 12. Variación del potencial hídrico xilemático (Ψ_{hx}) durante la temporada en cada uno de los tratamientos de riego, y su comparación con el umbral de riego propuesto por Ferreyra et al. (2006), Gálvez (2011) y UCHILECREA VI Región (2014).

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

Al comparar los tratamientos con el criterio de riego propuesto por Gálvez (2011) y UCHILECREA para uva de mesa cv. Thompson Seedless, en el marco del programa “Uso eficiente de agua, VI Región (2014)”, se pudo observar que al inicio de las mediciones (21

DAE), los dos criterios de riego presentaron un mayor Ψ_{hx} a lo propuesto por Gálvez (2011) y UCHILECREA (2014); sin embargo, cercano a la cosecha, los 2 tratamientos estuvieron por debajo de los mismos (Figura 12), debido principalmente al corte del suministro de agua por labores de cosecha. Del mismo modo, al comparar los resultados con el valor umbral mínimo de riego propuesto por Ferreyra et al. (2006) de $-0,75$ MPa y sin consideración del DPV, se pudo observar que los 2 tratamientos presentaron al inicio de las mediciones valores superiores de Ψ_{hx} , sin embargo, cercano a cosecha sólo T2 (RT) mantuvo valores de potencial por sobre $-0,75$ MPa (Figura 12).

A pesar de que los criterios de riego presentaron valores de potencial hídrico xilemático por debajo de lo propuesto por Gálvez (2011) y UCHILECREA VI Región (2014) después de enero, estos fueron similares a los medidos por Sellés et al. (2003), quienes observaron valores puntuales de Ψ_{hx} , con una variación entre $-0,6$ y $-0,9$ MPa en Thompson Seedless, bajo condiciones de riego por goteo, en un mismo período de evaluación. Según Sellés et al. (2003), una menor disponibilidad de agua en el volumen de suelo explorado por las raíces de la planta, se reflejaría en un menor Ψ_{hx} medido a medio día, sin embargo, los valores encontrados en el ensayo, no provocarían un cierre estomático o disminución en la fotosíntesis, lo cual ocurriría a valores de potencial más negativos.

Otra de las razones por la cual el potencial hídrico xilemático tiende a disminuir a lo largo de la estación de crecimiento, es debido a la mayor demanda evaporativa de la atmósfera y la edad de las hojas, además de la disponibilidad de agua del suelo (Ferreyra et al., 2006), la cual disminuyó cercana a cosecha.

Por lo tanto, el potencial hídrico xilemático medido a medio día, es una variable fisiológica que puede ser utilizada como herramienta para evaluar el estado hídrico de la planta (Ferreyra et al., 2006; Gálvez, 2011; Navarrete, 2013), siendo una herramienta valiosa en la programación del momento de riego (frecuencia), haciendo un uso eficiente de agua y ahorro de la misma (Navarrete, 2013).

Crecimiento de raíces

Escáner de raíces

Al hacer el seguimiento al crecimiento de raíces mediante el escáner de raíces “CI 600” para los 2 criterios de riego y realizar el análisis de las imágenes con el programa WinRhizo (Figura 13), se obtuvo el Índice de Densidad de Longitud de Raíces (DLR) a partir del número de puntas (DLRp) y largo total de raíces (DLRL), siendo ambos, expresados en cm de raíz por cm^{-3} de suelo (Díaz, 2013). Al expresar las unidades obtenidas mediante el programa WinRhizo a DLR, permite la presentación de datos en forma útil para la descripción de los procesos de crecimiento y para la comparación de otras medidas (Johnson et al., 2001).

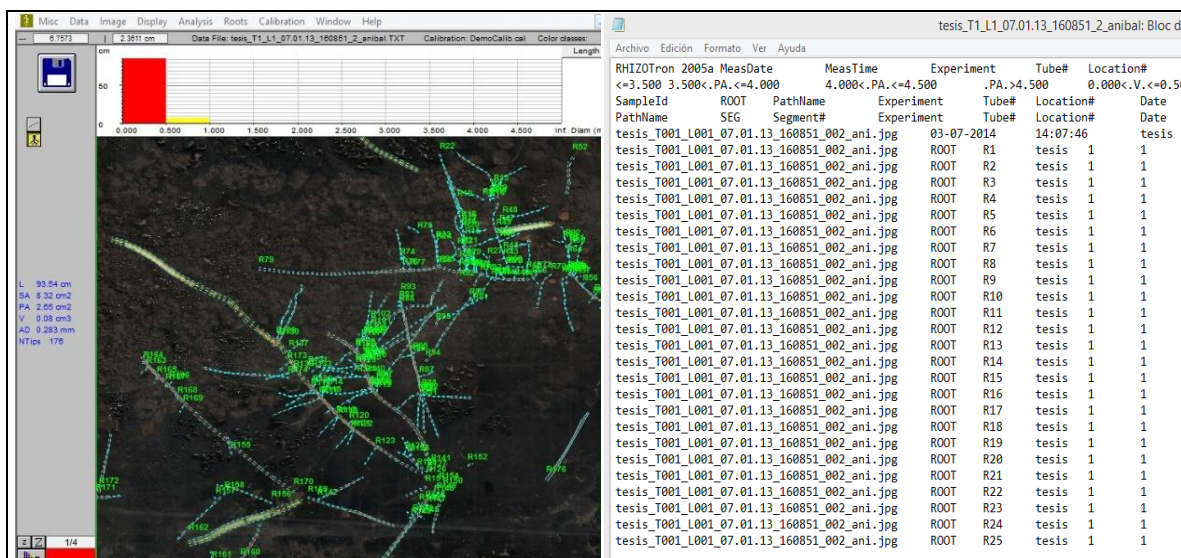


Figura 13. Mapa de patrones de raíces y archivo de datos del programa computacional WinRhizo.

En base a la metodología usada por Abrisqueta (2011) y Díaz (2013), se hizo una relación entre DLRp y DLRL tomando valores a distintas profundidades de suelo. Se obtuvo una alta relación entre ambos índices, con pendiente 2,976 y un coeficiente de determinación altamente significativo (0,987) (Figura 14).

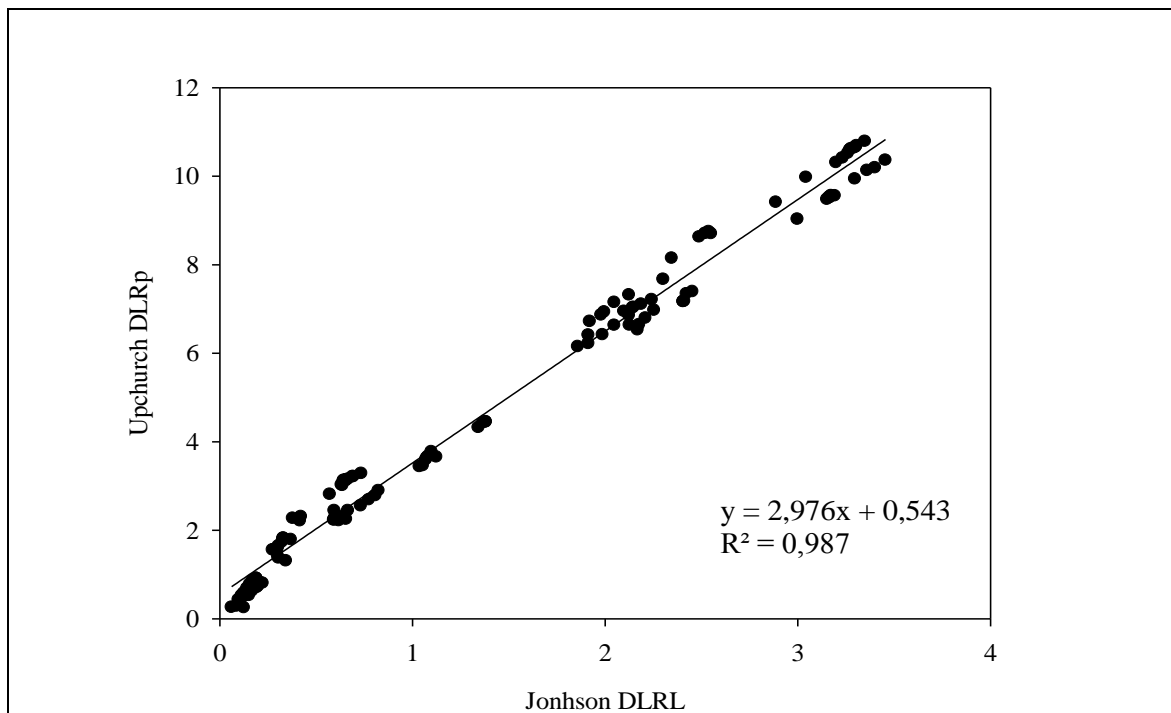


Figura 14. Relación entre los métodos de cálculo de DLR; número de puntas (DLRp) y longitud (DLRL).

Este análisis, permitió concluir que el cálculo de DLR expresado en DLR_p, es igualmente válido que ocupar los valores de longitud radical en DLR_L.

Díaz (2013), señala que la DLR expresada en DLR_p se fundamenta en el concepto original de la cuadrícula de Newman (1966, citado por Díaz 2013) basado en el principio de que, a mayor longitud de raíces, mayor sería el número de intersecciones que ocurrirían con líneas rectas trazadas sobre el plano de muestra.

En las figuras 15 y 16, se muestran los resultados de DLR_p, correspondientes a T1 (RS) y T2 (RT) respectivamente, con 4 profundidades. Las figuras 15A y 16A, muestran la evolución de DLR_p, desde enero de 2013 a enero de 2014, período durante el cual se midió el crecimiento de raíces bajo los distintos tratamientos, mientras que las figuras 15B y 16B, muestran la tasa de crecimiento de las mismas.

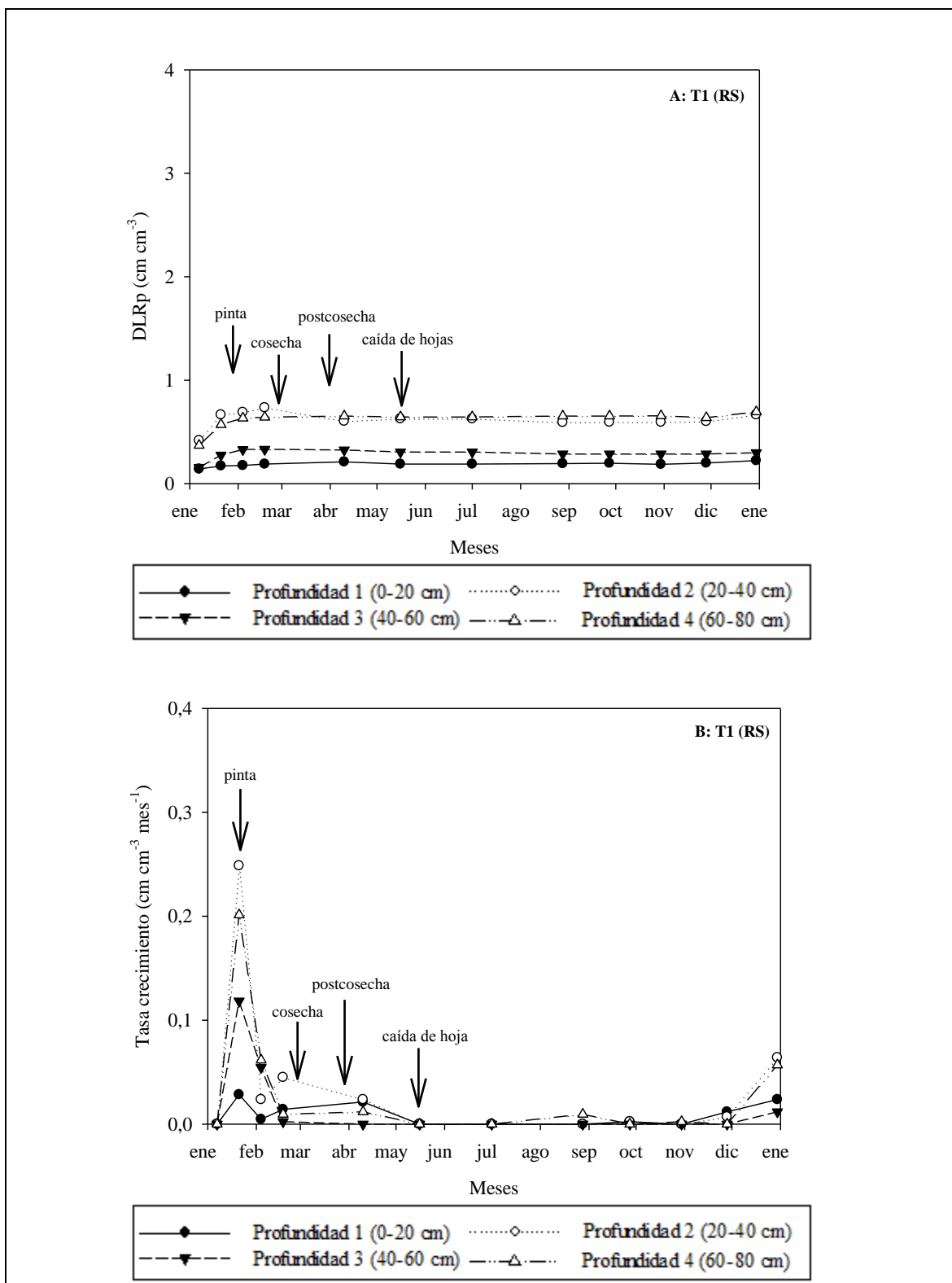


Figura 15. **A.** Evolución de la densidad de longitud de raíces basado en el número de puntas (DLRp), T1 (RS). **B.** Tasa de crecimiento.

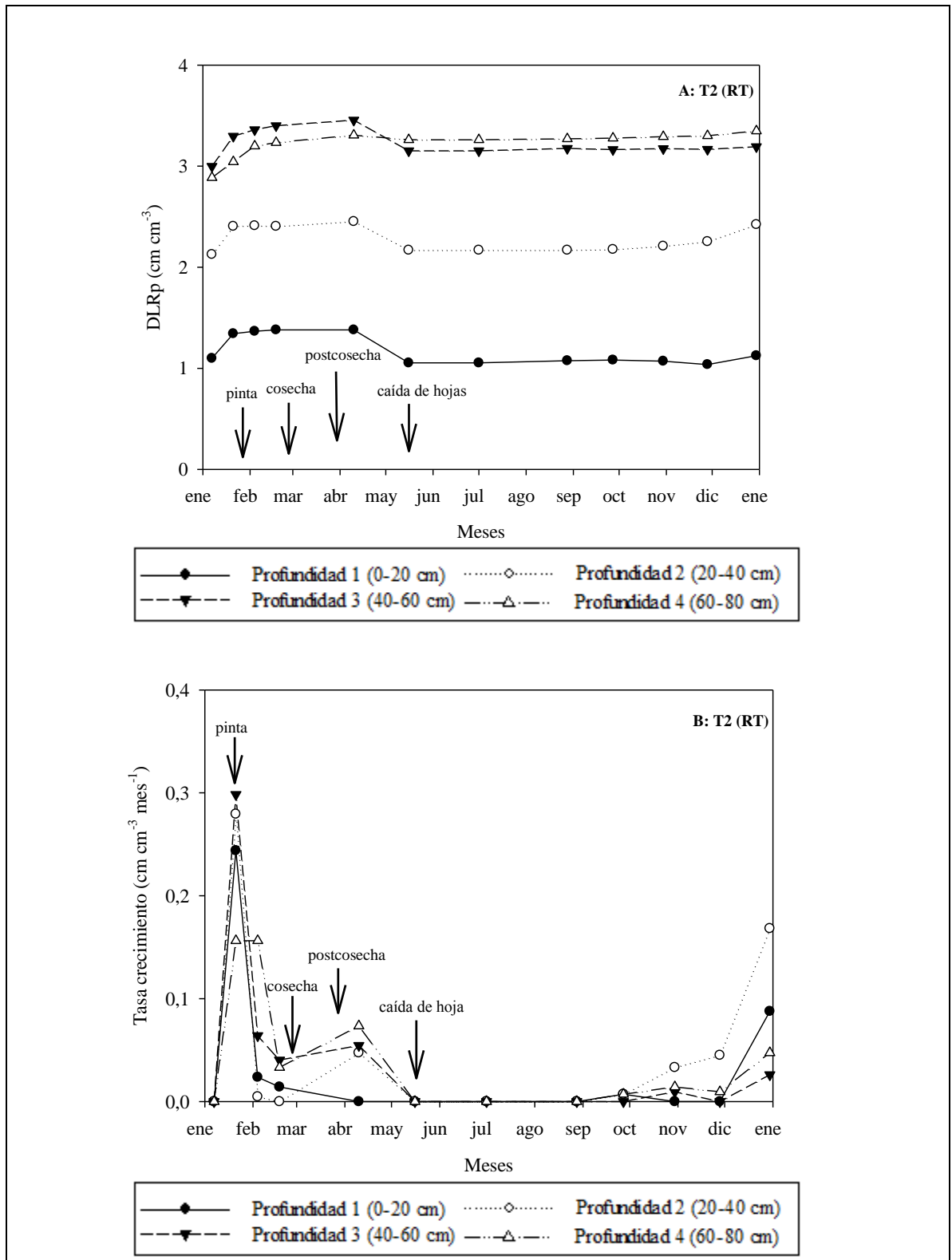


Figura 16. **A.** Evolución de la densidad de longitud de raíces basado en el número de puntas (DLRp), T2 (RT). **B.** Tasa de crecimiento.

Crecimiento por profundidad. Al evaluar el crecimiento de raíces por profundidad, se pudo observar que los dos tratamientos mostraron valores superiores de DLRp entre los 40 a 80 cm de profundidad, a pesar de que en T1 esta tendencia fue menos notoria.

El crecimiento de raíces observado a través del escáner, coincidió con lo señalado por Silva et al. (1991) y Sellés et al. (2003) quienes al observar el total de raíces del sistema, en uva de mesa Thompson Seedless, determinaron que la mayoría de las raíces se encuentran entre los 40-60 cm de profundidad. Resultados similares obtuvo Muñoz (2005), quien, al observar el comportamiento del crecimiento de raíces en uva de mesa Crimson Seedless, concluyó que aquellas plantas que recibieron un mayor volumen de agua de riego (100% de ETc), presentaron un mayor crecimiento de raíces.

El riego deficiente, así como el exceso de agua en el suelo, conlleva una disminución en el funcionamiento y desarrollo de raíces, lo que limita la absorción de nutrientes y agua (Silva et al., 1991). En base a lo observado en las figuras 15A y 16A, y según experiencias previas en el estudio de raíces (Sellés et al., 2003) se puede concluir que el mayor desarrollo de las mismas, está relacionado con el mayor volumen de suelo adecuadamente mojado y las condiciones de aireación favorables en el volumen de suelo explorado por las raíces. Lo anterior pudo observarse en ambos tratamientos, con un adecuado crecimiento de raíces en profundidad a pesar de que T1 (RS) tuviera un régimen de riego restrictivo.

Crecimiento general. En lo que respecta a la tasa de crecimiento de raíces (figuras 15B y 16B), los 2 tratamientos presentaron 2 puntos de crecimiento, los cuales se observaron en pinta y en postcosecha principalmente, siendo el primero superior al segundo.

Al revisar la información nacional y extranjera sobre este tema, se concluye que no existe un consenso sobre las etapas de desarrollo de las raíces de vid, ya que diversos autores han observado 2 a 3 períodos de crecimiento durante la temporada donde ocurre un mayor crecimiento de raíces (Hênard, 2009). Por ejemplo, Yakasovic (1994, citado por Hênard 2009) observó tres puntos de crecimiento en la temporada en uva de mesa Thompson Seedless, el primero se vio 6 semanas después de la ruptura de yemas, mientras que el segundo y tercero fueron detectados en pinta y postcosecha, respectivamente. Freeman y Smart (1976, citado por Hênard 2009) observaron 2 puntos de crecimiento, con un lento crecimiento en primavera llegando a un máximo en verano para luego declinar en un pequeño peak en otoño, mientras que Ibacache y Lobato (1995), a diferencia de estos últimos, observaron el primer “peak” al terminar la floración (primavera) y el segundo en postcosecha, antes de caída de hoja.

Por otra parte, Hênard (2009) al evaluar el crecimiento de raíces en uva de mesa Thompson Seedless en el Valle de Copiapó, observó que el máximo crecimiento de las mismas ocurrió en primavera, cuando la parte aérea presentó el estado fenológico denominado “tamaño de arveja”, presentando varios crecimientos poco importantes como el ocurrido en primavera, los cuales persistieron hasta “caída de hojas”. Al contrario de Hênard (2009), Arias (2009) observó 2 “peaks” de crecimiento de raíces, el primero en

floración (septiembre) y el segundo en cosecha (febrero), siendo el segundo superior al primero.

Por lo tanto, debido a que el patrón de crecimiento de las raíces está influenciado por factores como la temperatura del suelo, suplemento nutricional, el grado de resistencia mecánica y aireación del suelo (Richards, 1983), existen otros factores (portainjerto, variedad) y labores de manejo (largo de poda, tasa de riego) que deben ser estudiados en profundidad, ya que son críticos en el estudio de la tasa de crecimiento del sistema radical (FIA, 2008).

Método del barreno

En la Figura 17 se presenta la masa seca de raíces, evaluada a 2 profundidades en el perfil de suelo, para los 2 criterios de riego.

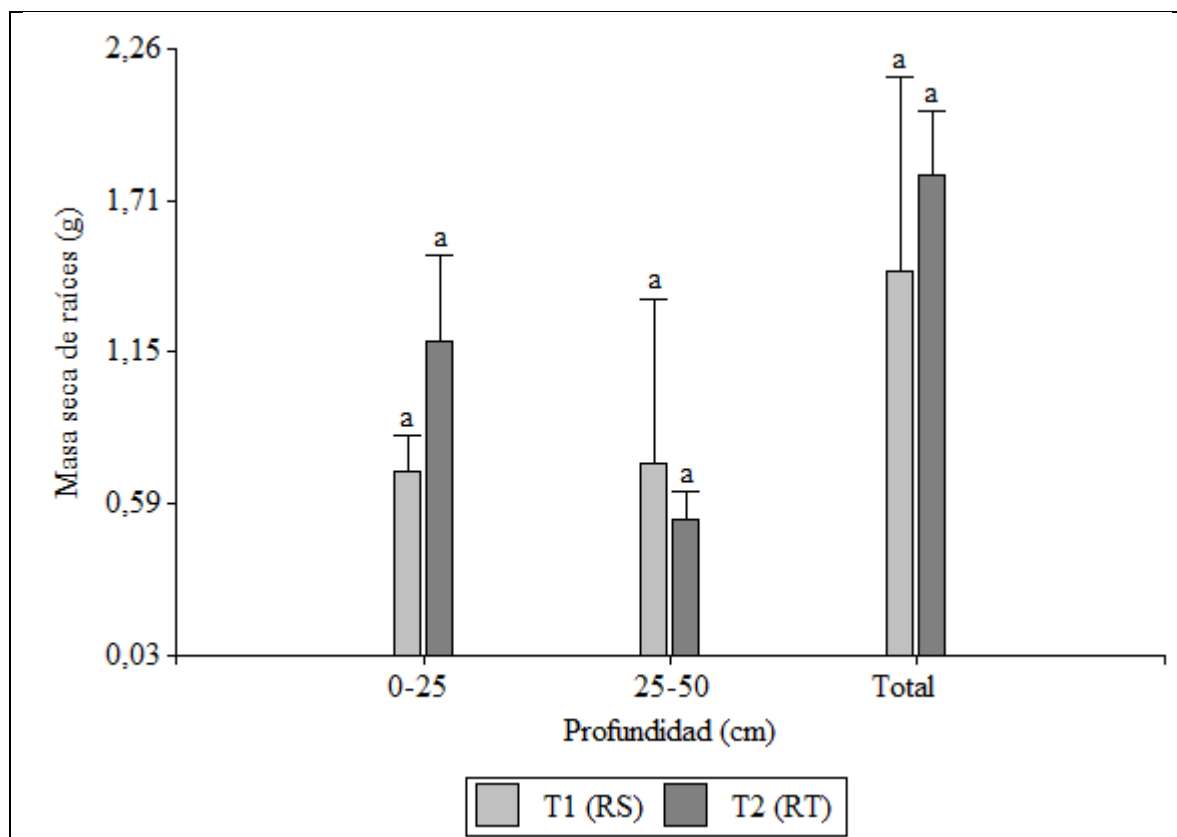


Figura 17. Masa seca de raíces, para los 2 criterios de riego.

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

No hubo diferencias estadísticamente significativas en la masa seca de raíces entre ambos tratamientos.

Las plantas están continuamente extendiendo sus raíces, asegurando nuevos sitios de contacto de la raíz con el suelo (Gliessman, 1998). Normalmente los árboles frutales presentan raíces que se extienden a mayor profundidad, extrayendo humedad de esa parte del perfil de suelo, sin embargo, esas plantas dependen en cierta medida del agua que es absorbida por las raíces en los horizontes superficiales cuando está disponible (Gliessman, 1998).

Sumado a lo anterior, las plantas normalmente exploran y explotan un volumen de suelo mayor al que humedece un emisor de riego localizado. Esto suele ocurrir en zonas que se caracterizan por presentar precipitaciones invernales, con suelos que tienen una alta retención de humedad, por lo tanto, durante la temporada existe una parte importante del sistema radical que se mantiene en suelo seco (Sellés y Ferreyra, 2005).

Finalmente, en cuanto a la toma de muestras, la aplicación del método del barreno no estuvo exenta de dificultades debido al tipo de suelo, la demanda de tiempo necesaria para llevarlo a cabo y el trabajo físico que implicó realizarlo, aunque se logró extraer muestras hasta los 50 cm de profundidad.

Cosecha

Producción y calidad de la fruta

El Cuadro 7, muestra el efecto que tuvieron los 2 tratamientos sobre calidad de fruta y rendimiento promedio (kg fruta exportable·planta⁻¹).

Cuadro 7. Efecto de dos criterios de riego, sobre parámetros de rendimiento en uva de mesa Thompson Seedless.

Tratamiento	Peso racimo (g)	Calibre (mm)	Peso de baya (g)	Sólidos solubles (%)	Rdto. Prom.*	Desgrane Prom.**	Desecho total***
T1 (RS)	552,9a	18,3a	5,7a	20,6 b	15,6a	191,1 b	17,7a
T2 (RT)	565,2a	18,8a	6,6 b	19,0a	15,9a	74,6a	15,0a

* kg fruta exportable· planta⁻¹.

** g planta⁻¹.

*** kg· planta⁻¹.

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (p < 0,05).

No se registraron diferencias significativas en el diámetro de bayas promedio (calibre), lo que pudo deberse a una posible humedad de reserva presente en el suelo, la cual permitió suplir las necesidades de la planta, concordante con el estado hídrico que presentaron las plantas (Ferreyra et al., 2001).

Sellés et al. (2003), señalan que el crecimiento de bayas sería muy sensible a pequeños déficit hídricos, lo que puede ocurrir producto de una inadecuada distribución de agua y aire en el suelo, o por un humedecimiento parcial del sistema radical, señalando además, que al haber un mojamamiento limitado del sistema radical de las plantas, podría afectar la respuesta fisiológica de las plantas, en la capacidad de producir y transportar citoquininas, otras hormonas y nutrientes a la parte aérea de la planta, lo que afectaría el crecimiento vegetativo y producción del mismo. No obstante, el tamaño de bayas no se vio afectado bajo los dos criterios de riego y no hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento promedio ($\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$).

En cuanto a sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$), T1 (RS) fue el tratamiento que presentó mayores valores. Las causas que produjeron la mayor concentración de sólidos solubles, no están del todo claras, ya que podría deberse al estado hídrico de la planta, lo cual influye en la síntesis y translocación de azúcares a las bayas, sin embargo, otros autores no han encontrado efectos del régimen de riego sobre los sólidos solubles en vides de mesa, en el mismo cultivar (Sellés et al., 2003).

Eficiencia del uso del agua (EUA)

Se estimó la eficiencia del uso del agua, considerando la fruta exportable y el total de fruta producida. El Cuadro 8, muestra el efecto que tuvieron los dos criterios de riego, sobre el rendimiento promedio ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y fruta exportable.

Cuadro 8. Eficiencia del uso de agua para los tres criterios de riego en fruta exportable y rendimiento total.

Tratamiento	Volumen de agua total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Fruta exportable ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	EUA*	Rdto. Prom. ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	EUA**
T1 (RS)	3.541	14.881,3a	4,2a	31.758,3a	9,0 b
T2 (RT)	4.452	15.171,3a	3,4a	29.444,3a	6,6a

* kg fruta exportable $\cdot \text{m}^{-3}$ agua

** kg fruta total $\cdot \text{m}^{-3}$ agua

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

No hubo diferencias estadísticamente significativas en la EUA (kg fruta exportable $\cdot \text{m}^{-3}$ agua) y total de fruta exportable ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). En cuanto al rendimiento total ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas, T2 (RT) fue el tratamiento que presentó una menor eficiencia del uso del agua.

La eficiencia en el uso del agua de riego se ve afectada por diversos factores, dentro de los que destacan el sistema de riego, la calidad del diseño, la habilidad de la persona encargada del riego y de las características físicas del suelo, debiendo aplicar en la mayoría de los casos, una cantidad mayor de agua a la requerida por la planta (Zúñiga, 2013). Las

ineficiencias observadas en el uso de agua de riego, generan un gran desafío en la actualidad, el cual es minimizar el agua inútil (Zúñiga, 2013).

Por otra parte, y debido a la problemática de la ineficiencia en el uso del agua, un buen manejo de riego debe considerar además de los factores antes señalados, la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante la temporada. Se debe ajustar el volumen y la frecuencia de riego de acuerdo a los requerimientos del frutal, considerando la etapa fenológica en la que se encuentre la planta, detectando los períodos críticos al déficit de riego (Zúñiga, 2013). De esta manera, un buen manejo de riego se basa en optimizar la distribución del agua aplicada, a modo de mejorar la producción y calidad de la fruta (Zúñiga, 2013).

La agricultura es una actividad económica de un alto consumo de recursos hídricos, por lo que es fundamental estimar la eficiencia de utilización del agua en el proceso de transformación insumo-producto, intentando maximizar el rendimiento del frutal por el volumen de agua invertido en el proceso (Sánchez, 2006).

Finalmente, la relación inversa entre la eficiencia en el uso de agua y la cantidad aplicada, deja de manifiesto la necesidad de determinar de manera más precisa la tasa óptima de riego, que permita mantener una elevada producción, sin pérdidas excesivas de agua (Tosso y Torres, 1986). Tal es el caso de T2 (RT), donde se usó un mayor volumen de agua, con una menor EUA.

Peso de poda

El Cuadro 9, muestra el efecto que tuvieron los 2 tratamientos, sobre el crecimiento vegetativo de los parrones, evaluado mediante el peso de poda.

Cuadro 9. Efecto de dos criterios de riego, sobre el crecimiento vegetativo (kg por planta).

Tratamiento	Peso poda (kg por planta)
T1 (RS)	9,31a
T2 (RT)	9,45a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento vegetativo de los parrones, bajo los distintos criterios de riego.

Paranychianakis et al. (2004, citado por Wieczorek 2009), señalan que diferentes contenidos de agua en el suelo, producen diferencias en el crecimiento de brotes, lo cual se vería reflejado en el peso de poda. Por otra parte, Ruiz (2000) señala que la calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las plantas, y por lo tanto, cualquier restricción del crecimiento de raíces incidiría en el menor crecimiento de la parte

aérea.

Dado que no hubo diferencias en cuanto al crecimiento de raíces entre los tratamientos, y se observaron puntos de crecimiento en igual período, el volumen de agua total utilizado por tratamiento no provocó diferencias estadísticamente significativas en el peso de poda.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó el ensayo, se concluye lo siguiente:

- Es posible en una temporada, definir líneas de gestión del riego utilizando sondas de capacitancia FDR, lo que permite optimizar el uso de agua, evitando excesos.
- La medición del potencial hídrico xilemático es una herramienta complementaria al uso de sondas ya que permite detectar el estado hídrico de la planta, definiendo umbrales de déficit o exceso de agua, sin embargo, solamente permite determinar frecuencia de riego.
- El uso del escáner de raíces permite detectar períodos donde ocurre un mayor crecimiento y actividad de raíces, siendo una herramienta útil para optimizar manejos en vides como riegos, fertilización, control de nematodos, entre otros.
- Ambos criterios de riego no generan mermas en la producción de fruta, permitiendo un uso más eficiente del recurso, pero en una temporada de evaluación, no se ve un mayor efecto sobre el crecimiento de raíces.

BIBLIOGRAFÍA

Abrisqueta, I. 2011. Balance hídrico y respuesta del melocotonero extratemprano al riego deficitario. Tesis Doctoral. Madrid, España: Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), Universidad de Murcia. 234h.

Araujo, F., L. Williams, D. Grimes and M. Matthew. 1995. A comparative study of young Thompson Seedless grapevines under drip and furrow irrigation. 1. Root and soil-water distributions. *Scientia horticultrae*, 60: 235-249.

Arias, C. 2009. Efecto de los factores edafoclimáticos y parámetros productivos sobre el crecimiento radical de vid "sultanina" en los Valles de Copiapó y Huasco. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 69h.

Callejas, R.; J. Covarrubias y C. Kusch. 2005. La raíz de la vid: su crecimiento y la eficiencia en el control de nematodos (Art. Ext.), Centro de Estudio de la Vid [En línea]. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 6p. Recuperado en:

<http://www.uchilecrea.cl/download/articulos/La_raiz_de_la_vid_su_crecimiento_y_eficiencia_en_el_control_de_nematodos.pdf>. Consultado el: 9 de noviembre de 2013.

Callejas, R.; J. Navarrete y M. Rioseco. 2013. Líneas de gestión del riego: umbrales para interpretar los datos de humedad del suelo registrados por sondas de capacitancia. *Auntumapu Profesional*, 2(3).

Callejas, R.; E. Rojo; C. Benavidez y E. Kania. 2011. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa. *Agrociencia*, 46: 23-35.

Centro de Información Recursos Naturales (CIREN). 2007. Estudio agrológico Valle de Cachapoal, VI Región. Santiago, Chile: CIREN. 479p. (Publicación CIREN N° 114).

Díaz, 2013. Desarrollo de metodologías para el estudio de raíces. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 71h.

Ferreira, R.; G. Sellés y L. Burgos. 1998. Riego deficitario controlado. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 70: 30-37.

Ferreira, R.; I. Sellés y G. Sellés. 2001. Riego deficitario controlado en uva de mesa. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 60: 10-17.

Ferreira, R.; G. Sellés; H. Silva; R. Ahumada; I. Muñoz y V. Muñoz. 2006. Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid 'Crimson Seedless'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(7): 1109-1118.

Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2008. Resultados y lecciones en metodologías de evaluación de raíces de vides en el campo [En línea]. Santiago, Chile: FIA. 28p. Recuperado en: <http://bibliotecadigital.fia.cl/gsd/collect/publicac/index/assoc/HASH7f81.dir/35_Libro_RaicesVides.pdf>. Consultado el: 28 de mayo de 2014.

Fregoni, M. 2005. Viticoltura di Qualità. 2a. ed. Italia: Tecniche Nuove. 832p.

Gálvez, R. 2011. Evaluación del uso conjunto del potencial hídrico xilemático y el déficit de presión de vapor en el manejo del riego en vides de mesa. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 59h.

Gliessman, S. 1998. Agroecología, Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba, Costa Rica: Litocat. 361p.

Gregory, P. 2007. Plant roots. Growth, activity and interaction with soil. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. 318p.

Hémard, C. 2009. Evaluación del crecimiento anual de raíces de vid y el efecto de los nematodos, en parrales de uva de mesa. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 92h.

Ibacache, A y A. Lobato. 1995. Períodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola*, 16 (1): 23-26.

Johnson M.; D. Tingey; D. Philips and M. Storm. 2001. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 263-289.

Lambers, H.; F. Chapin and T. Pons. 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd ed. New York, United States: Springer-Verlag. 604p.

Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, 1: 277-294.

McCutchan, H. and K. Shackel. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. Cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(4): 607-611.

Muñoz, M. 2005. Respuesta de la variación del diámetro de tronco y del potencial hídrico xilemático a diferentes regímenes de riego en uva de mesa, cv. Crimson seedless. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de

Chile. 69h.

Navarrete, J. 2013. Efecto de distintos criterios de riego sobre variables fisiológicas y parámetros productivos de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) variedad Red Globe. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, 80h.

ODEPA. 2014. Boletín Frutícola, Avance Marzo 2014 [En línea]. Santiago, Chile: ODEPA. 32p. Recuperado en: <http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1398089827Boletinfrut%C3%ADcola2014_04.pdf>. Consultado el: 19 de mayo de 2014.

Pérez, C. 2007. Efecto de la poda de raíces y tratamientos complementarios en dos tipos de suelos del Valle de Copiapó en vid “Sultanina”. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 29h.

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

Rojas, R. 2008. Poda de raíces y tratamiento complementario sobre la distribución y crecimiento de las raíces en vid “Sultanina”. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 26h.

Rojo, E. 2007. Estimación del desarrollo del sistema radical y su relación con el potencial productivo en vid. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 43h.

Sánchez, I.; E. Catalán; G. González; J. Estrada y D. García. 2006. Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agricultura Técnica*, 32: 333-340.

Santa Olalla, F.; P. López y A. Calera. 2005. Agua y agronomía. Madrid, España: Mundi Prensa. 606p.

Sellés, G.; R. Ferreyra; G. Contreras; R. Ahumada; J. Valenzuela y R. Bravo. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. *Agricultura Técnica*, 63: 180-192.

Sellés, G. y R. Ferreyra. 2005. Criterios para controlar el riego en uva de mesa [En línea]. Santiago, Chile: INIA La Platina. 40p. Recuperado en: <http://platina.inia.cl/uvaconcagua/docs/biblioteca/22_vides2005_E_gselles.pdf>. Consultado el: 31 de julio de 2014.

Sellés, G.; R. Ferreyra; C. Aspillaga y C. Zúñiga. 2012. Requerimientos de riego en uva de mesa: experiencias en el Valle de Aconcagua [En línea]. Santiago, Chile: INIA. 80p. Recuperado en: <http://platina.inia.cl/uvaconcagua/docs/pubs/INIA_B0242.pdf>. Consultado el: 15 de abril de 2015.

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

Silva, H. y J. Rodríguez. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Santiago, Chile: Colección en Agricultura, Pontificia Universidad Católica, Facultad de Agronomía. 519p.

Silva, P.; E. Acevedo y H. Silva. 2000. Manual de estudio y ejercicios [En línea]. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 57p. Recuperado en: <<http://es.scribd.com/doc/103102987/Manual-de-Estudio-y-Ejercicios#scribd>>. Consultado el: 2 de octubre de 2012.

Tosso, J. y J. Torres. 1986. Relaciones hídricas de la vid, bajo diferentes niveles de riego, usando goteo, aspersión y surcos. I. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua. *Agricultura técnica*, 46(2): 193-198.

Weller, F. 1964. Vergleich und untersuchungen über die Wurzelverteilung von Obstbäumen in verschiedenen böden des Neckarlandes. Stuttgart-Hoenheim, Deutschland: Landwirtschaftl Hochschule. 181p.

Wieczorek, J. 2009. Efecto de la distribución del agua de riego sobre el crecimiento y distribución de las raíces en la vid “Sultanina”. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 41h.

Williams, L. 2000. Grapevine Water Relations (chap. 16, pp. 121-126). In: University of California. Raisin: Production Manual. [En línea]. California, United States: University of California. Recuperado en: <<http://www.ucanr.org/sites/intvit/files/24436.pdf>>. Consultado el: 15 de marzo de 2015.

Winkler, A.; J. Cook; N. Kliewer and A. Lider. 1974. General Viticulture. Berkeley, United States: University of California Press. 710p.

Zúñiga, M. 2013. Consumo de agua por la planta de siete especies frutales producidas en Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 56h.