



# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

## **EFFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, DEFINIDO CON SONDAS DE CAPACITANCIA, SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS, DE CALIDAD Y RENDIMIENTO EN UVA DE MESA, VARIEDAD TIMCÓ**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de  
Magíster en Ciencias Agropecuarias mención Producción Frutícola

**ARIS CRISTÓBAL VILLARRUEL TAPIA**

Director de Tesis  
RODRIGO CALLEJAS RODRÍGUEZ

Profesores consejeros  
MARCO GARRIDO SALINAS  
VÍCTOR ESCALONA CONTRERAS

SANTIAGO - CHILE  
2021

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFEECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, DEFINIDO  
CON SONDAS DE CAPACITANCIA, SOBRE PARÁMETROS  
VEGETATIVOS, DE CALIDAD Y RENDIMIENTO EN UVA DE  
MESA, VARIEDAD TIMCO**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias mención  
Producción Frutícola

**ARIS CRISTÓBAL VILLARRUEL TAPIA**

	Calificaciones	Calificaciones
	(Memoria de Título)	(Tesis de Grado)
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Rodrigo Callejas Rodríguez	7,0	6,7
Ingeniero Agrónomo, Dr. sc. agr.		
<b>PROFESORES CONSEJEROS</b>		
Marco Garrido Salinas	6,5	6,5
Ingeniero Agrónomo, MgSc, Dr.		
Víctor Escalona Contreras	6,8	6,8
Ingeniero Agrónomo, Dr.		

Santiago, Chile  
2021

EFFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, DEFINIDO CON SONDAS DE CAPACITANCIA, SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS, DE CALIDAD Y RENDIMIENTO EN UVA DE MESA, VARIEDAD TIMCO

REGULATED DEFICIT IRRIGATION EFFECTS, DEFINED WITH CAPACITANCE PROBES ON VEGETATIVES, QUALITY AND YIELD PARAMETERS ON TIMCO VARIETY TABLE GRAPES

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

Quisiera agradecer profundamente a todos (as) quienes contribuyeron con el desarrollo de este estudio, particularmente a mis compañeros Rodrigo Reyes, Esteban Gárate, Sebastián Fernández y al profesor Rodrigo Callejas, los que me apoyaron desde la instalación de los equipos hasta la última entrega de esta tesis.

Agradezco a Del Monte Fresh Produce (Chile) S.A., San Felipe, por permitirme realizar el estudio en sus dependencias y a CDTEC SPA, por el financiamiento y la facilitación instrumentos y plataformas con las que se desarrolló la investigación.

También quisiera agradecer la comprensión y apoyo que tuvo conmigo todo mi grupo cercano a lo largo de este proceso, tanto a mis amigos (as) como familiares. Por último, dedico este trabajo a todos mis primos (as) y tíos (as), a mi abuelo, mis hermanos, mi madre y especialmente a mi abuela María Landabur Pardo Q.E.P.D.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	11
PALABRAS CLAVES .....	11
ABSTRACT.....	12
KEYS WORDS.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS .....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
Ubicación del estudio .....	16
Material biológico .....	16
Tratamientos y diseño experimental.....	16
Manejo del experimento .....	18
Evaluaciones.....	20
Caracterización de la zona geográfica .....	20
Evolución del contenido de humedad del suelo evaluado con sondas FDR.....	20
Descripción del comportamiento del bulbo de mojamiento con sensor TDR 150 ..	20
Evaluación de la condición hídrica de las plantas .....	20
Correlaciones y regresiones .....	21
Evaluaciones vegetativas .....	22
Evaluaciones de calidad y rendimiento .....	23
Evaluaciones de riego .....	24
Análisis estadístico .....	26
RESULTADOS.....	27
Caracterización de la zona geográfica.....	27
Evolución del contenido de humedad del suelo evaluado con sondas FDR .....	29
Descripción del comportamiento del bulbo de mojamiento con sensor TDR 150.....	35
Evaluación de la condición hídrica de las plantas .....	39
Correlaciones y regresiones.....	46
Evaluaciones vegetativas.....	50
Evaluaciones de calidad y rendimiento .....	52
Evaluaciones de riego.....	57

DISCUSIÓN .....	62
CONCLUSIÓN .....	68
LITERATURA CITADA.....	69
ANEXO I .....	77
ANEXO II.....	78
ANEXO III.....	79
APÉNDICE I.....	80
APÉNDICE II .....	81
APÉNDICE III.....	82
APÉNDICE IV.....	83

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la temporada 2019-2020. ....	17
Cuadro 2. Tratamientos utilizados en la temporada 2020-2021. ....	17
Cuadro 3. Resultado del análisis físico de suelo. ....	28
Cuadro 4. Seguimiento del potencial hídrico xilemático promedio para cada tratamiento en la temporada 2019-2020. ....	40
Cuadro 5. Seguimiento del potencial hídrico común para todos los tratamientos, previo al ensayo en la temporada 2020-2021. ....	42
Cuadro 6. Seguimiento del potencial hídrico para cada tratamiento en la temporada 2020-2021. ....	43
Cuadro 7. Nivel de significancia y magnitud de las correlaciones de Pearson obtenidas entre potencial xilemático y contenido de humedad de suelo medido en la sonda. ....	47
Cuadro 8. Funciones generadas a partir de la regresión lineal de T2 (frecuencia) y T3 (tiempo).....	48
Cuadro 9. Análisis de correlación de Pearson entre el valor predicho por la función y el observado para T2 (frecuencia) y T3 (tiempo). ....	49
Cuadro 10. Contenidos de humedad del suelo estimados por las ecuaciones para determinados valores de potencial hídrico. ....	49
Cuadro 11. Resultado de parámetros vegetativos de la temporada 2019-2020. ....	52
Cuadro 12. Resultado de rendimientos de la temporada 2019-2020. ....	52
Cuadro 13. Análisis del rendimiento exportable de la temporada 2019-2020. ....	52
Cuadro 14. Resultado de rendimientos de la temporada 2020-2021. ....	53
Cuadro 15. Análisis del rendimiento exportable de la temporada 2020-2021. ....	53
Cuadro 16. Análisis del racimo y sus características de la temporada 2019-2020. ....	54
Cuadro 17. Análisis de características de la baya de la temporada 2019-2020. ....	54
Cuadro 18. Peso de racimo y características de baya de la temporada 2020-2021. ....	55
Cuadro 19. Resultado del análisis del color de bayas para el floreo 1 de la temporada 2019-2020. ....	55
Cuadro 20. Resultado del análisis del color de bayas para el floreo 2 de la temporada 2019-2020. ....	55
Cuadro 21. Categorización comercial del color del racimo de la temporada 2020-2021. ....	56
Cuadro 22. Categorización de la cobertura total de la baya y a nivel de la zona pedicelar de la temporada 2020-2021. ....	56
Cuadro 23. Resultado del análisis de firmeza de bayas de la temporada 2019-2020. ....	57
Cuadro 24. Análisis de desgrane y daño del raquis de la temporada 2019-2020. ....	57
Cuadro 25. Resumen del riego de la temporada 2019-2020. ....	58
Cuadro 26. Resumen del riego de la temporada 2020-2021. ....	59

Cuadro 27. Eficiencia en el uso del agua para todos los tratamientos en ambas temporadas. ....	60
Cuadro 28. Ahorro del costo eléctrico asociado al riego logrado en ambas temporadas. ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación satelital de la unidad de estudio (izquierda) y visión general de la plantación e instalación de las sondas de monitorización (derecha).....	16
Figura 2. Esquema del diseño experimental y del ensayo .....	18
Figura 3. Fotografía del ensayo al momento de iniciar los tratamientos (izquierda) y diseño y medidas del sistema de conducción (derecha).....	19
Figura 4. Caracterización de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y $\text{ET}_0$ ( $\text{mm día}^{-1}$ ) del lugar de estudio. ....	27
Figura 5. Caracterización de las precipitaciones ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y humedad relativa (%) del lugar de estudio. ....	28
Figura 6. Raíces observadas en la calicata en octubre de 2019, previo al inicio del ensayo.....	29
Figura 7. Raíces observadas en la calicata en diciembre de 2020, tratamiento de tiempo de riego.....	29
Figura 8. Gráfico sumado (inferior) y aplicado (superior) previo al comienzo de la ejecución de los tratamientos en la temporada 2019-2020. ....	30
Figura 9. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T1 (control) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.....	31
Figura 10. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T2 (frecuencia) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.....	31
Figura 11. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T3 (tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.....	32
Figura 12. Gráfico sumado (inferior) y aplicado (superior) de T1 (control) previo a la ejecución de los tratamientos en la temporada 2020-2021. ....	33
Figura 13. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T1 (control) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.....	34
Figura 14. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T2 (frecuencia/tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.....	34
Figura 15. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T3 (tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.....	35
Figura 16. Contenido de agua en el bulbo de mojamamiento previo al comienzo de los tratamientos de la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha). ....	36
Figura 17. Abertura del bulbo de mojamamiento evaluado a través del porcentaje de humedad del suelo para T1 (control; superior), T2 (frecuencia; medio) y T3 (tiempo; inferior) en la temporada 2019-2020.....	37
Figura 18. Abertura del bulbo de mojamamiento evaluado a través del porcentaje de humedad del suelo para T1 (control; superior), T2 (frecuencia/tiempo; medio) y T3 (tiempo; inferior) en la temporada 2020-2021. ....	38
Figura 19. Análisis del contenido de sales del bulbo de mojamamiento previo al comienzo de los tratamientos de la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha).....	39

Figura 20. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T1 (control) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020. ....	41
Figura 21. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T2 (frecuencia) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020. ....	41
Figura 22. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T3 (tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020. ....	42
Figura 23. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T1 (control) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021. ....	43
Figura 24. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T2 (frecuencia/tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021. ....	44
Figura 25. Desarrollo del $\Psi_{xm}$ promedio para T3 (tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021. ....	44
Figura 26. Integral de estrés hídrico acumulado teniendo el control de cada temporada como referencia, para la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha). ....	45
Figura 27. Integral de estrés hídrico acumulado teniendo el valor de -0,68 MPa como referencia, para ambas temporadas. ....	45
Figura 28. Relación entre el potencial hídrico xilemático de T2 (frecuencia) y la evapotranspiración de referencia acumulada (ET <sub>o</sub> ) para el periodo del 21 de enero al 7 de febrero de 2020. ....	46
Figura 29. Relación entre el potencial hídrico xilemático de las plantas adyacentes a la sonda y el contenido de humedad del suelo evaluado para los 50 cm, en todos los tratamientos de la temporada 2019-2020. ....	47
Figura 30. Relación entre el $\Psi_{xm}$ observado y el predicho por el modelo para los 50 cm, en T2 (frecuencia) y T3 (tiempo). ....	48
Figura 31. Gráficos con “líneas de potenciales hídricos” generado para la temporada 2019-2020 (superior) y la temporada 2020-2021 (inferior). ....	50
Figura 32. Función generada para la estimación del área foliar a partir del largo de hoja. ....	51
Figura 33. Función generada para la estimación del área foliar a partir del ancho de hoja. ....	51
Figura 34. Función generada para la estimación del área foliar a partir del largo de brote. ....	51
Figura 35. Riego acumulado para T1 (control), T2 (frecuencia) y T3 (tiempo); ET <sub>o</sub> diaria y ET <sub>c</sub> diaria calculada para el control y los demás tratamientos, para el período desde enero a cosecha en la temporada 2019-2020. ....	58
Figura 36. Riego acumulado para T1 (control), T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo); ET <sub>o</sub> diaria y ET <sub>c</sub> diaria calculada para el control y los demás tratamientos, para el período desde enero a cosecha en la temporada 2020-2021. ....	60

## RESUMEN

Dado las importantes pérdidas por falta de color o un color imperfecto que se genera en los racimos de uva de mesa de variedades rojas, se realizó un estudio para determinar, de acuerdo con los criterios de riego deficitario controlado (RDC) entre envero y cosecha, si la alteración de la frecuencia y/o el tiempo de riego afectan parámetros vegetativos, de rendimiento y calidad de la uva de mesa, variedad Timco. Este estudio se realizó durante dos temporadas (2019-2020 y 2020-2021) y se consideró un tratamiento control (T1), regado de acuerdo con el cálculo Kc-ET<sub>o</sub> y dos tratamientos (T2 y T3) de RDC alterando la frecuencia y/o el tiempo de riego con respecto al control, a través de la monitorización con sondas de capacitancia FDR. Se complementó el estudio con el seguimiento del potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ), con el propósito de determinar los impactos en la condición hídrica de las plantas y establecer parámetros que permitan validar las Líneas de Gestión (LG) de las sondas en el manejo del RDC. Los tratamientos que tuvieron un  $\Psi_{xm}$  menor y un mayor estrés acumulado respecto al control lograron un color de baya más oscuro, un mayor grado de cobertura de la baya y un adelantamiento en la madurez de cosecha, sin afectar el rendimiento ni el área foliar. Por otra parte, un mayor periodo de restricción hídrica redujo levemente el diámetro polar, ecuatorial y peso de la baya. El empleo del RDC permitió disminuir los montos de riego hasta en un 59% entre envero y cosecha y un 23% durante toda la temporada.

## PALABRAS CLAVES

EnviroScan®, FDR, integral de estrés hídrico acumulado, potencial xilemático, *Vitis vinífera*.

## ABSTRACT

Due to significant losses on lacking color or imperfect color that occur on red table grape cluster varieties, a study was carried out to determine, according to the criteria of regulated deficit irrigation (RDI), between veraison and harvest, if the alteration of the frequency and/or irrigation time affects the vegetative parameters of yield and quality of the table grape on Timco variety. This study was carried out in two seasons (2019-2020 and 2020-2021) and a control treatment (T1) was considered, irrigated according to the Kc-ETo calculation, and two treatments (T2 and T3) of RDI altering the frequency and/or time of irrigation respect to the control, while monitored using FDR capacitance probes. The study was complemented with a monitoring of the xylem water potential measured at noon ( $\Psi_{xm}$ ), with the aim of determining the impacts on water condition of the plants and establishing parameters that allow determining the management lines of the probes in the handling of the RDI. The treatments that had a lower  $\Psi_{xm}$  and a greater accumulated stress respect to the control, achieved a darker berry color, a greater degree of berry coverage and an advance in harvest maturity, without affecting neither the yield nor the foliar area. On the other hand, a longer period of water restriction had a slight decrease on the polar and equatorial diameter and weight of the berry. The use of RDI allowed reducing irrigation investment up to 59 % between veraison and harvest, and a 23 % during the whole season.

## KEYS WORDS

EnviroScan®, FDR, integral accumulated water stress, water potential, *Vitis vinifera*.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más importantes de la industria de la uva de mesa, es aumentar los rendimientos desde las actuales 3.000 cajas (de 8,2 kg) exportadas por hectárea a 4.000 como promedio nacional en los siguientes 5 años, lo que equivale a 38.000 kg ha<sup>-1</sup> bruto asumiendo un 10% de desecho. Sin embargo, estos incrementos en los rendimientos implican que la calidad de la fruta puede verse afectada, principalmente en aspectos relacionados con el color de las bayas. Al respecto, Peppi (2017) menciona que el color es especialmente sensible al exceso de carga frutal, incluso a niveles leves en donde uno o dos racimos extras por planta pueden ser suficientes para provocar problemas de color. Lo anterior se enmarca en un país en el que la falta de color se reconoce como un problema frecuente en muchas zonas productivas (Peppi y Retamales, 2010; Calderón-Orellana *et al.*, 2019).

Para enfrentar el problema antes mencionado, los agricultores consideran en sus manejos el uso de aplicaciones foliares de ácido abscísico (ABA) y etileno, debido a que en la etapa de envero han demostrado tener un impacto favorable en la mejora de color para la exportación de diversas variedades rojas de uva de mesa (Peppi *et al.*, 2006; Peppi *et al.*, 2007; Peppi *et al.*, 2008; Lurie *et al.*, 2009; Lurie *et al.*, 2010; Peppi y Retamales, 2010; Leão *et al.*, 2014; García-Pastor *et al.*, 2019), sin embargo, el alto costo de los productos relacionados con el ABA y los inconsistentes efectos del etileno en el desarrollo del color, reducen su masificación (García-Pastor *et al.*, 2019; Pinillos *et al.*, 2020).

Por otro lado, en los últimos años se ha popularizado el manejo del riego deficitario controlado (RDC) con el fin de controlar el crecimiento vegetativo en viñedos (Chaves *et al.*, 2007). El RDC consiste en reducir los volúmenes de agua de riego aplicados durante ciertos períodos del ciclo de crecimiento de un cultivo en los que se presenta una baja sensibilidad al estrés hídrico, correspondiendo para la uva de mesa, la etapa entre envero y cosecha (Conesa *et al.*, 2014),

Adicionalmente, y de acuerdo con Pinillos *et al.* (2016) y Pinillos *et al.* (2020), el RDC puede ser una alternativa al uso de reguladores del crecimiento con el fin de mejorar el color de las bayas, ya que se ha mostrado que el secamiento de la zona de raíces produciría una mayor disponibilidad de ABA en la parte aérea induciendo un cierre parcial y gradual de los estomas como respuesta a la disminución en los contenidos de agua del suelo (Chaves *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2017). Esta hormona, al estar implicada en las rutas de síntesis de los antocianos (Peppi, 2017; Chaves-Silva *et al.*, 2018) provocaría un aumento en la cantidad y concentración de estas moléculas en la piel de las bayas (Chaves *et al.*, 2007; Conesa *et al.*, 2016), las que a su vez, están altamente relacionadas con el color de frutos (Castañeda-Sánchez y Guerrero-Beltrán, 2015; Conesa *et al.*, 2016; Peppi, 2017).

Dependiendo de la especie y variedad, se tendrían diferentes tipos y concentraciones de antocianos totales (Xu *et al.*, 2012; Peppi, 2017) siendo, en uva de mesa, la maldivina la predominante en variedades de “fácil coloración” como ‘Autumn Royal’ y ‘Black Seedless’, la peonina en variedades de “coloración media” como ‘Crimson Seedless’ y ‘Red Globe’ y la cianidina en variedades de “difícil coloración” como ‘Flame’ (Peppi, 2017). Se ha señalado, que el RDC tendría un gran impacto en las antocianinas de tipo hidroxiladas (Castellarin *et al.*, 2007; Calderón-Orellana *et al.*, 2019), que son las más comunes en variedades de media y difícil coloración (Peppi, 2017).

Con respecto al RDC, hay autores como Ferreyra et al. (2006) que han concluido que volúmenes de riegos asociados a reducciones entre un 25 y 50% de la ETc en una planta de uva de mesa no tendrían implicancias negativas sobre la calidad y el rendimiento en comparación a plantas regadas al 100% e incluso a 110% de su ETc, siempre y cuando no se alcancen niveles “críticos” de hidratación.

Al mismo tiempo se ha demostrado que la medición del potencial hídrico resulta ser un parámetro que refleja en gran medida la condición hídrica de las plantas (Ferreyra *et al.*, 2006; Chaves *et al.*, 2007), lo que permitiría definir umbrales en el periodo de máxima demanda hídrica, con el objetivo de facilitar un correcto manejo de la hidratación y el estrés en la vid de mesa. Con relación a lo anterior, se ha detallado que esta especie al estar con el 100% de su demanda hídrica suplida, tendría valores de potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) cercanos a -0,68 y -0,75 MPa (Ferreyra *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.*, 2006; Gálvez, 2011; Gálvez *et al.*, 2014). De igual modo, se ha mencionado que valores de  $\Psi_{xm}$  de -1,0 y -1,1 MPa afectarían negativamente los rendimientos durante los periodos más sensibles en la temporada, no obstante, en el período entre enero y cosecha y bajo el empleo del RDC sería posible alcanzar estos valores sin tener efectos negativos en los rendimientos exportables (Ferreyra *et al.*, 2006).

Por otro lado, es posible complementar las evaluaciones de  $\Psi_{xm}$  con el uso de sondas de capacitancia (Beyá-Marshall *et al.*, 2020), las que mediante monitorización continua y en tiempo real del contenido de agua del suelo permiten integrar factores como la absorción de agua por parte de las raíces (Mounzer *et al.*, 2008), facilitando la gestión eficaz y eficiente del riego (Miller *et al.*, 2014). Eventualmente sería posible relacionar la condición hídrica en las plantas, mediante mediciones de potencial hídrico con la utilización de sensores de lectura continua, tales como EnviroScan®, facilitando la ejecución del RDC en terreno. Es así como se podrían crear y/o complementar los umbrales o indicadores conocidos como “Líneas de Gestión” (LG) del riego, muy particularmente el caso de la línea denominada como “Relleno en Zona de Inicio de Estrés” (RZIE), la que hace referencia a un contenido de agua en el suelo tal, que permite fijar un umbral de estrés para la planta según un objetivo productivo (Callejas y Rioseco, 2014).

Otro punto importante para Chile, donde la megasequía se ha extendido por más de diez años y cuyas proyecciones de déficit hídrico proseguirán (MOP, 2019; MOP, 2020), es el hecho de que el RDC, además de subsanar sustancialmente el problema de falta de color optimizaría los recursos hídricos utilizados en la producción de uva de mesa.

En resumen, ante el desafío de aumentar los rendimientos exportables, el problema de falta de color y de la necesidad imperante de regar de forma más eficiente producto de la escasez hídrica, se torna viable evaluar el uso de sondas de lecturas continuas de la humedad del suelo y su integración con el potencial hídrico, como herramienta programadora del riego para determinar nuevos umbrales en las Líneas de Gestión bajo los criterios de RDC. De la misma manera, es necesario actualizar el conocimiento que se tiene del RDC en variedades nuevas que se están cultivando en el país, como ‘Timco’, y comparar si eventualmente se pudiesen generar diferencias en los parámetros vegetativos, de calidad y rendimiento alterando la frecuencia o el tiempo de riego en la aplicación de un riego deficitario controlado.

## **HIPÓTESIS**

El uso del RDC entre envero y cosecha, por alteración de la frecuencia y/o tiempo de riego respecto del tratamiento control, no provoca cambios significativos en el rendimiento y calidad de la uva, principalmente color, en la variedad Timco.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar, de acuerdo con los criterios de RDC entre envero y cosecha, si la alteración de la frecuencia y/o el tiempo de riego, afectan significativamente parámetros vegetativos, de rendimiento y calidad de la uva de mesa, principalmente color, en la variedad Timco.

### **Objetivos específicos**

1. Bajo los criterios de RDC, determinar nuevos parámetros en las Líneas de Gestión (LG) del riego de las sondas de capacitancia, alterando la frecuencia y/o el tiempo de riego.
2. Evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento vegetativo, los rendimientos y la calidad de la fruta a la cosecha y posteriormente al almacenaje refrigerado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en un cuartel de uva de mesa ‘Timco’ de la Agrícola U.A.C. Ltda. perteneciente a la exportadora Del Monte, ubicada en la localidad de Auco ( $32^{\circ}72'74.080''S - 70^{\circ}67'64.270''W$ ), comuna de San Felipe, Región de Valparaíso, durante la temporada 2019-2020 y 2020-2021. Las evaluaciones se realizaron en las instalaciones de la exportadora, en el Laboratorio de Viticultura y en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.



Figura 1. Ubicación satelital de la unidad de estudio (izquierda) y visión general de la plantación e instalación de las sondas de monitorización (derecha, inicio de brotación).

### Material biológico

El material biológico utilizado correspondió a plantas de *Vitis vinífera* L. ‘Timco’ sobre portainjerto Paulsen, de tres años y en segundo y tercer año de producción, cultivadas en un suelo franco arcilloso homogeneizado con excavadora al momento de la plantación a una profundidad de 1 m. Las plantas se encuentran conducidas sobre el sistema Open Gable, en un marco de plantación 3,5 x 2,0 m, regándose por dos líneas de goteo, de 2 L h<sup>-1</sup>, los que se ubican a 50 cm. Cada línea de riego fue posicionada a 30 cm del tronco de las plantas. Las plantas recibieron un manejo técnico estándar, definido por la agrícola para producir fruta de exportación.

### Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron tres tratamientos por temporada que se detallan en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la temporada 2019-2020.

Tratamiento	Descripción
T1 (control)	Regado de acuerdo con los suministros definidos por la agrícola, basado en el cálculo Kc-ETo.
T2 (frecuencia)	Riego entre envero y cosecha con una reducción de un 50% de la ETc y un umbral de riego cuando el $\Psi_{xm}$ alcanzó valores entre -0,7 y -0,8 MPa.
T3 (tiempo)	Riego entre envero y cosecha con una reducción de un 50% de la ETc, pero manteniendo la frecuencia de riego del T1 (control).

Para el cálculo de la ETc en el T1 (control), el Kc utilizado para el periodo de envero y cosecha por la agrícola fue de 1,2; mientras que para los tratamientos T2 (frecuencia) y T3 (tiempo) los volúmenes de agua de riego de referencia fueron calculados con un Kc de 0,85; cuyo ajuste se detalla en la sección ‘determinación de ETc’ de ‘manejo del experimento’.

En la segunda temporada (Cuadro 2), el tratamiento T1 (control) y el tratamiento T3 (tiempo) se mantuvieron igual a la temporada anterior, no obstante, el tratamiento T2 fue cambiado por un nuevo tratamiento denominado T2 (frecuencia/tiempo), donde se aumentó la frecuencia al doble respecto al control, pero se repuso solamente el 50% de la ETc en cada evento de riego. En este caso, a partir de la información generada en la primera temporada, para todos los cálculos se utilizó el valor estimado de 0,85 de Kc para el cálculo de la ETc entre envero y cosecha.

Cuadro 2. Tratamientos utilizados en la temporada 2020-2021.

Tratamiento	Descripción
T1 (control)	Regado entre envero y cosecha de acuerdo con los suministros definidos por el cálculo Kc-ETo, ajustada según cobertura vegetal (Kc=0,85)
T2 (frecuencia/tiempo)	Aumento, entre envero y cosecha, de la frecuencia de riego al doble del control, reponiendo el 50% de la ETc en cada evento de riego.
T3 (tiempo)	Riego, entre envero y cosecha, con una reducción de un 50% de la ETc, pero manteniendo la frecuencia de riego del control.

El diseño experimental correspondió a un diseño en bloques completamente aleatorizado, con 3 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento, donde cada uno de los 5 bloques comprendió una hilera de plantas, como se muestra en la Figura 2. En cada bloque, se definieron las dos plantas centrales por tratamiento como unidad muestral.



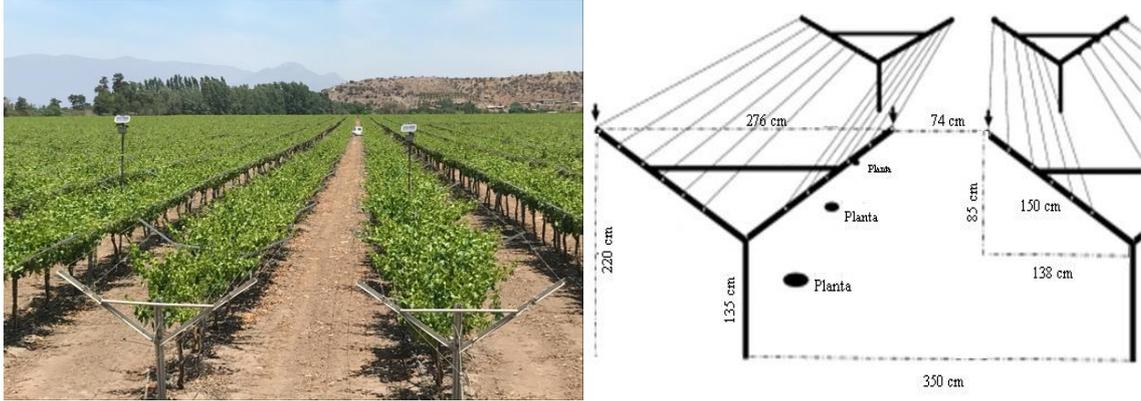


Figura 3. Fotografía del ensayo al momento de iniciar los tratamientos (izquierda) y diseño y medidas del sistema de conducción (derecha).

De esta manera, la  $ET_c$  utilizada en el ensayo quedó determinada por la siguiente ecuación:

$$Kc \text{ real} = Kc \text{ base} \cdot Kr$$

$$ET_c = ET_o \cdot Kc \text{ real}$$

Siendo:

$ET_c$ = Evapotranspiración del cultivo ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$ET_o$ = Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )

$Kc$ = Coeficiente de cultivo

$Kr$ = Coeficiente de corrección de cobertura

A partir del  $ET_c$  corregido, se procedió a utilizar el 50% del volumen de agua para los tratamientos T2 (frecuencia) y T3 (tiempo) en la primera temporada y para el T1 (control), T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo) de la segunda temporada. Es importante mencionar que desde la brotación de la temporada 2020-2019, se utilizó este cálculo para determinar  $ET_c$  y definir el riego base previo al ensayo.

### **Instalación de las sondas y estabilidad de la variabilidad**

Durante el mes de noviembre y diciembre de 2019 se procedió a instalar las sondas de capacitancia y validar la transferencia de datos. Desde el día 12 de diciembre las lecturas se estabilizaron, lo que permitió un mes de seguimiento de cada sector antes de iniciado los tratamientos, evento ocurrido el 17 de enero de 2020. Durante este período se fijó el nivel de lleno para cada una de ellas, se propuso una capacidad de campo sonda (CCs) y se determinó el Punto de Recarga (PR) o umbral de riego, lo que se validó con evaluaciones del potencial xilemático. En el segundo año, los tratamientos se iniciaron a finales de enero, manteniendo las Líneas de Gestiones obtenidas en la primera temporada.

## Evaluaciones

### Caracterización de la zona geográfica

**Caracterización climática.** Se caracterizó la zona geográfica a través de las variables de temperatura máxima y mínima, ETo, precipitaciones y humedad relativa durante el periodo de noviembre de 2019 a marzo de 2021, a partir de los datos obtenidos en la estación meteorológica Escuela Agrícola, San Felipe<sup>DMC</sup>.

**Caracterización del suelo.** Se realizó una calicata frontal, perpendicular a la hilera de plantación, previo al inicio de los tratamientos en cada temporada, siendo esta representativa del sector de estudio. En diciembre de 2019 se tomaron muestras de suelo entre la superficie y los 100 cm de profundidad, según diferencias de perfil detectadas visualmente y al tacto. Las muestras fueron enviadas para su análisis físico al Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Chile. Posteriormente se utilizó el programa computacional SPAW (USDA) para estimar los contenidos de agua del suelo a saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, basándose en datos de textura, materia orgánica, contenido de gravas, salinidad y compactación. También se clasificó visualmente la presencia y tipo de raíces, según la escala hedónica que se observa en ‘Apéndices II’.

### Evolución del contenido de humedad del suelo evaluado con sondas FDR

Tanto previo como durante todo el período de duración del ensayo en ambas temporadas, se registró para cada tratamiento y cada 15 minutos, el contenido volumétrico de agua del suelo sobre la hilera, utilizando la sonda FDR Enviroscan® (Sentek® Pty Ltd., Australia) con 4 sensores bases, ubicados a 10, 30, 50 y 100 cm de profundidad.

### Descripción del comportamiento del bulbo de mojamiento con sensor TDR 150

Previo al ensayo y en las mismas calicatas realizadas para la caracterización del suelo, se determinó el comportamiento del bulbo de mojamiento y de las sales, en ambas temporadas. Adicionalmente, y siguiendo con la metodología de Callejas *et al.* (2014), se procedió a registrar en el bulbo de mojamiento con evaluaciones superficiales en los primeros 30 cm de profundidad en la sobrehilera, mediante el uso de un sensor TDR 150 (Spectrum Technologies Inc., Illinois, EE.UU.) durante el transcurso de las dos temporadas.

### Evaluación de la condición hídrica de las plantas

**Evolución del potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ).** Mediante una cámara de presión tipo bomba de Scholander modelo Pump-up (PMS Instrument Company, Oregón, EE.UU.) se evaluó el estado hídrico de las plantas en ambas temporadas. La medición se realizó entre las 12:30 y 14:30 horas. Se utilizaron hojas sombrías, maduras y cercanas al tronco de la planta, las cuales fueron cubiertas con bolsas plásticas recubiertas de papel aluminio por un período de 30 a 90 minutos. Posteriormente, se retiró la hoja de la planta y, sin retirar la hoja de la bolsa, se midió el  $\Psi_{xm}$  (MPa). Las evaluaciones se realizaron en una hoja por planta por cada planta de la

unidad muestral (n=30 y 10 repeticiones por tratamiento) en la primera temporada, mientras que en la segunda se midieron tres repeticiones por planta, pero en solo dos plantas por tratamiento (n=18), siendo siempre una de ellas, la más cercana a la sonda.

**Integral de estrés hídrico.** Con las evaluaciones de  $\Psi_{xm}$  (MPa), se calculó la integral de estrés hídrico, que consiste en la sumatoria del área bajo la curva en base a una línea de referencia, para los tratamientos en ambas temporadas de estudio. Se utilizaron dos líneas de referencia: a) el máximo valor de  $\Psi_{xm}$  del control en cada una de las temporadas según la metodología utilizada por Myers (1988), y b) la línea de óptima condición de hidratación equivalente a -0,68 MPa (Ferreira *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009; Gálvez, 2011; Gálvez *et al.*, 2014). La ecuación utilizada fue la propuesta por Myers (1988):

$$S\Psi = \left| \sum_{i=0}^{i=i} (\Psi_{i, i+1} - \Psi_{\text{referencia}})n \right|$$

Donde:

$S\Psi$  = Integral de estrés hídrico (MPa día<sup>-1</sup>).

$\Psi_{i, i+1}$  = Potencial hídrico de tallo para cada intervalo  $i, i+1$  (MPa).

$\Psi_{\text{referencia}}$  = Potencial hídrico de referencia (MPa).

$n$  = número de días entre dos medidas consecutivas.

## Correlaciones y regresiones

### Relación entre el potencial hídrico xilemático medido a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) y la ETo.

Se estableció la relación entre el potencial hídrico xilemático y la ETo, con el fin de proyectar la caída de  $\Psi_{xm}$  en función de la ETo acumulada.

### Relación entre el potencial hídrico xilemático ( $\Psi_{xm}$ ) y el contenido de agua del suelo medido por sonda.

Se estableció la relación entre el potencial hídrico xilemático y el contenido de humedad del suelo en las plantas adyacentes a las sondas para cada uno de los tratamientos (dos de las diez mediciones por evento), buscando generar correlaciones y regresiones que permitan determinar nuevos parámetros en las líneas de gestión del riego. Además, se propuso un nuevo valor de gráfico sumado, denominado “gráfico sumado relativo” en donde se pondera cada uno de los porcentajes de humedad del suelo medidos en función del ancho del horizonte de suelo que está sensando cada sensor, tal como lo muestra la siguiente ecuación:

$$CHS (\%) = (CHS_{100} \cdot (1 - 0,5)) + (CHS_{50} \cdot (0,5 - 0,3)) + (CHS_{30} \cdot (0,5 - 0,3)) + (CHS_{10} \cdot 0,1),$$

Donde:

$CHS_{100}$  = Contenido de humedad del suelo medido por el sensor a 100 cm (%)

$CHS_{50}$  = Contenido de humedad del suelo medido por el sensor a 50 cm (%)

$CHS_{30}$  = Contenido de humedad del suelo medido por el sensor a 30 cm (%)

$CHS_{10}$  = Contenido de humedad del suelo medido por el sensor a 10 cm (%)

**Validación y uso de las ecuaciones.** Posteriormente, utilizando los mismos valores de porcentaje de humedad de suelo evaluados por las sondas para cada tratamiento, se validaron los posibles modelos generados mediante la utilización de las ocho mediciones restantes de potencial hídrico, para cada fecha de medición, generando asociaciones entre potenciales predichos por el modelo y potenciales observados. Posteriormente se generó una propuesta práctica para la utilización de las ecuaciones.

### **Evaluaciones vegetativas**

**Área foliar total.** En la temporada 2019-2020, se determinó el área foliar total a partir de la metodología de Williams y Martinson (2003) en donde se relacionó el largo de cada brote con su área foliar mediante dos regresiones, para posteriormente estimar el área foliar de cada planta mediante la suma de ellas.

Las regresiones que se realizaron se presentan a continuación:

1. **Ancho y largo de hoja y área foliar.** Se recolectaron 13 hojas al azar, de tamaños que variarán desde los más pequeños hasta los más grandes y de distintas plantas. Posteriormente, se llevaron las muestras a las inmediaciones del Laboratorio de Viticultura de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Allí se midió el ancho y el largo máximo de cada una de ellas con cinta graduada (cm) y se evaluó el área real en laboratorio, con el medidor de área foliar LICOR®, modelo LI-300. Con los datos se elaboró un gráfico de dispersión que permitió obtener la regresión que relacionó el ancho y el largo de las hojas con su área foliar.
2. **Largo y área foliar del brote.** Se marcaron y recolectaron 16 brotes al azar, de diferente largo y de distintas plantas de cada tratamiento, luego con cinta graduada (cm) se evaluó y registró el largo de cada uno de ellos. Los brotes recolectados se mantuvieron con sus hojas y se midió el largo y el ancho de cada una de ellas. Con dichos valores y la regresión obtenida anteriormente (largo de hoja/ área foliar), se pudo estimar el área foliar de cada brote. Con la información se construyó un gráfico de dispersión para obtener una regresión que relacione el largo del brote con su área foliar.

Al final del mismo período, se marcaron y midieron con cinta graduada (cm) todos los brotes de una planta por unidad muestral (15 plantas en total). Con las ecuaciones generadas y la información obtenida de la evaluación de “largo de brote” se estimó el área foliar por planta mediante la suma de las áreas foliares para cada largo de brote.

**Índice de área foliar por planta (m<sup>2</sup> de área foliar según los m<sup>2</sup> de superficie).** Se procedió a calcular el índice de área foliar por planta, mediante la división del área foliar de cada una de las plantas entre la superficie utilizada por cada una de ellas.

**Área de sección transversal del tronco (ASTT).** A fines de la temporada 2019-2020 se evaluó el diámetro del tronco a 50 cm de la unión patrón-injerto, en cada planta definida como unidad muestral y con ello se estimó el valor del ASTT a través de la siguiente fórmula:

$$ASTT = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donde:

ASTT= Área de sección transversal del tronco (cm<sup>2</sup>)

D= Diámetro del tronco (cm)

### **Evaluaciones de calidad y rendimiento**

**Rendimiento por planta.** Se registraron los números y el peso de todos los racimos de las dos plantas centrales definidas como unidad muestral, en cada uno de las dos cosechas o floeos para las dos temporadas de estudio. Además, se analizó porcentualmente el número y peso de los racimos verdes y exportables, detallando en estos últimos, la proporción de racimos que fueron cosechados en el primer o segundo floeo con respecto al total, para cada tratamiento.

**Peso del racimo.** Se determinó el peso de cada racimo utilizando una balanza de precisión UWE® con aproximación de 0,1 g.

**Número de bayas por racimo.** En la primera temporada se procedió a desgranar tres racimos por cada unidad muestral (15 racimos), registrando el número de bayas de cada uno de ellos.

**Peso del raquis.** En la temporada 2019-2020, se evaluó el peso del raquis en los mismos racimos de las mediciones de bayas por racimo, con una balanza de precisión AWE® con aproximación de 0,1 g.

**Peso de bayas.** Las evaluaciones se realizaron en siete bayas tomadas al azar dentro de cada uno de los conjuntos de tres racimos utilizados en la evaluación de número de bayas por racimo (trescientas quince bayas en total), de la primera temporada.

**Tamaño de bayas.** En ambas temporadas, se midió el tamaño de veintiún bayas por unidad muestral (trescientas quince bayas en total). Para esto, se les midió el diámetro ecuatorial y polar con un pie de metro digital LITZ®.

**Sólidos solubles.** Los sólidos solubles totales se determinaron por medio de un refractómetro termo compensado (RHB-32 ATC, Huake®), analizando una muestra de jugo proveniente de las veintiún bayas utilizadas para la medición de tamaño de bayas de ambas temporadas. Los datos fueron expresados en % SS.

**Coloración de bayas.** Para la temporada 2019-2020, mediante un colorímetro portátil (CM-2500d, Minolta, Japón), se determinaron las coordenadas CIELAB, en donde “L\*” corresponde a luminosidad y “a\*” y “b\*” representan la cantidad de rojo a verde y color azul a amarillo, respectivamente. La medición se realizó a partir de veintiún bayas por unidad muestral en cada tratamiento.

**Categorización comercial del color de racimo.** Para la temporada 2020-2021, se clasificaron todos los racimos cosechados, dentro de las categorías de racimos rosados o intermedios y racimos oscuros, de acuerdo con los criterios comerciales de exportación, según tablas de exportadoras de variedades rojas (anexo I).

**Grado de cobertura total de la baya.** Se evaluó el grado de cobertura total de bayas y la cobertura a nivel de la zona pedicelar según la escala propuesta por Defilippi y Rivera (2017) presente en el anexo II. La evaluación se hizo en cada racimo evaluado para la categorización comercial del color de racimo.

**Firmeza de la baya.** Se determinó la fuerza máxima (N) necesaria para producir la fractura de la superficie de la baya y la elasticidad (mm) de veintiún bayas (con pedicelo) seleccionadas al azar dentro del mismo conjunto de tres racimos (siete bayas por racimo) por unidad muestral de la primera temporada, a través del método de punción con un texturómetro (Ta.Xt Express, Stable Micro Systems, Reino Unido) con celda de carga de 10 kgf, empleando un émbolo cilíndrico de acero inoxidable de 2 mm de diámetro y 1 mm s<sup>-1</sup> de velocidad de penetración. Posteriormente, se determinó el coeficiente de elasticidad (N/mm) puesto que es el parámetro con mayor correlación con las mediciones de firmeza total y firmeza de pulpa (Vargas *et al.*, 2000; Vargas *et al.*, 2001).

**Color del raquis.** Esta evaluación se realizó en todos los racimos, posterior a un período de 20 días en cámara de frío a 0°C y de dos días a temperatura ambiente, de acuerdo con la escala de Defilippi y Rivera (2017) (anexo III).

**Desgrane.** Se evaluó el porcentaje de desgrane en las 4 bolsas por unidad experimental utilizadas anteriormente, luego de sacudir los racimos levemente con la mano. Esto se expresó en %, calculando el peso de las bayas desprendidas en relación con el peso total del racimo.

### Evaluaciones de riego

**Volumen de agua utilizado.** A partir de los registros de riego extraídos desde la plataforma “DropControl”, complementada con los propios obtenidos en el campo, se calculó la cantidad de agua utilizada en toda la temporada y desde el envero hasta la cosecha en ambas temporadas. El cálculo se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

$$PP \text{ equipo} = \left[ \frac{Q_e}{D_e \cdot D_l} \right] \cdot 10 \cdot \text{número de líneas de riego}$$

$$\text{Agua de riego} = PP \text{ equipo} \cdot h \text{ total}$$

Donde:

PP equipo= Precipitación del equipo (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)

Q<sub>e</sub>= Caudal del emisor (L h<sup>-1</sup>)

D<sub>e</sub>= Distancia entre emisores (m)

D<sub>l</sub>= Distancia entre las laterales (m)

Agua de riego= Volumen de agua de riego total, usado en la temporada (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

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

**Eficiencia del uso del agua de riego (EUAr).** Se estimó la eficiencia del uso del agua de riego o productividad del agua, expresada en kg m<sup>-3</sup>, para cada tratamiento mediante la relación entre la productividad (kg ha<sup>-1</sup>) y la cantidad de agua de riego aplicada durante cada una de las dos temporadas (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), bajo la metodología usada por Calderón-Orellana *et al.* (2019).

**Ahorro de energía eléctrica.** Se calculó el ahorro en el costo de energía eléctrica por hectárea en los tratamientos con respecto al control, para ambas temporadas. Esto se obtuvo al calcular el ahorro de agua y multiplicarlo por un valor de costo promedio de \$100 por m<sup>-3</sup> de agua removilizada a gotero.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos obtenidos en este experimento se realizó a través de análisis de correlaciones, regresiones lineales simples y modelos lineales generales lineales mixtos. Para evaluar las posibles diferencias entre los tratamientos se realizó análisis de varianza (ANDEVA) y cuando se detectaron diferencias significativas entre las medias, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de LSD Fisher al 5% de significancia. Lo anterior fue válido para las variables que se midieron en cada una de las repeticiones de los tratamientos. Cuando no existieron mediciones repetidas, no se sometieron los datos a análisis estadístico, y fueron presentados de manera descriptiva.

## RESULTADOS

### Caracterización de la zona geográfica

#### Caracterización climática

Se caracterizó la zona de estudio considerando datos entre noviembre de 2019 y marzo de 2021 (figuras 4 y 5), señalándose entre líneas verticales los periodos en que se ejecutaron los tratamientos de RDC. En los meses de verano, la temperatura mínima diaria bordeó los 10° C mientras que la máxima diaria los 30° C. La evapotranspiración de referencia fue máxima en los meses de diciembre y la primera quincena de enero, mostrando una tendencia a disminuir a partir de la segunda quincena del último mes, oscilando entre 6 a 7,5 mm día<sup>-1</sup>. Por su parte las precipitaciones se concentraron en los meses de junio a agosto, siendo ocasionales en primavera, con un monto acumulado de 135 mm, mientras que fueron casi inexistentes en verano, a excepción de una lluvia inhabitual de 20 mm, los días 30 y 31 de enero de 2021. La humedad relativa fue baja durante todo el año, y no superó el 30% en los meses de verano, alcanzando incluso valores mínimos de 15% en ese periodo. Todas las variables tuvieron un comportamiento propio de un clima mediterráneo con estación seca prolongada (Ferreya *et al.*, 2001; Ferreya y Sellés, 2013).

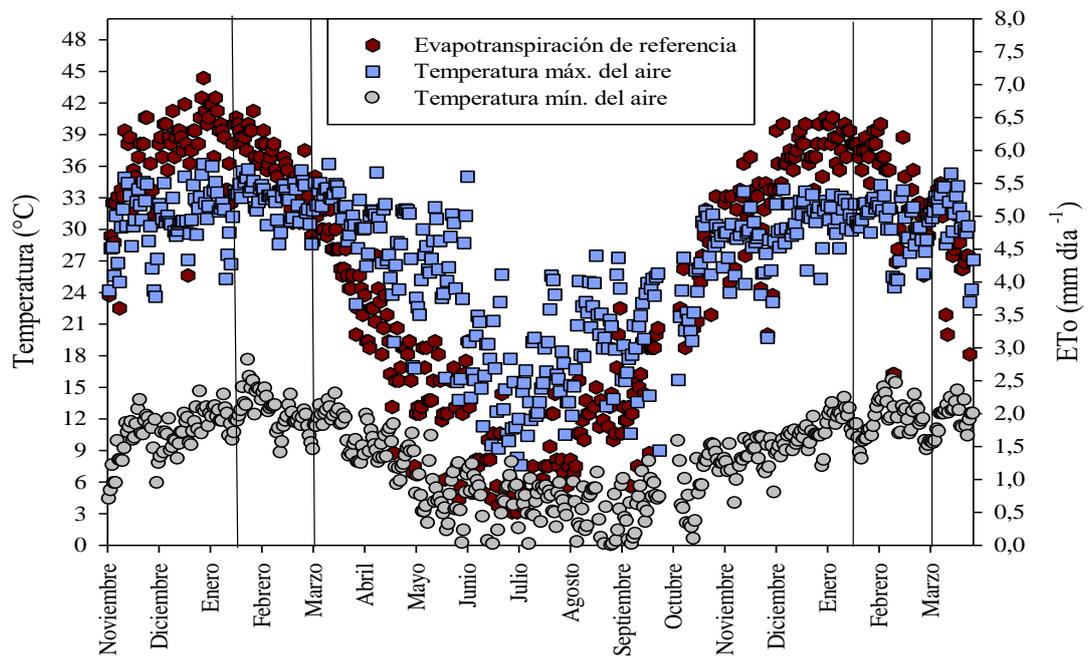


Figura 4. Caracterización de la temperatura (°C) y ETo (mm día<sup>-1</sup>) del lugar de estudio. Líneas verticales señalan los periodos en que se ejecutaron los tratamientos de RDC.

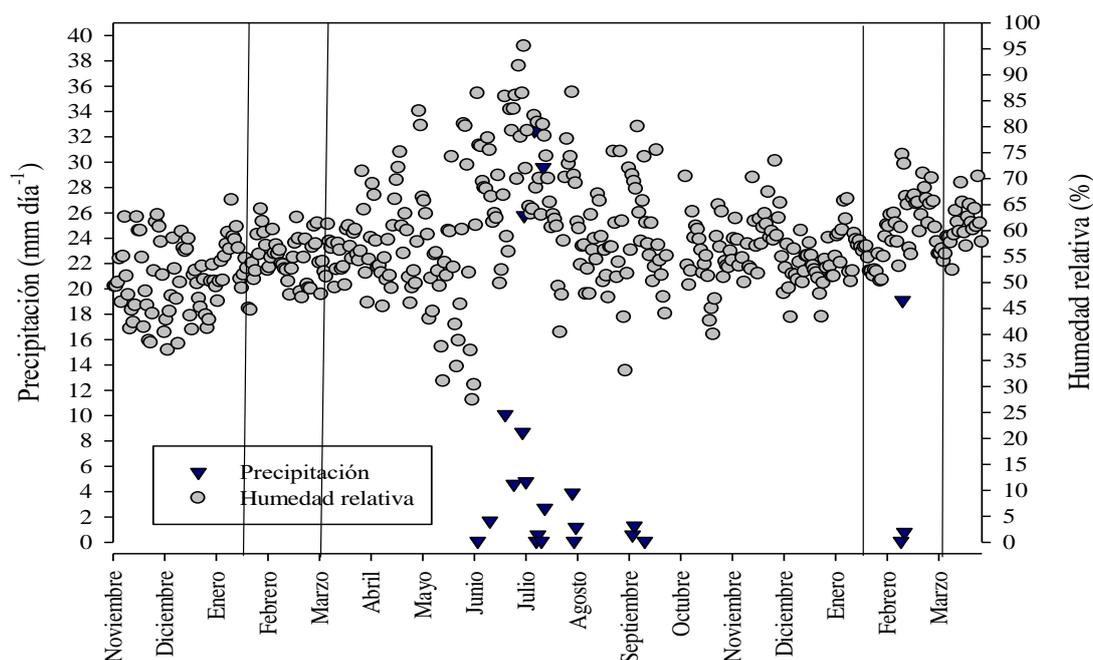


Figura 5. Caracterización de las precipitaciones ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y humedad relativa (%) del lugar de estudio. Líneas verticales señalan los períodos en que se ejecutaron los tratamientos de RDC.

### Caracterización del suelo

**Análisis físico de suelo.** El suelo es profundo, uniforme y regular, de textura franco-arcillosa en todo su perfil (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultado del análisis físico de suelo.

Horizonte o estrata	Granulometría			Clase Textural USDA
	A	L	a	
cm	%			
0-50	37,1	41,2	21,8	FA
50-100	39,2	40,2	20,5	FA

Para la interpretación de los datos utilizando el programa SPAW, se consideró un valor de 1,8% de materia orgánica (análisis de suelo AGQ, aportado por la empresa), una salinidad de  $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , obtenido a partir de las mediciones de salinidad del bulbo de mojamamiento con el TDR 150, un valor de 10% de gravas (estimado visualmente en la calicata) y una compactación normal (categoría 1). El contenido de humedad del suelo a saturación estimado fue de 48,4%, capacidad de campo 37,7% y punto de marchitez permanente 23,4%.

**Observación visual de la calicata y presencia de raíces.** Se determinó una adecuada cantidad de raíces previo al inicio del ensayo (octubre de 2019; Figura 6), siendo en su mayoría raicillas blancas y absorbentes, bien ubicadas en el bulbo y concentradas en los primeros 50 cm, pero bajando su densidad a mayor profundidad. En el mes de diciembre del año 2020, se realizó una calicata en el tratamiento de tiempo de riego, destacándose

una mayor cantidad de raíces que la temporada anterior, principalmente en los primeros 50 cm (Figuras 7), lo que sugiere que se tuvieron adecuadas condiciones para su crecimiento. Según la escala de presencia de raíces (Apéndices II), se observó una evolución de 3A a 2A de una temporada a otra.



Figura 6. Raíces observadas en la calicata en octubre de 2019, previo al inicio del ensayo.



Figura 7. Raíces observadas en la calicata en diciembre de 2020, tratamiento de tiempo de riego.

### **Evolución del contenido de humedad del suelo evaluado con sondas FDR**

#### **Manejo del riego previo a la ejecución del ensayo**

El análisis de los sensores por separados en el gráfico apilado previo al ensayo (Figura 8; superior), sugiere que la actividad de las raíces se visualizó principalmente en los sensores ubicados a los 10 y 30 cm de profundidad (color negro y rojo, respectivamente) mostrando un activo consumo del agua por las plantas a esas profundidades combinado de un efecto de la evaporación de agua desde el suelo. Por el contrario, a los 50 y 100 cm (color azul y amarillo, respectivamente) se visualizó escasa actividad de raíces, presentando en la primera temporada, altos valores de porcentaje de humedad en el suelo (valores constantes de 36 y 40 %).

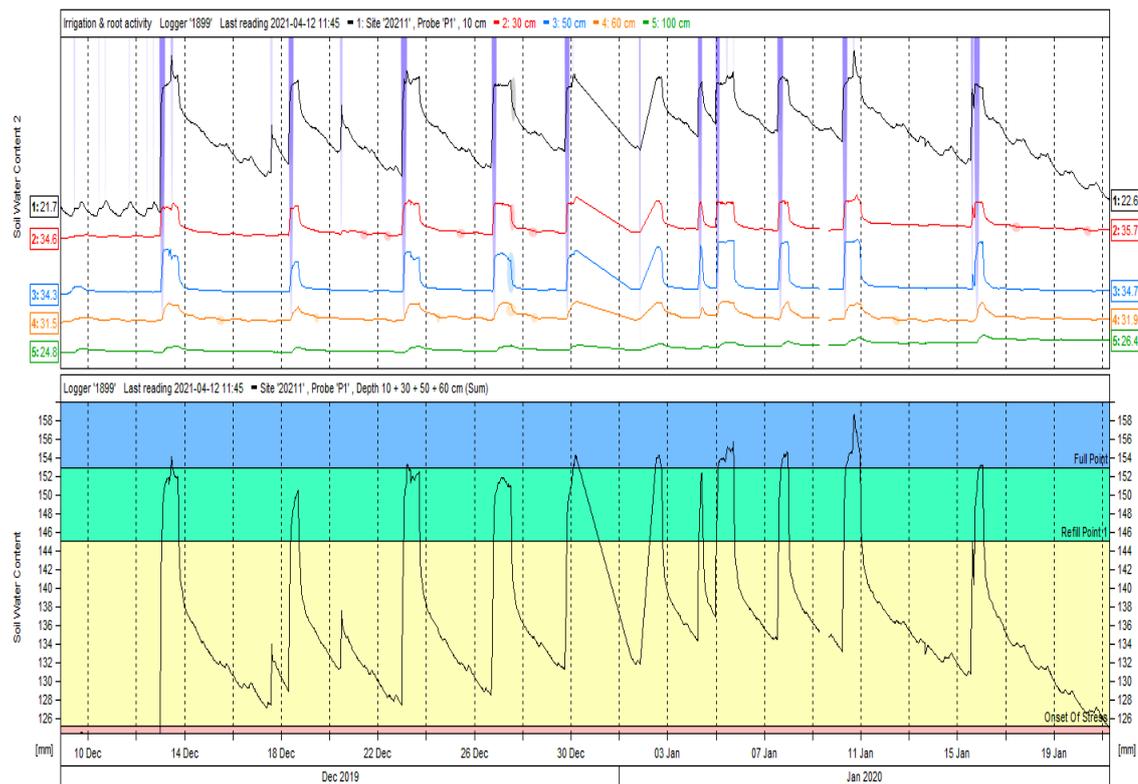


Figura 8. Gráfico sumado (inferior) y aplicado (superior) previo al comienzo de la ejecución de los tratamientos en la temporada 2019-2020.

### Seguimiento durante la ejecución del estudio

**Temporada 2019-2020.** En T1 (control) la variación en el contenido de humedad del suelo producto de la actividad radical, se produjo principalmente en los sensores ubicados en los primeros centímetros de profundidad, es decir, a los 10 y 30 cm (color negro y rojo, respectivamente), mientras que a mayores profundidades la humedad del suelo se mantuvo relativamente estable, como lo muestra la Figura 9. Para el caso de T2 (frecuencia) se presentó actividad de la sonda en los sensores a 50 y 100 cm de profundidad (color azul y amarillo, respectivamente, Figura 10), a diferencia del tratamiento anterior. Por su parte T3 (tiempo) presentó una situación intermedia entre T1 (control) y T2 (frecuencia), ya que a 10, 30 y 50 cm ocurrió variabilidad atribuible a la actividad radical, siendo el sensor ubicado a 100 cm el único que se mantuvo constante en todo el período como se visualiza en la Figura 11.

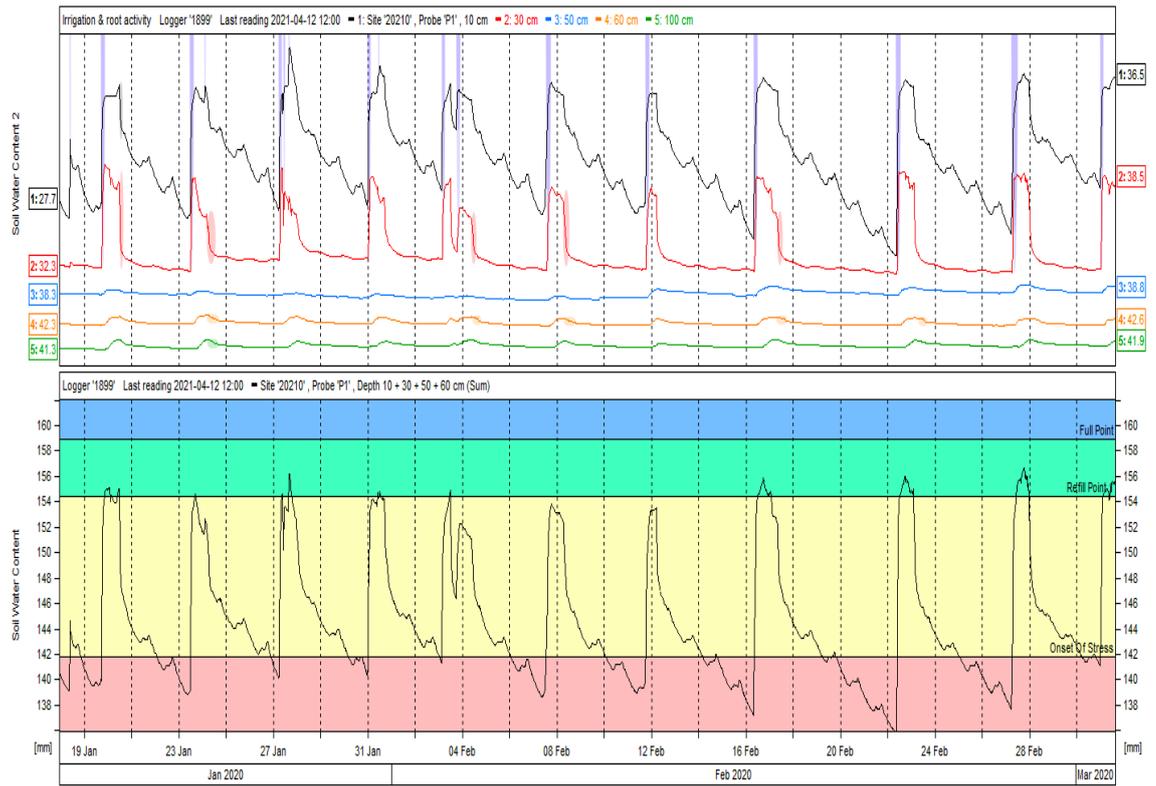


Figura 9. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T1 (control) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.

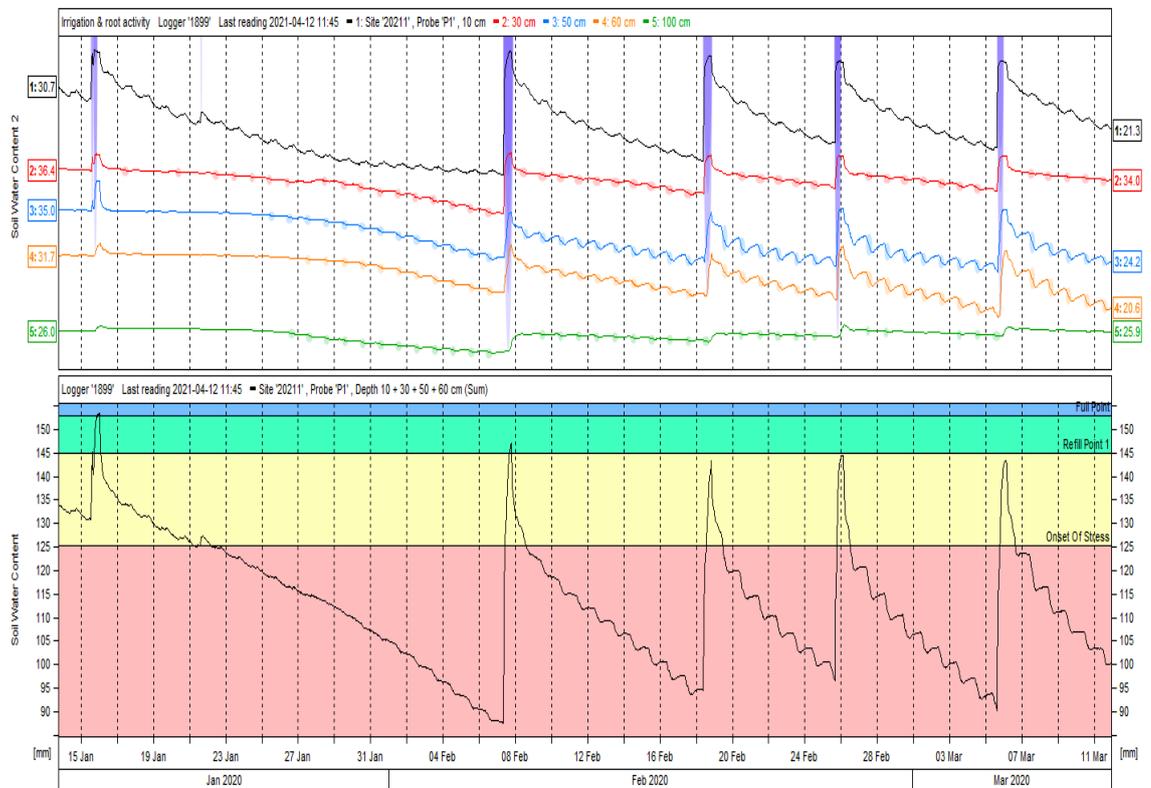


Figura 10. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T2 (frecuencia) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.

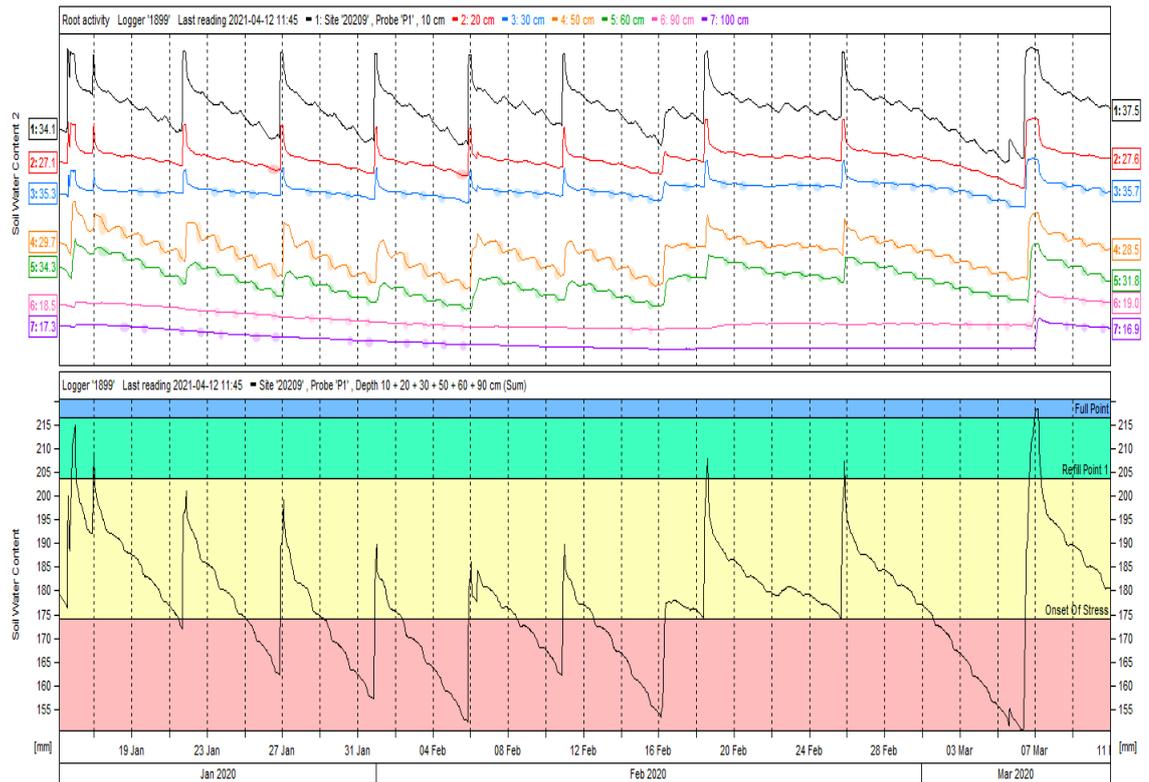


Figura 11. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T3 (tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2019-2020.

**Manejo del riego previo a la ejecución de los tratamientos en el segundo año.** Desde fines del mes de julio y comienzos agosto de 2020, comenzaron a registrarse los primeros indicios de actividad de la sonda para esta temporada (Figura 12). Debido a esto, desde la segunda quincena de este mes, comenzaron a darse riegos abundantes, pero poco frecuentes, con el objetivo de recuperar el contenido óptimo de agua en el suelo, tanto para el crecimiento radical como el inicio y desarrollo de la brotación. Desde mediados de octubre los riegos se efectuaron con los tiempos y frecuencias que permanecieron relativamente constantes durante el resto de la temporada previa a la ejecución de los ensayos. Cercano a enero, se duplicó la frecuencia de riego, con la finalidad de disminuir los potenciales hídricos y alcanzar mayores niveles de estrés durante el ensayo con respecto a la temporada anterior, sin embargo, el día 30 de diciembre, se registró un inesperado evento de lluvia en la zona, que nuevamente aumentó los contenidos de humedad del suelo registrándose en los sensores hasta los 60 cm de profundidad.

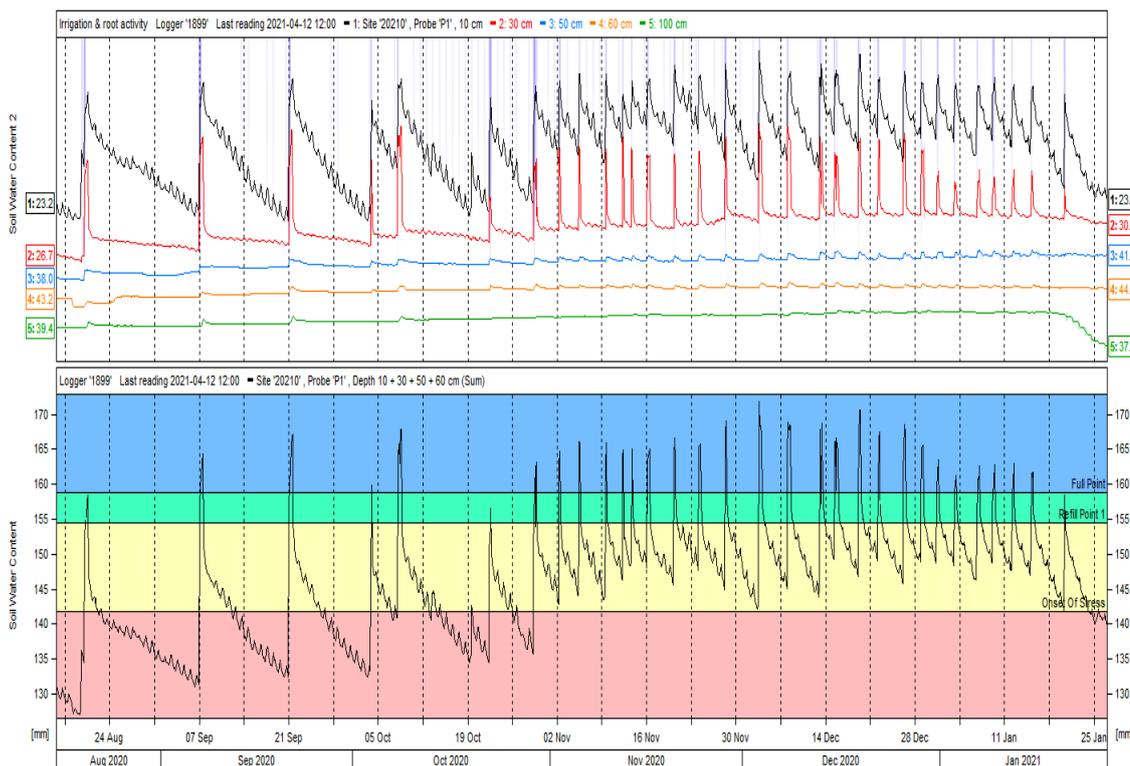


Figura 12. Gráfico sumado (inferior) y aplicado (superior) de T1 (control) previo a la ejecución de los tratamientos en la temporada 2020-2021.

**Temporada 2020-2021.** En T1 (control) se apreció una marcada actividad radical en el primer sensor, es decir, a los 10 cm (color negro), mientras que en el resto de los sensores existió una menor actividad en comparación al sensor más superficial, como se visualiza en la Figura 13. En T2 (frecuencia/tiempo), la principal actividad radical existió a los 10 y los 100 cm de profundidad, mientras que el sector medio del suelo monitoreado (a 30 y 50 cm) presentó baja actividad (Figura 14). Lo anterior fue particularmente más notorio desde que se iniciaron los riegos más cortos y frecuentes. El T3 (tiempo) mostró una alta actividad radical en todos sus sensores a excepción de los ubicados a 100 cm en donde a partir del día 11 de febrero esta actividad disminuyó como lo muestra la Figura 15. También es posible apreciar en este gráfico, que el contenido de humedad a 10 cm, descendió constantemente desde el inicio del tratamiento.

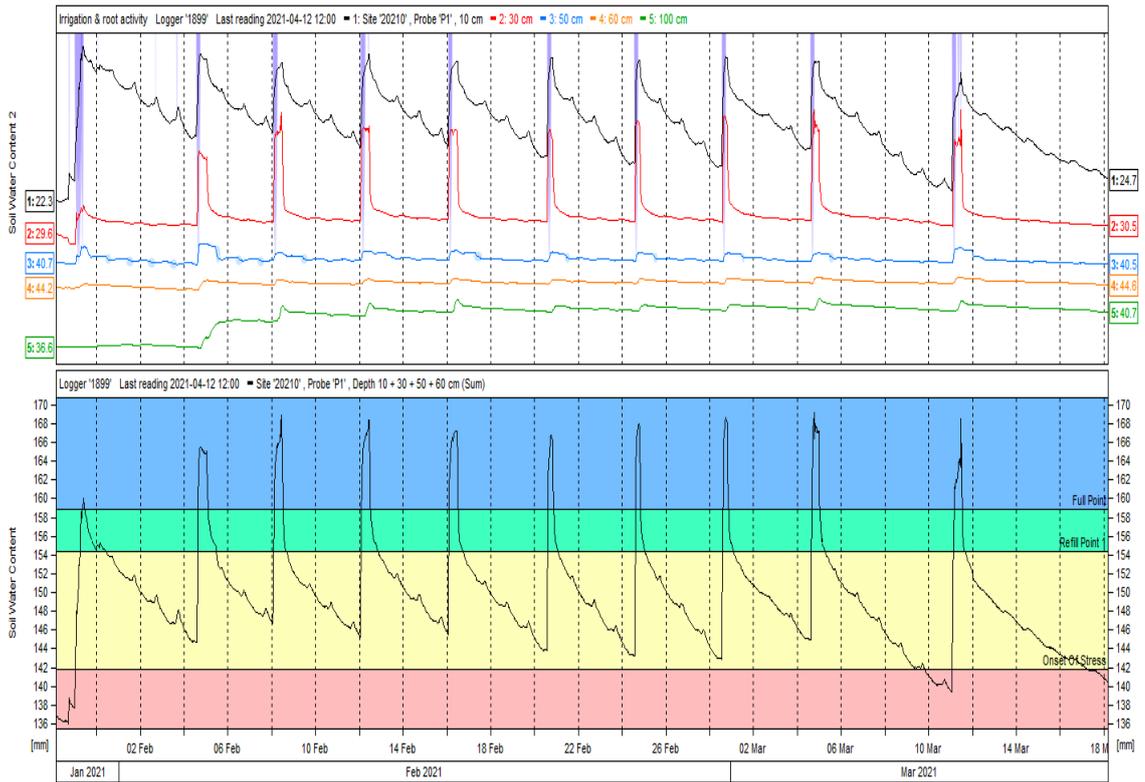


Figura 13. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T1 (control) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.

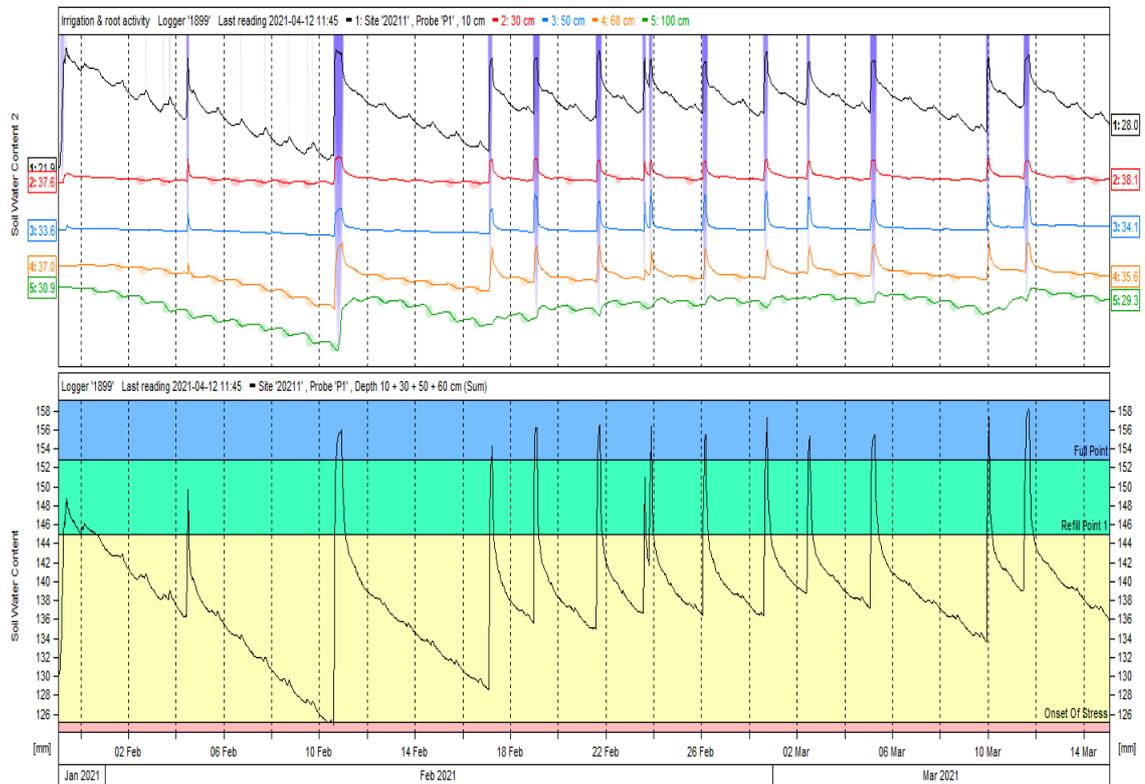


Figura 14. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T2 (frecuencia/tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.

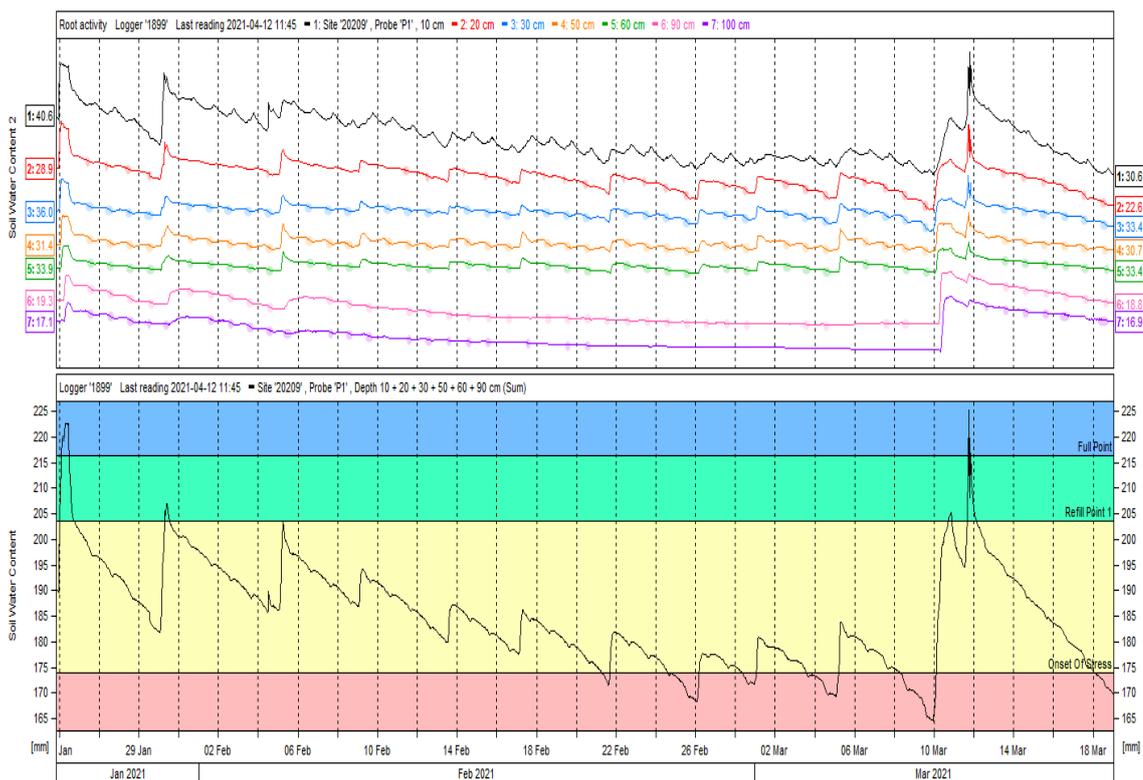


Figura 15. Gráfico sumado (inferior) y apilado (superior) para T3 (tiempo) desde la ejecución del tratamiento hasta cosecha, en la temporada 2020-2021.

### Descripción del comportamiento del bulbo de mojamiento con sensor TDR 150

#### Conformación del bulbo de mojamiento

Las evaluaciones del contenido de agua en el suelo fueron realizadas posterior a un riego en el mes de octubre de 2019, para la primera temporada, y en el mes de diciembre de 2020, para la segunda temporada. En el primer caso (Figura 16, izquierda), se muestra un bulbo parejo que presenta “hombros” de aproximadamente 50 cm a cada lado del tronco y que alcanza profundidades mayores a 70 cm, con un alto porcentaje de humedad, en toda su extensión. Para el caso de la segunda temporada (Figura 16, derecha), se evaluó hasta los 80 cm de profundidad, con altos porcentajes de humedad del suelo de forma homogénea en toda su extensión.

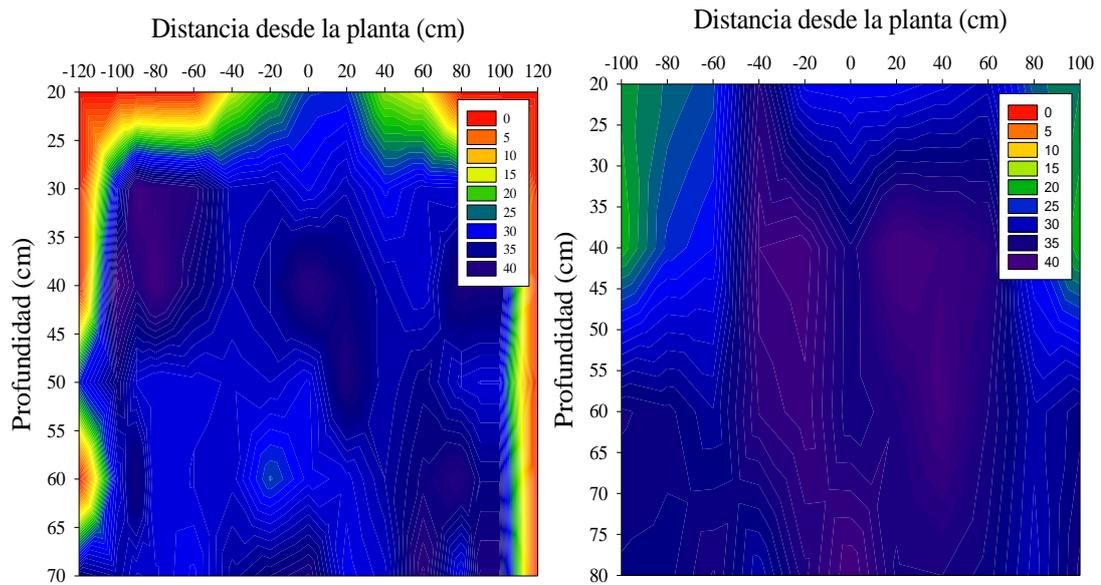


Figura 16. Contenido de agua en el bulbo de mojamiento previo al comienzo de los tratamientos de la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha). Se presenta una escala de porcentaje de humedad de suelo entre 0 y 40%.

### Abertura del bulbo de mojamiento

En la temporada 2019-2020 se encontró un bulbo con hombros abiertos y alto contenido de agua para T1 (control), como se ve en el gráfico superior de la Figura 17. Para T2 (frecuencia), se visualizó una reducción marcada en la lateral y una concentración del bulbo cercano al tronco de la planta (gráfico medio de la Figura 17). Mientras que para T3 (tiempo) se vio una leve reducción de los hombros en comparación a los tratamientos anteriores, pero una mantención en general, de la forma del bulbo descrito en T1 (control) variando principalmente en los contenidos de humedad encontrados, siendo menores para T3 (tiempo) en comparación a T1 (control; gráfico inferior de la Figura 17).

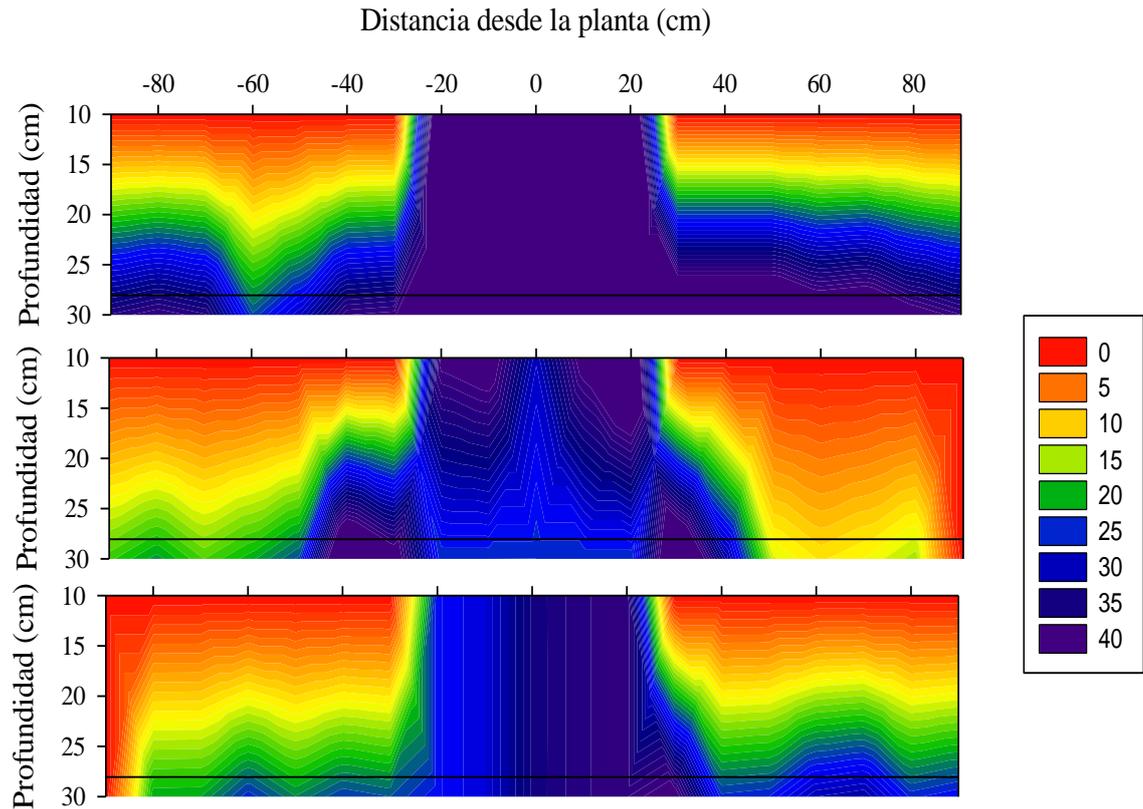


Figura 17. Abertura del bulbo de mojamiento evaluado a través del porcentaje de humedad del suelo en los primeros 20 cm superiores para T1 (control; superior), T2 (frecuencia; medio) y T3 (tiempo; inferior) en la temporada 2019-2020. Se presenta una escala de porcentaje de humedad de suelo entre 0 y 40%.

En la segunda temporada, no se apreciaron grandes diferencias entre el comportamiento del bulbo de mojamiento como si ocurrió en la temporada anterior. De esta forma, tanto T1 (control) como T2 (frecuencia/tiempo), presentan similares contenidos de humedad del suelo del orden de 35 y 40% (superior y medio de la Figura 18), mientras que para T3 (tiempo) se puede apreciar valores más cercanos a 25 y 30% (gráfico inferior de la Figura 18) y una leve disminución de la laterización.

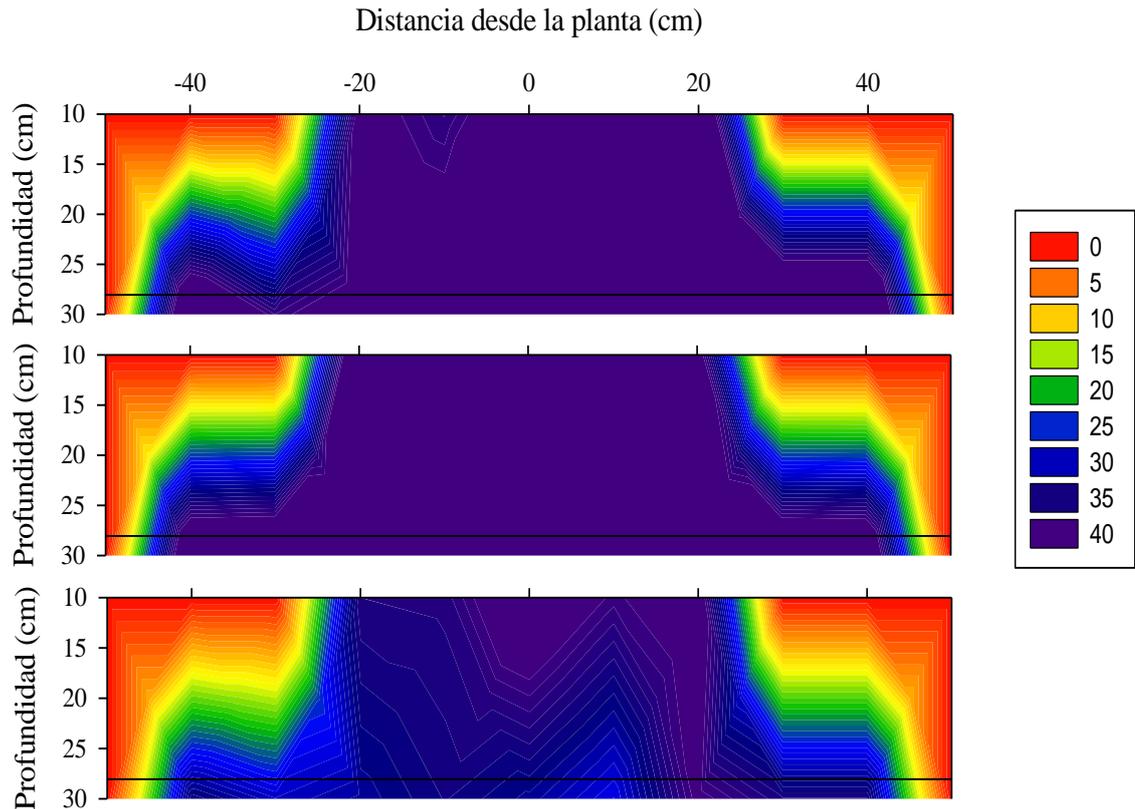


Figura 18. Abertura del bulbo de mojamiento evaluado a través del porcentaje de humedad del suelo en los primeros 20 cm superiores para T1 (control; superior), T2 (frecuencia/tiempo; medio) y T3 (tiempo; inferior) en la temporada 2020-2021. Se presenta una escala de porcentaje de humedad de suelo entre 0 y 40%.

### Descripción del contenido de sales en el bulbo de mojamiento

En la primera temporada se visualizó una importante acumulación de sales hacia la lateral del bulbo de mojamiento, alcanzando valores mayores a  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  desde los 80 cm de distancia de la planta hacia la entre hileras. Esta condición podría estar generada por el efecto de aplicaciones de fertilizantes altamente salinos como lo es el cloruro o muriato de potasio (Apéndice I) desde cuaja en adelante, ya que previo a la plantación se contó con análisis que arrojaron valores de  $0,48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (análisis AGQ, entregada por la empresa). Al inicio de la segunda temporada de RDC, se detectó un lavado de sales y una baja en la CE con valores promedios cercanos a  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Figura 19).

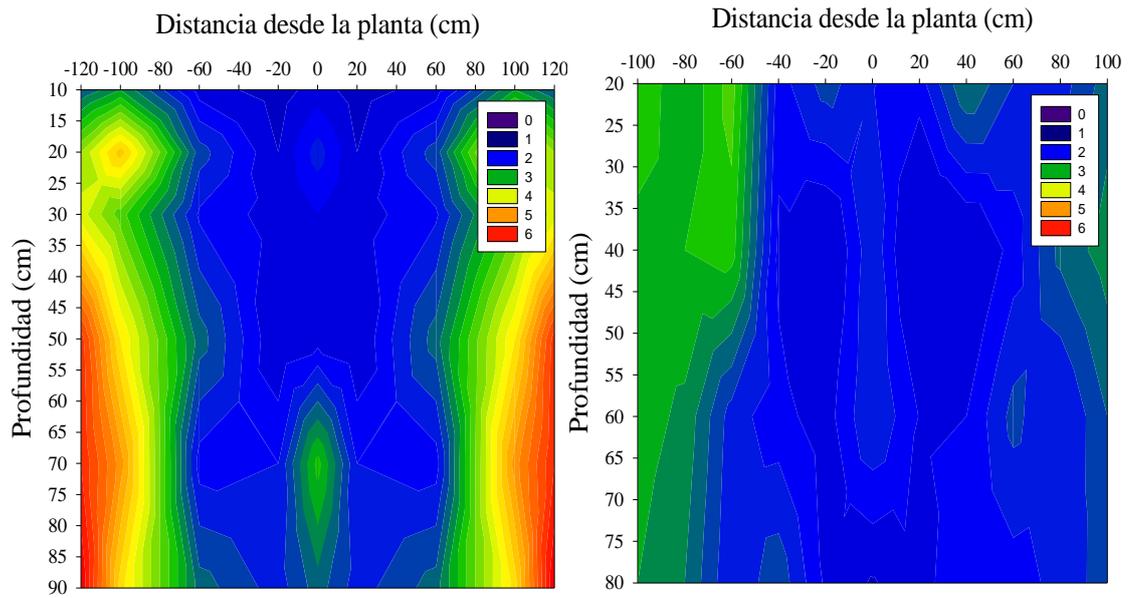


Figura 19. Análisis del contenido de sales del bulbo de mojamiento previo al comienzo de los tratamientos de la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha). Se presenta una escala de salinidad de suelo entre 0 y 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

### Evaluación de la condición hídrica de las plantas

#### Evolución del potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) en la temporada 2019-2020

**Evaluaciones previo al ensayo.** Al comienzo del ensayo, todas las plantas presentaron potenciales hídricos xilemáticos a mediodía con valores que fluctuaron entre -0,40 y -0,42 MPa, mostrando igualdad de condiciones entre las plantas de los diferentes tratamientos al no presentarse diferencias estadísticas entre éstas (Cuadro 4; DDE = 1). Adicionalmente y de acuerdo con la literatura las plantas se encontraron con una óptima hidratación (Ferreira *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009; Gálvez *et al.*, 2014).

**Evaluaciones durante los tratamientos.** En todo este período, T1 (control) tuvo un  $\Psi_{xm}$  igual y/o significativamente más alto en comparación a T2 (frecuencia) y T3 (control). Por otra parte, T2 (frecuencia) y T3 (tiempo) tuvieron potenciales hídricos estadísticamente iguales entre ellos, a excepción de los días 13, 17, 23 y 32 después de envero (DDE), en donde T2 (frecuencia) mostró valores más negativos que T3 (tiempo) y los días 24 y 43, en donde se produjo el comportamiento inverso.

Cuadro 4. Seguimiento del potencial hídrico xilemático promedio para cada tratamiento en la temporada 2019-2020.

DDE*	1	6	8	11	13	16	17	19	20	
Tratamientos	Potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía (MPa)									
T1 (control)	-0,40 a	-0,34 a	-0,37 a	-0,41 a	-0,41 a	-0,47 a	-0,43 a	-0,43 a	-0,44 a	
T2 (frecuencia)	-0,42 a	-0,49 b	-0,45 b	-0,55 b	-0,58 c	-0,63 b	-0,62 c	-0,61 b	-0,62 b	
T3 (tiempo)	-0,42 a	-0,47 b	-0,43 b	-0,54 b	-0,49 b	-0,61 b	-0,57 b	-0,56 b	-0,59 b	

DDE	22	23	24	27	28	32	34	35	43	45
Tratamientos	Potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía (MPa)									
T1 (control)	-0,40 a	-0,45 a	-0,46 a	-0,39 a	-0,48 a	-0,46 a	-0,38 a	-0,45 a	-0,49 a	-0,45 a
T2 (frecuencia)	-0,68 b	-0,72 c	-0,53 b	-0,64 b	-0,69 b	-0,67 c	-0,72 b	-0,64 b	-0,57 b	-0,72 b
T3 (tiempo)	-0,65 b	-0,58 b	-0,60 c	-0,61 b	-0,63 b	-0,62 b	-0,66 b	-0,59 b	-0,64 c	-0,68 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

\*DDE: Días después de envero.

Para una mejor visualización del comportamiento de los datos y considerando el momento dentro de un ciclo de riego en que fueron obtenidos, se presentan las figuras 20, 21 y 22, donde adicionalmente al  $\Psi_{xm}$ , se muestran los siguientes indicadores a modo de referencia: a) ‘óptima condición hídrica’ equivalente a valores mayores a -0,68 MPa (Ferreyra *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009; Gálvez *et al.*, 2014), b) entre -0,68 a -0,85 MPa, ‘estrés medio’ (Van Leeuwen *et al.*, 2009) y c) menores de -0,85 MPa a valores cercanos a -1,0 MPa, los que corresponden a ‘estrés fuerte’, y cuyos valores utilizados para el riego deficitario en variedad Crimson en España (Conesa *et al.*, 2014; Faci *et al.*, 2014; Conesa *et al.*, 2016; Pinillos *et al.*, 2016; Conesa *et al.*, 2018). Estos últimos valores fueron obtenidos a través de correlaciones generadas por Williams *et al.* (2002) y Centeno *et al.* (2010), ya que fueron evaluadas como potencial hídrico foliar.

Como se observa en la Figura 20, T1 (control) se mantuvo con potenciales entre -0,40 y -0,50 MPa y alcanzó valores mínimos de -0,48 y -0,49 MPa los días 28 y 43 después de envero, respectivamente.

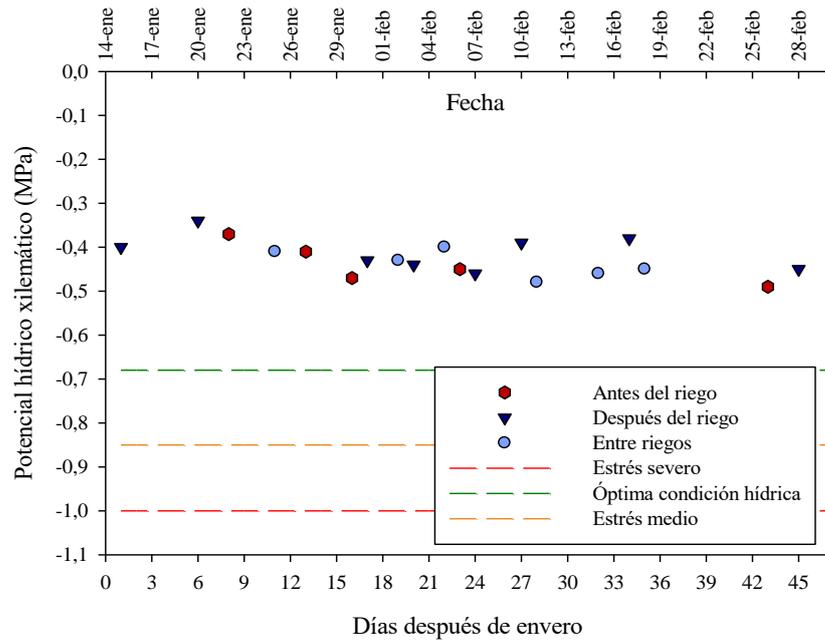


Figura 20. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=10$ ) para T1 (control) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020.

Por su parte T2 (frecuencia) disminuyó su potencial hídrico en forma importante en el tiempo, bajando de  $-0,50$  MPa desde el día 11 después de enero y superando los  $-0,70$  MPa en tres ocasiones durante la temporada, con un mínimo de  $-0,72$  MPa (Figura 21).

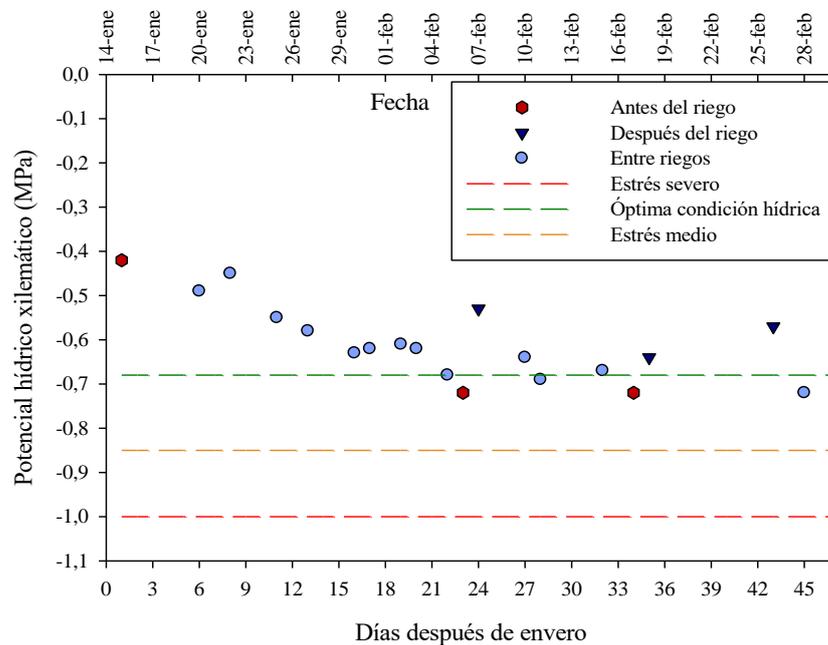


Figura 21. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=10$ ) para T2 (frecuencia) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020.

En tanto, el  $\Psi_{xm}$  de T3 (tiempo) cayó de forma gradual con recuperaciones evidentes con el riego, como lo muestra la Figura 22. Se alcanzó valores mayores en comparación a T2 (frecuencia), presentando sus mínimos los días 22, 34 y 45 después de enero, correspondientes a  $-0,65$ ,  $-0,66$  y  $-0,68$  MPa.

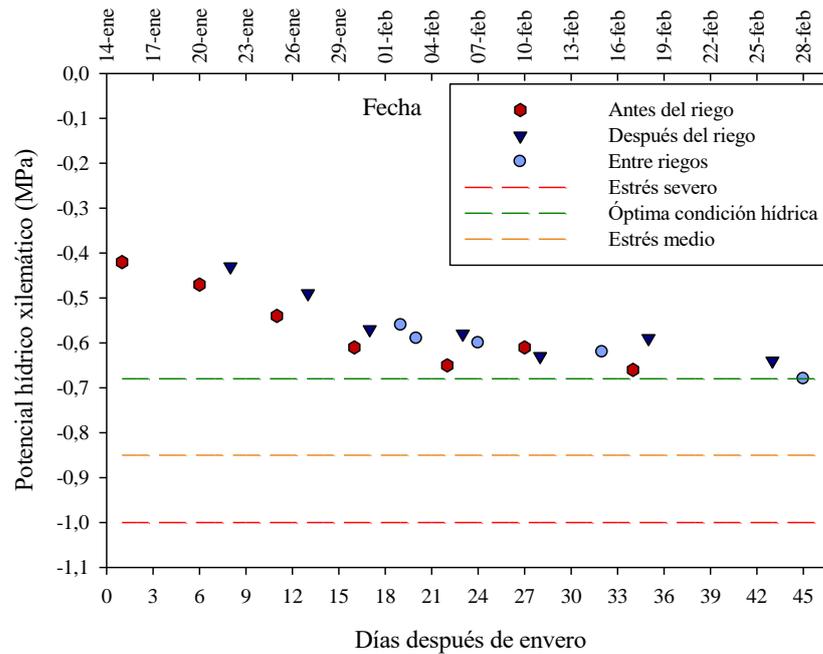


Figura 22. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=10$ ) para T3 (tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2019-2020.

### Evolución del potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) en la temporada 2020-2021

**Evaluaciones previo al ensayo.** Al igual que en la temporada 2019-2020, las plantas se encontraron en iguales condiciones hídricas previo al inicio de los tratamientos en la segunda temporada. Se constata que los potenciales hídricos xilemáticos iniciales fueron menores en comparación con la primera temporada (Cuadro 5), pero sí se verifica que los valores se estuvieron dentro de rangos óptimos de hidratación (Ferreira *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009; Gálvez *et al.*, 2014). Esto está estrechamente relacionado con el ajuste de  $K_c$  utilizado para determinar la demanda de  $ET_c$  durante toda la segunda temporada que se detalló en la sección materiales y métodos, ‘determinación de  $ET_c$ ’ de ‘variables evaluadas’.

Cuadro 5. Seguimiento del potencial hídrico común para todos los tratamientos, previo al ensayo en la temporada 2020-2021

DDE*	-72	-70	-49	-34	-5	-3	1
Potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía (MPa) común para todos los tratamientos							
	-0,54	-0,51	-0,69	-0,58	-0,76	-0,59	-0,56

\*DDE: Días después de enero.

**Evaluaciones durante los tratamientos.** De la misma manera que en la temporada anterior, T1 (control) presentó los potenciales hídricos significativamente iguales y/o más positivos, en comparación a T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo) durante todo el periodo evaluado. Por su parte T3 (tiempo) tuvo potenciales significativamente iguales y/o más negativos que T2 (frecuencia/tiempo), a excepción del día 20 después de enero, en donde T2 (frecuencia/tiempo) alcanzó menores valores que T3 (tiempo). De esta forma, T3 (tiempo) fue el tratamiento que alcanzó niveles de estrés más alto durante todo el ensayo,

llegando incluso a presentar una tendencia marcada de potenciales más bajos en los casos de igualdad estadística con T2 (frecuencia/tiempo) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Seguimiento del potencial hídrico para cada tratamiento en la temporada 2020-2021.

DDE*	14	20	23	27	31	34	43
Tratamientos	Potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía (MPa)						
T1 (control)	-0,79 a	-0,66 a	-0,62 a	-0,62 a	-0,69 a	-0,80 a	-0,77 a
T2 (frecuencia/tiempo)	-0,84 a	-0,82 c	-0,69 a	-0,77 b	-0,72 ab	-0,82 a	-0,77 a
T3 (tiempo)	-0,84 a	-0,72 b	-0,84 b	-0,81 b	-0,77 b	-0,92 b	-0,83 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

\*DDE: Días después de enero.

En este caso, se presenta el seguimiento del potencial hídrico durante la temporada junto a los indicadores detallados con anterioridad a modo de referencia (figuras 23, 24 y 25).

T1 (control), desde el día 14 DDE, mostró  $\Psi_{xm}$  entre la línea de óptima condición hídrica (-0,68 MPa) y la línea de estrés hídrico creciente o medio (-0,85 MPa) en cuatro ocasiones, mientras que en las tres ocasiones restantes mantuvo potenciales asociados a óptimas condiciones de hidratación. De esta manera, alcanzó los mínimos valores de  $\Psi_{xm}$  los días 14 y 34 después de enero, asociado a -0,79 y -0,80 MPa (Figura 23).

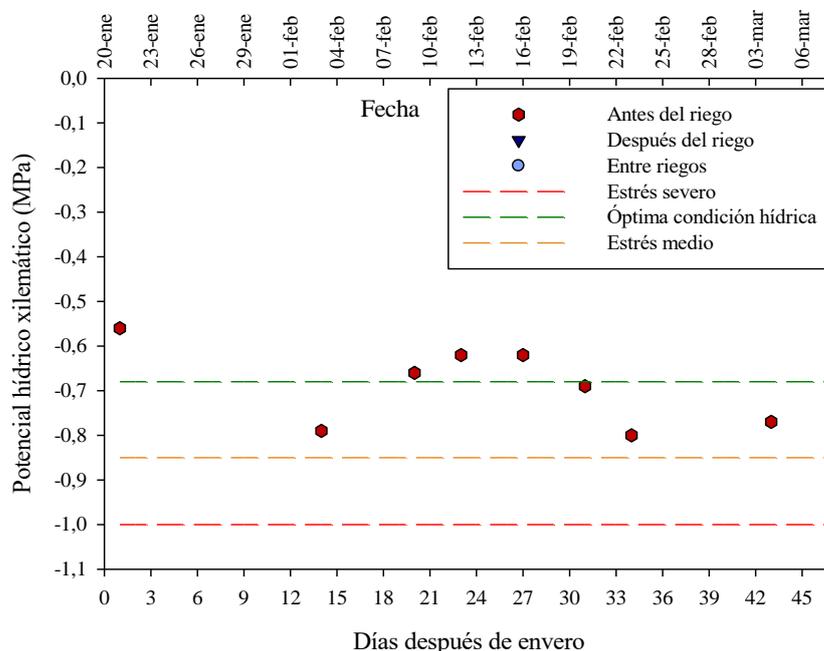


Figura 23. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=6$ ) para T1 (control) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021.

T2 (tiempo/frecuencia) presentó potenciales hídricos entre la línea de óptima condición hídrica (-0,68 MPa) y la línea de estrés hídrico creciente o medio (-0,85 MPa) desde el día 14 después de enero, teniendo sus mínimos valores de -0,84, -0,82 y -0,82 MPa, los días 14, 20 y 34 DDE (Figura 24).

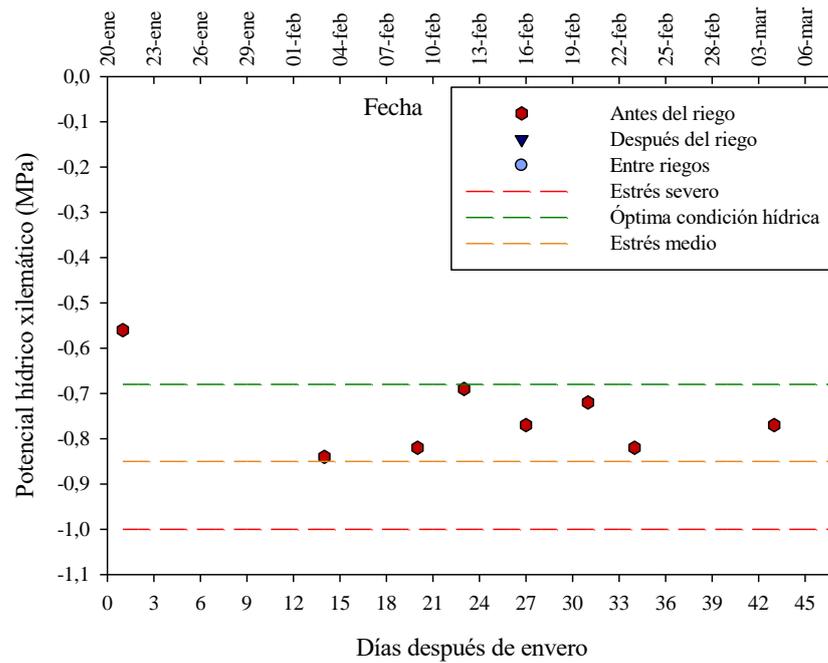


Figura 24. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=6$ ) para T2 (frecuencia/tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021.

Mientras, T3 (tiempo) desde el día 14 después de enero presentó un comportamiento muy similar a T2 (frecuencia/tiempo). Sin embargo, T3 (tiempo), a diferencia de T2 (tiempo/frecuencia) tuvo potenciales menores a  $-0,85$  MPa, atravesando la línea de 'estrés medio' ( $-0,85$  MPa) el día 34 después de enero con un valor de  $-0,92$  MPa (Figura 25).

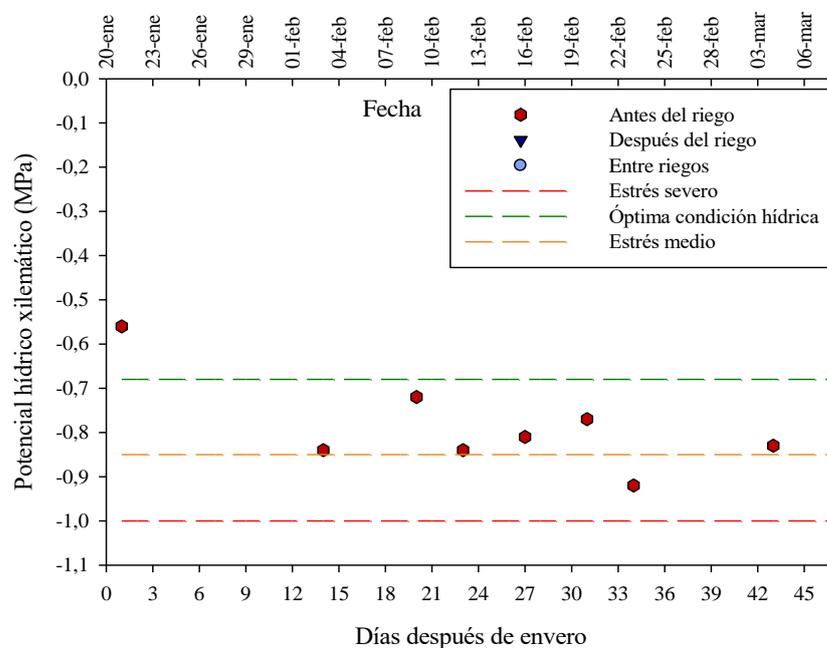


Figura 25. Seguimiento del  $\Psi_{xm}$  promedio ( $n=6$ ) para T3 (tiempo) en el período de enero a cosecha en la temporada 2020-2021.

## Integral de estrés hídrico

El análisis mediante la integral de estrés hídrico acumulado (Myers, 1998; Conesa *et al.*, 2018; Berríos *et al.*, 2020), señala que T2 (frecuencia) para la temporada 2019-2020 (Figura 21, izquierda), y T3 (tiempo) en la temporada 2020-2021 (Figura 26, derecha), fueron los tratamientos que presentaron más estrés acumulado, considerando sus correspondientes tratamientos control como base de referencias.

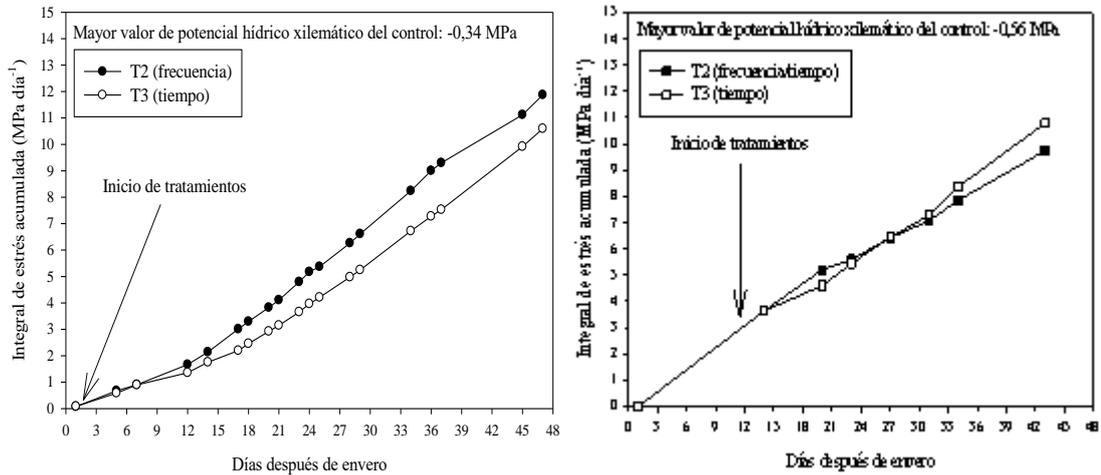


Figura 26. Integral de estrés hídrico acumulado teniendo el control de cada temporada como referencia, para la temporada 2019-2020 (izquierda) y 2020-2021 (derecha).

\*Flecha indica inicio de los tratamientos

Al relativizar los índices por una línea de referencia común (Figura 27), es posible observar que T3 (tiempo) en la segunda temporada, fue el tratamiento que presentó mayor estrés acumulado en comparación al resto de los tratamientos en todo el estudio. También se observa que T1 (control) tuvo similar estrés en la segunda temporada que T3 (tiempo) en la primera. No se aprecia T1 (control) en la temporada 2019-2020 debido a que en todo el periodo no alcanzó  $\Psi_{xm}$  menores a  $-0,68$  MPa.

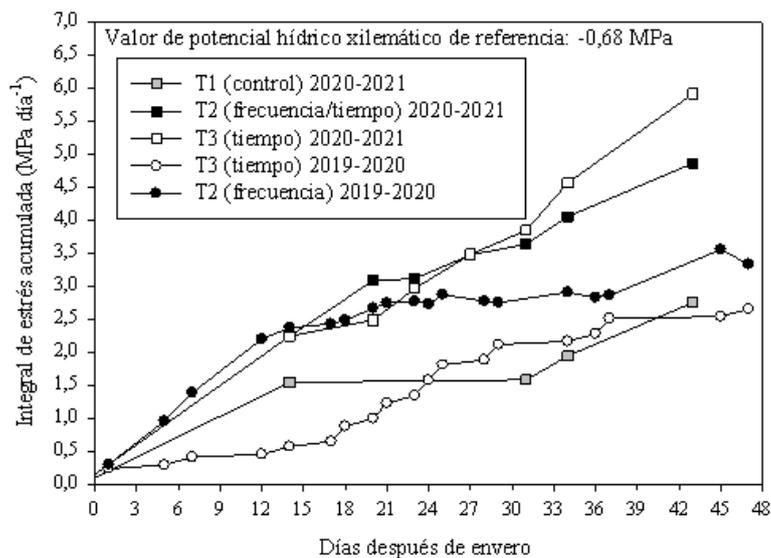


Figura 27. Integral de estrés hídrico acumulado teniendo el valor de  $-0,68$  MPa como referencia, para ambas temporadas. T1 (control) 2019-2020, no presenta  $\Psi_{xm}$  menores a  $-0,68$  MPa, por lo que no se aprecia en el gráfico.

## Correlaciones y regresiones

### Relación entre el potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) y la evapotranspiración de referencia acumulada (ETo)

En la Figura 28 se presenta la relación de las dos variables, con el objetivo de estimar los potenciales hídricos que se pueden alcanzar en función de la ETo acumulada para esta unidad de estudio. En los 17 días en que transcurrió el descenso del potencial xilemático, se acumularon 80 mm aproximadamente de ETo. Esta función, eventualmente permitiría estimar año a año y para esta unidad en particular y en función de la ETo acumulada, el grado de estrés al que podrían llegar las plantas al implementar un corte del riego.

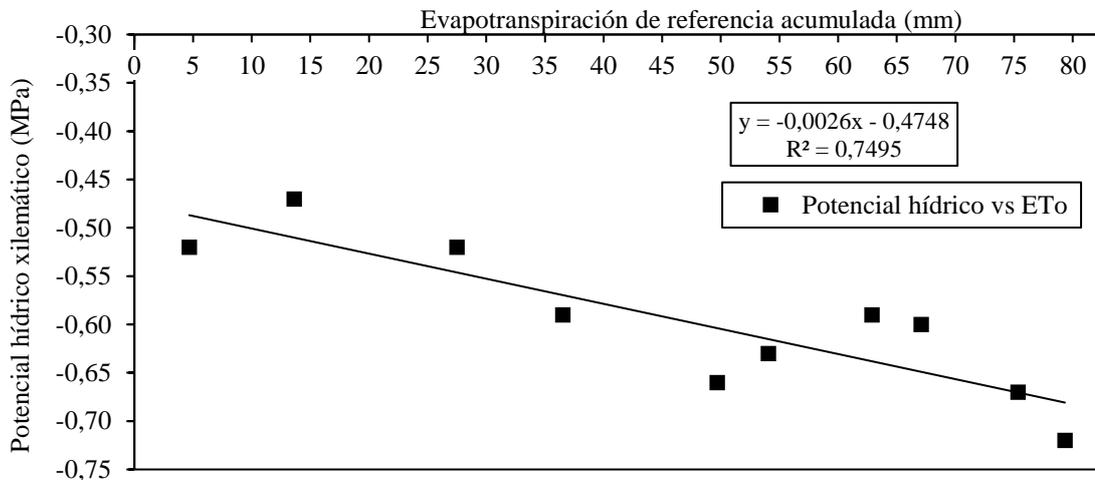


Figura 28. Relación entre el potencial hídrico xilemático de T2 (frecuencia) y la evapotranspiración de referencia acumulada (ETo) para el periodo del 21 de enero al 7 de febrero de 2020.

### Descripción de la relación entre las variables potencial hídrico xilemático evaluado a mediodía ( $\Psi_{xm}$ ) y el contenido de humedad del suelo en la temporada 2019-2020

En general, se encontraron asociaciones positivas en los tratamientos con mayor variación de humedad de suelo y potencial hídrico, siendo el contenido de agua medido a 50 cm, el gráfico sumado y el gráfico sumado corregido, los que mejor podrían explicar el comportamiento del potencial hídrico en función del contenido de humedad. En el Cuadro 7, se detallan las magnitudes y el p-valor de las correlaciones generadas para todos los en cada tratamiento.

Respecto al T1 (tiempo) la variable potencial hídrico xilemático no presentó una correlación lineal respecto del contenido de humedad del suelo, para cada una de las profundidades establecidas, el gráfico sumado y la propuesta de corrección del gráfico sumado (Datos no mostrados). Por otro lado, en los dos tratamientos restantes sí se encontraron correlaciones significativas, las que se dieron en el sensor a 50 cm, gráfico sumado y gráfico sumado relativo para el T2 (frecuencia) y en todos los casos para T3 (tiempo).

Cuadro 7. Nivel de significancia y magnitud de las correlaciones de Pearson obtenidas entre potencial xilemático y contenido de humedad de suelo medido en la sonda.

		10 cm	30 cm	50 cm	100 cm	Gráfico sumado	Gráfico sumado corregido
T1	R <sup>2</sup>	0,29	0,18	0,10	0,18	0,26	0,25
(control)	p-valor	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
T2	R <sup>2</sup>	0,37	0,39	0,83	0,32	0,54	0,58
(frecuencia)	p-valor	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	**
T3	R <sup>2</sup>	0,73	0,78	0,90	0,59	0,89	0,91
(tiempo)	p-valor	**	**	**	*	**	**

n.s.: correlación lineal no significativa ( $p \geq 0,05$ ), \*: correlación lineal significativa ( $p \leq 0,05$ ), \*\*: correlación lineal muy significativa ( $p \leq 0,01$ ).

En base a los resultados anteriores, se generó una regresión lineal entre el  $\Psi_{xm}$  y el contenido de humedad del suelo para cada caso en donde estas variables tuvieron una asociación estadísticamente significativa. A modo de ejemplo, en la Figura 29 se señala esta relación, en todos los tratamientos, para el sensor ubicado a 50 cm de profundidad.

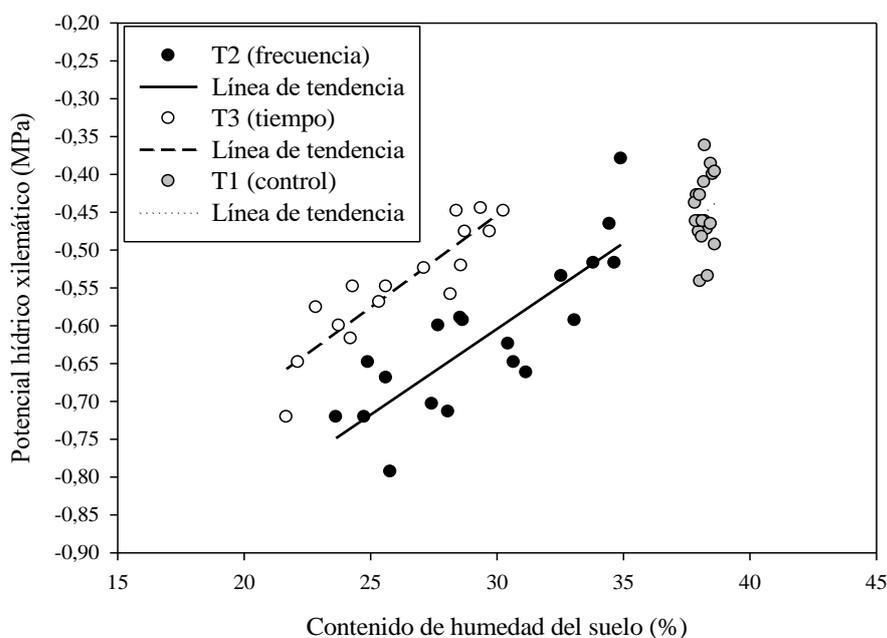


Figura 29. Relación entre el potencial hídrico xilemático de las plantas adyacentes a la sonda y el contenido de humedad del suelo evaluado para los 50 cm, en todos los tratamientos de la temporada 2019-2020.

Adicionalmente, se generaron ecuaciones que permitieron modelar el comportamiento entre las variables en cada una de las regresiones lineales generadas. Nuevamente, para el caso del sensor ubicado a 50 cm de profundidad, se exponen en el Cuadro 8, las ecuaciones obtenidas para los resultados estadísticamente significativos.

Cuadro 8. Funciones generadas a partir de la regresión lineal de T2 (frecuencia) y T3 (tiempo)

50 cm		
T2 (frecuencia)	Ecuación	$y: -1,2848 + 0,0227 \times \text{CHS}$
	$R^2$	0,68
T3 (tiempo)	Ecuación	$y: -1,1869 + 0,0244 \times \text{CHS}$
	$R^2$	0,81

CHS: Contenido de agua en el suelo (% evaluado por la sonda).

### Validación de las funciones

La validación de las funciones se hizo con el promedio de 8 mediciones de las plantas que no se usaron para construir el modelo, definiéndose así los valores de potencial hídrico observado. Para cada uno de estos valores se obtuvo el valor del contenido de humedad del suelo, correspondiente a cada sensor para cada tratamiento, en el momento de las mediciones a través de la sonda FDR, el que se ingresó a las ecuaciones correspondiente para obtener los valores de potencial hídrico predicho.

En la Figura 30, se muestra la relación entre el  $\Psi_{xm}$  observado y el predicho por el modelo mostrado en el Cuadro 8, tanto para T2 (frecuencia) como T3 (tiempo). En ambos casos, se obtuvo una correlación alta y muy significativa (Cuadro 9).

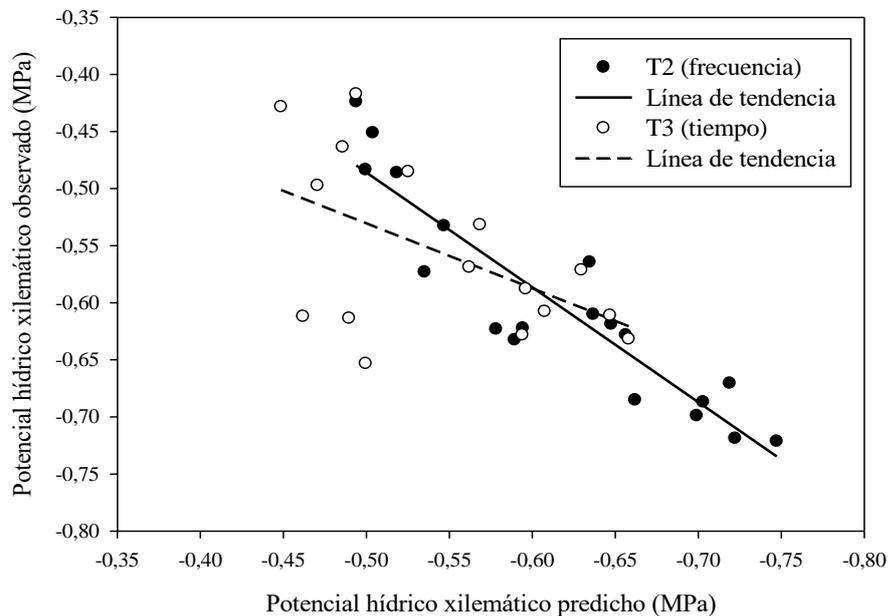


Figura 30. Relación entre el  $\Psi_{xm}$  observado y el predicho por el modelo para los 50 cm, en T2 (frecuencia) y T3 (tiempo).

Cuadro 9. Análisis de correlación de Pearson entre el valor predicho por la función y el observado para T2 (frecuencia) y T3 (tiempo).

		Predicho 50 cm
T2 (frecuencia)	Coefficiente de magnitud	0,83
	Probabilidad	**
T3 (tiempo)	Coefficiente de magnitud	0,52
	Probabilidad	**

n.s.: correlación lineal no significativa ( $p \geq 0,05$ ), \*: correlación lineal significativa ( $p \leq 0,05$ ), \*\*: correlación lineal muy significativa ( $p \leq 0,01$ ).

### Propuesta práctica con la utilización de los modelos generados

A partir de las ecuaciones obtenidas, se realizó un cuadro que relaciona el contenido de humedad del suelo medido por la sonda a 50 cm de profundidad para el T2 (frecuencia), 2019-2020 y los potenciales hídricos predichos (Cuadro 10). Adicionalmente se generó un gráfico sobre la plantilla de seguimiento de contenido de humedad del suelo generada por Irrimax Live, en donde se visualizan las “líneas de potenciales hídricos” o una posible “línea de relleno en la zona de inicio estrés” para ambas temporadas (Figura 31), considerando T2 (frecuencia), 2019-2020 y T2 (frecuencia/tiempo), 2020-2021. Lo anterior, para percibir si era posible mantener esta línea de manera fija de una temporada a otra.

Cuadro 10. Contenidos de humedad del suelo estimados por las ecuaciones para determinados valores de potencial hídrico.

	Potencial hídrico xilemático de T2 (frecuencia)					
	MPa					
	-0,45	-0,50	-0,55	-0,60	-0,65	-0,70
CHS a 50 cm de profundidad (%)	36,8	34,6	32,4	30,2	28,0	25,8

CHS: Contenido de agua del suelo.

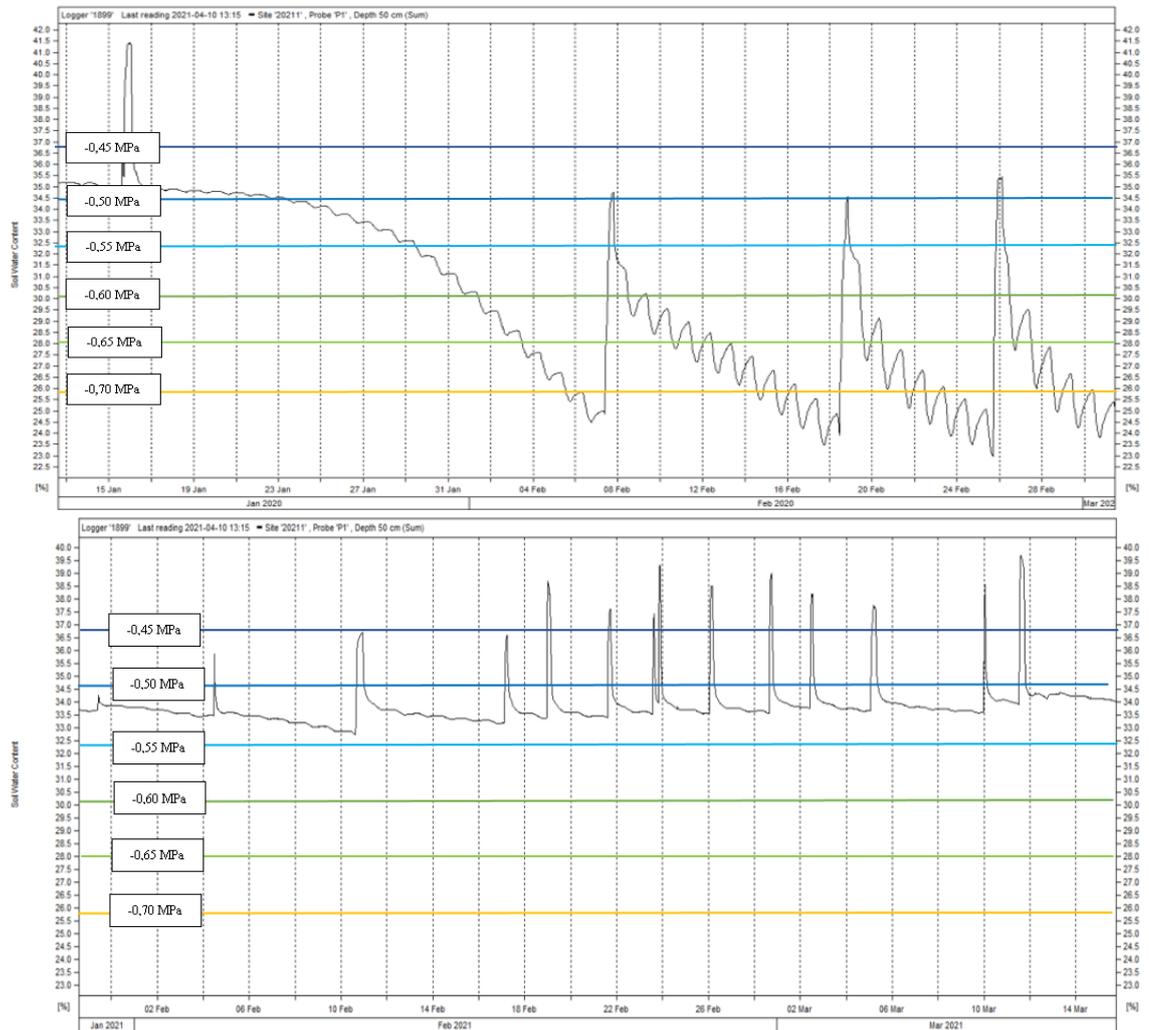


Figura 31. Gráficos con “líneas de potenciales hídricos” generado para la temporada 2019-2020 (superior, T2 frecuencia) y la temporada 2020-2021 (inferior, T2 frecuencia/tiempo).

## Evaluaciones vegetativas

### Área foliar y ASTT

Tanto el largo el largo como el ancho de la hoja se ajustaron a una ecuación potencial con respecto al área foliar (figuras 32 y 33), siendo el ancho de la hoja la que tuvo una mayor asociación con esta variable. Por lo mismo, se escogió esta última función como la que mejor explicaba la relación por sobre el largo de la hoja. La escala de hojas utilizadas para estos efectos se encuentra en Apéndice II.

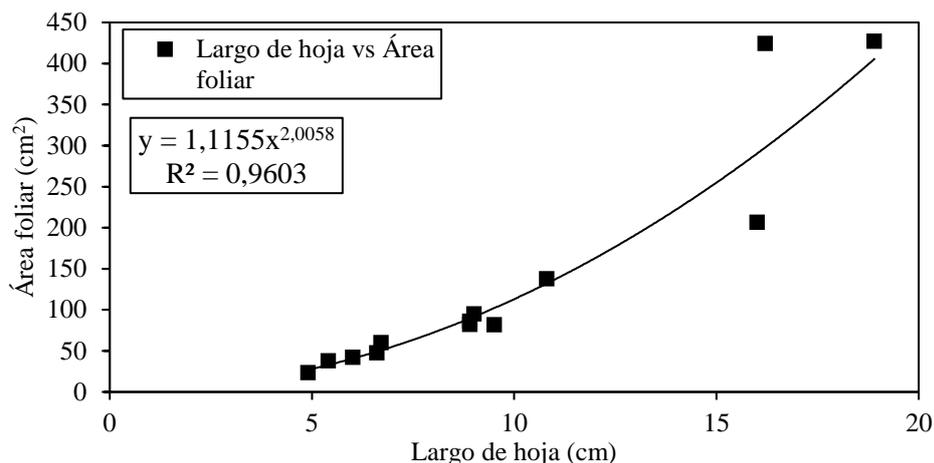


Figura 32. Función generada para la estimación del área foliar a partir del largo de hoja.

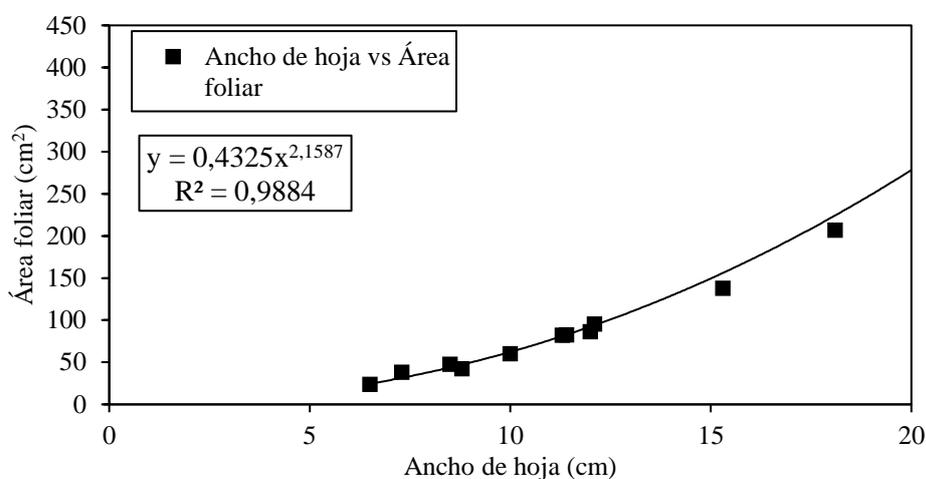


Figura 33. Función generada para la estimación del área foliar a partir del ancho de hoja.

Los resultados anteriores permitieron estimar con gran confiabilidad el área foliar asociada a un brote mediante la medición del ancho de sus hojas, obteniéndose nuevamente una función potencial con una alta correlación entre las variables (Figura 34).

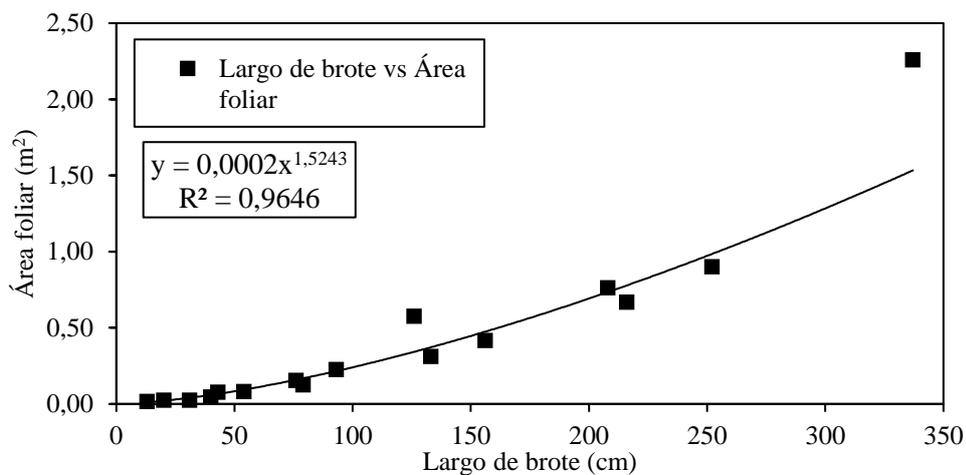


Figura 34. Función generada para la estimación del área foliar a partir del largo de brote.

Como se muestra en el Cuadro 11, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en el área de sección transversal del tronco (ASTT), el área foliar total por planta y el índice de área foliar.

Cuadro 11. Resultado de parámetros vegetativos de la temporada 2019-2020.

Tratamientos	ASTT	Área foliar total por planta	Índice de área foliar
	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> superficie
T1 (control)	27,9 a	18,6 a	2,6 a
T2 (frecuencia)	25,8 a	15,6 a	2,2 a
T3 (tiempo)	23,4 a	16,9 a	2,4 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

### Evaluaciones de calidad y rendimiento

Para la temporada 2019-2020, se presentaron diferencias estadísticas tanto en el rendimiento bruto por planta, considerando todos los racimos con peso igual o mayor a 200 g, como en el rendimiento exportable (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultado de rendimientos de la temporada 2019-2020.

	Rendimiento bruto	Rendimiento bruto	Rendimiento exportable	Rendimiento exportable
	kg por planta <sup>-1</sup>	Número de racimos por planta <sup>-1</sup>	kg por planta <sup>-1</sup>	Número de racimos por planta <sup>-1</sup>
T1 (control)	16,7 a	38,2 a	12,1 a	29,2 a
T2 (frecuencia)	17,8 ab	42,6 ab	14,4 ab	36,2 ab
T3 (tiempo)	21,9 b	46,2 b	16,7 b	37,8 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

Al analizar porcentualmente el rendimiento exportable, es posible advertir que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 13), y solo existió una tendencia en T2 (frecuencia) y T3 (tiempo) a tener menos racimos verdes y un adelantamiento en la cosecha, en comparación a T1 (control).

Cuadro 13. Análisis del rendimiento exportable de la temporada 2019-2020.

	Números de racimos (%)				kg totales (%)			
	Exportables	Verdes	Floreo 1	Floreo 2	Exportables	Verdes	Floreo 1	Floreo 2
T1 (control)	76,1 a	23,9 a	35,9 a	64,1 a	73,2 a	26,8 a	35,3 a	64,7 a
T2 (frecuencia)	84,8 a	15,2 a	43,1 a	56,9 a	81,0 a	19,0 a	43,4 a	56,6 a
T3 (tiempo)	83,5 a	16,5 a	40,2 a	59,8 a	78,5 a	21,5 a	43,9 a	56,1 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

Para la segunda temporada, no se presentaron diferencias estadísticas en ninguno de los parámetros evaluados (Cuadro 14). Cabe destacar que el rendimiento fue mayor en esta temporada en comparación a la temporada 2019-2020, lo que es posible atribuir al efecto combinado de mayor material de poda y a las correcciones en los manejos, como el riego, que se tuvieron en esta temporada.

Cuadro 14. Resultado de rendimientos de la temporada 2020-2021.

	Rendimiento bruto	Rendimiento bruto	Rendimiento exportable	Rendimiento exportable
	kg por planta <sup>-1</sup>	Número de racimos por planta <sup>-1</sup>	kg por planta <sup>-1</sup>	Número de racimos por planta <sup>-1</sup>
T1 (control)	29,66 a	60,30 a	26,07 a	54,20 a
T2 (frecuencia/tiempo)	31,37 a	56,20 a	25,00 a	51,50 a
T3 (tiempo)	28,92 a	58,40 a	25,54 a	49,20 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

Al igual que en la temporada anterior, no hubo diferencia significativa en el análisis de los rendimientos exportables (Cuadro 15) y solo se encontraron tendencias en las que T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo) tendrían un adelantamiento en la cosecha, con respecto a T1 (control).

Cuadro 15. Análisis del rendimiento exportable de la temporada 2020-2021.

	Números de racimos (%)				kg totales (%)			
	Expor- tables	Verdes	Floreo 1	Floreo 2	Expor- tables	Verdes	Floreo 1	Floreo 2
T1 (control)	89,9 a	10,1 a	35,1 a	64,9 a	87,6 a	12,4 a	35,3 a	64,7 a
T2 (frecuencia/tiempo)	89,9 a	10,1 a	41,7 a	58,3 a	82,9 a	17,8 a	42,8 a	57,2 a
T3 (tiempo)	83,9 a	16,1 a	42,9 a	57,1 a	88,0 a	12,0 a	43,9 a	56,1 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

Para la primera temporada, el peso del racimo, número de bayas y peso de raquis, no mostraron diferencias entre los tratamientos en el floreo 2 (Cuadro 16), sin embargo, para el floreo 1, T3 (tiempo) alcanzó 39,4% más de peso de raquis en comparación a T1 (control) y 35,6% g más en comparación a T2 (frecuencia).

Cuadro 16. Análisis del racimo y sus características de la temporada 2019-2020.

	Floreo 1			Floreo 2		
	Peso de racimo g	Número de bayas	Peso de raquis g	Peso de racimo g	Número de bayas	Peso de raquis g
T1 (control)	408,5 a	70,0 a	7,1 b	419,3 a	72,1 a	8,5 a
T2 (frecuencia)	414,3 a	79,9 a	7,3 b	445,5 a	78,1 a	8,7 a
T3 (tiempo)	513,1 a	86,2 a	9,9 a	414,7 a	72,3 a	8,9 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

A nivel de baya, en el floreo 1, T2 (frecuencia) tuvo un menor diámetro ecuatorial, polar y peso en comparación a T1 (control) y T3 (tiempo), es decir, una baya más pequeña y de menor peso, para la medición, situación que solo se repite para el diámetro polar en el floreo 2. Los sólidos solubles fueron iguales en el floreo 1 para todos los tratamientos, pero menor en T3 (tiempo) con respecto a T1 (control) y T2 (frecuencia) en el floreo 2 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de características de la baya de la temporada 2019-2020.

	Floreo 1				Floreo 2			
	Diámetro ecuatorial mm	Diámetro polar mm	Peso de baya g	Sólidos solubles ° Brix	Diámetro ecuatorial mm	Diámetro polar mm	Peso de baya g	Sólidos solubles ° Brix
T1 (control)	19,7 a	22,7 a	6,1 a	17,7 a	19,9 a	23,7 a	6,1 a	18,6 a
T2 (frecuencia)	18,8 b	21,2 b	5,2 b	17,6 a	19,5 a	22,0 b	5,7 a	18,5 a
T3 (tiempo)	20,2 a	22,8 a	6,3 a	17,6 a	20,0 a	23,0 a	6,1 a	17,6 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

En la temporada 2020-2021, como se muestra en el Cuadro 18, no se encontraron diferencias en los sólidos solubles y en el diámetro ecuatorial entre los tratamientos, en los dos floreos realizados, sin embargo, si se encontraron significativas diferencias en el peso de racimos en ambos floreos, y en el diámetro polar en el primer floreo. De esta manera, T3 (tiempo) tuvo racimos 62,4 gramos más pesados en comparación a T1 (control) en el primer floreo, y racimos 52,4 gramos más pesados en el segundo floreo. En cuanto a las diferencias encontradas en el diámetro polar, se aproximan al valor de 1 mm más pequeño en T2 (frecuencia/tiempo) en comparación a T1 (control) y T3 (tiempo).

Cuadro 18. Peso de racimo y características de baya de la temporada 2020-2021.

	Floreo 1				Floreo 2			
	Peso de racimo	Sólidos solubles	Diámetro ecuatorial	Diámetro Polar	Peso de racimo	Sólidos solubles	Diámetro ecuatorial	Diámetro Polar
	g	° Brix	mm	mm	g	° Brix	mm	mm
T1 (control)	478,9 b	20,5 a	21,5 a	26,2 a	472,6 b	20,6 a	20,8 a	26,1 a
T2 (frecuencia/tiempo)	499,8 ab	20,0 a	21,3 a	25,1 b	481,8 ab	20,6 a	21,0 a	25,8 a
T3 (tiempo)	541,3 a	20,0 a	21,3 a	25,9 a	525,0 a	20,5 a	20,7 a	26,0 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

En cuanto al color, en la temporada 2019-2020, solo presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos para el parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) en el primer floreo (Cuadro 19), siendo la mayor dimensión la encontrada entre T1 (control) y T3 (tiempo) con un valor de 6,6 unidades.

Cuadro 19. Resultado del análisis del color de bayas para el floreo 1 de la temporada 2019-2020.

	Floreo 1		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
T1 (control)	18,4 a	14,1 a	1,5 a
T2 (frecuencia)	14,2 b	14,2 a	0,6 a
T3 (tiempo)	11,8 c	15,3 a	1,3 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

En el floreo 2, T1 (control) y T3 (tiempo) fueron iguales entre sí y a su vez diferentes con respecto a T2 (frecuencia) para todos los parámetros medidos.

Cuadro 20. Resultado del análisis del color de bayas para el floreo 2 de la temporada 2019-2020.

	Floreo 2		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
T1 (control)	19,5 a	14,0 a	2,7 a
T2 (frecuencia)	15,6 b	11,4 b	0,3 b
T3 (tiempo)	17,7 a	13,9 a	2,1 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

La categorización comercial del color de los racimos cosechables realizada en la temporada 2020-2021 (Cuadro 21) muestra que se encontraron diferencias significativas, no obstante, estas diferencias se visualizaron únicamente en el primer floreo. De esta manera se obtuvo que T3 (tiempo) tuvo menos racimos ‘rosados’ y más racimos ‘rojo oscuro’ cosechados, en comparación a T2 (frecuencia/tiempo), pero en igual proporción que T1 (control), mientras que, no se encontraron diferencias estadísticas en estos parámetros entre T1 (control) y T2 (frecuencia/tiempo).

Cuadro 21. Categorización comercial del color del racimo de la temporada 2020-2021.

Tratamientos	Floreo 1		Floreo 2	
	Rosado	Rojo oscuro	Rosado	Rojo oscuro
	%	%	%	%
T1 (control)	41,8 ab	58,2 ab	62,6 a	39,0 a
T2 (frecuencia/tiempo)	56,0 a	44,0 b	61,9 a	37,8 a
T3 (tiempo)	31,8 b	68,2 a	60,7 a	48,5 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

En la cobertura de la baya se encontraron diferencias estadísticas únicamente entre T1 (control) y T3 (tiempo) para el primer floreo. De esta manera, en este floreo, T3 (tiempo) tuvo un 19,6% más de bayas cubiertas totalmente, incluso en el ‘cierre’ de la baya en la zona pedicelar en comparación a T1 (control), como se muestra en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Categorización de la cobertura total de la baya y a nivel de la zona pedicelar de la temporada 2020-2021.

	Floreo 1					Floreo 2				
	Cobertura total de baya			Cobertura a nivel de la zona pedicelar		Cobertura total de baya			Cobertura a nivel de la zona pedicelar	
	2	3	4	1	2	2	3	4	1	2
	%									
T1 (control)	0,6 a	43,2 a	56,3 b	43,5 a	56,5 b	9,0 a	49,0 a	42,0 a	65,4 a	34,6 a
T2 (frecuencia)	1,2 a	38,2 ab	60,6 ab	40,0 ab	60,0 ab	10,1 a	38,5 a	52,0 a	66,5 a	33,5 a
T3 (tiempo)	0,6 a	23,8 b	75,9 ab	23,9 b	76,2 ab	8,5 a	36,9 a	54,6 a	54,8 a	45,3 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

Para el análisis de la firmeza de la primera temporada, se encontraron diferencias estadísticas entre T2 (frecuencia) con respecto a T1 (control) y T3 (tiempo) para la elasticidad de la piel y el coeficiente de elasticidad (Cuadro 23).

Cuadro 23. Resultado del análisis de firmeza de bayas de la temporada 2019-2020.

	Floreo 1			Floreo 2		
	Elasticidad	Fuerza máxima	Coef. elasticidad	Elasticidad	Fuerza máxima	Coef. elasticidad
	mm	N	N mm <sup>-1</sup>	mm	N	N mm <sup>-1</sup>
T1 (control)	-10,57 a	3,47 a	0,33 a	-6,67 a	3,63 a	0,55 a
T2 (frecuencia)	-11,28 b	3,27 a	0,29 b	-7,56 b	3,40 a	0,45 b
T3 (tiempo)	-10,18 a	3,31 a	0,33 a	-6,91 a	3,51 a	0,51 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

En cuanto al desgrane, T2 (frecuencia) mostró un 1,1% más con respecto a T1 (control) y a T3 (tiempo). Por otro lado, en T1 (control) se observó un mayor porcentaje en la categoría de menor daño del raquis en comparación con T2 (frecuencia) y T3 (tiempo), como se ve en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Análisis de desgrane y daño del raquis de la temporada 2019-2020.

	Desgrane de racimos	Aspecto o daño del raquis				
		1	2	3	4	5
	%	%	%	%	%	%
T1 (control)	2,0 b	0,0 a	0,0 a	0,0 a	71,4 a	28,6 b
T2 (frecuencia)	3,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	46,4 b	53,6 a
T3 (tiempo)	2,0 b	0,0 a	0,0 a	3,1 a	45,9 b	51,0 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la misma fecha ( $p \leq 0,05$ ) según la prueba de LSD Fisher.

## Evaluaciones de riego

### Volumen de agua de riego acumulado, eficiencia en el uso del agua y ahorro de energía eléctrica.

En la temporada 2019-2020, previo a envero, el agua aplicada para todos los tratamientos fue de 7.187 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Los detalles del riego, en cada uno de los tratamientos, se observan en el Cuadro 25, mientras que el riego acumulado, la ETo y ETc utilizada en el periodo de envero a cosecha, se observa en la Figura 34.

Cuadro 25. Resumen del riego de la temporada 2019-2020.

	Nº de riegos de enero a cosecha	Volumen de agua aplicada por riego $m^3 ha^{-1}$	Volumen de riego aplicado desde enero a cosecha $m^3 ha^{-1}$	Volumen de riego total aplicado en la temporada $m^3 ha^{-1}$
T1 (control)	11	343	3.771	10.958
T2 (frecuencia)	4	305	1.221	8.408
T3 (tiempo)	9	129	1.249	8.466

De esta manera, considerando solo el periodo desde enero a cosecha, T2 (frecuencia) utilizó el 32,4% y T3 (tiempo) un 33,1% del agua de riego en comparación a T1 (control), logrando, en ambos casos, un ahorro del orden del 67% en el recurso hídrico en esa etapa. Por otro lado, considerando la temporada completa, el valor de ahorro es de un 23% para ambos tratamientos de restricción hídrica. En la Figura 35 se muestra la dinámica del riego acumulado, además de la ETo y ETc para utilizada para cada tratamiento en el periodo de enero a cosecha en la primera temporada. Cabe destacar que para T3 (tiempo) ocurrió una pequeña inundación de seis horas de duración aproximadamente en el día 36 después de enero, sin embargo, el sensor ubicado a 10 cm mostró variación producto de esto por tres horas, por lo que se consideró un aporte adicional de  $86 m^3 ha^{-1}$  para este tratamiento. Esta inundación solo afectó a las plantas 4 y 5 ubicadas en el bloque 1 en donde se ubicó la sonda de T3 (tiempo; ver Figura 2).

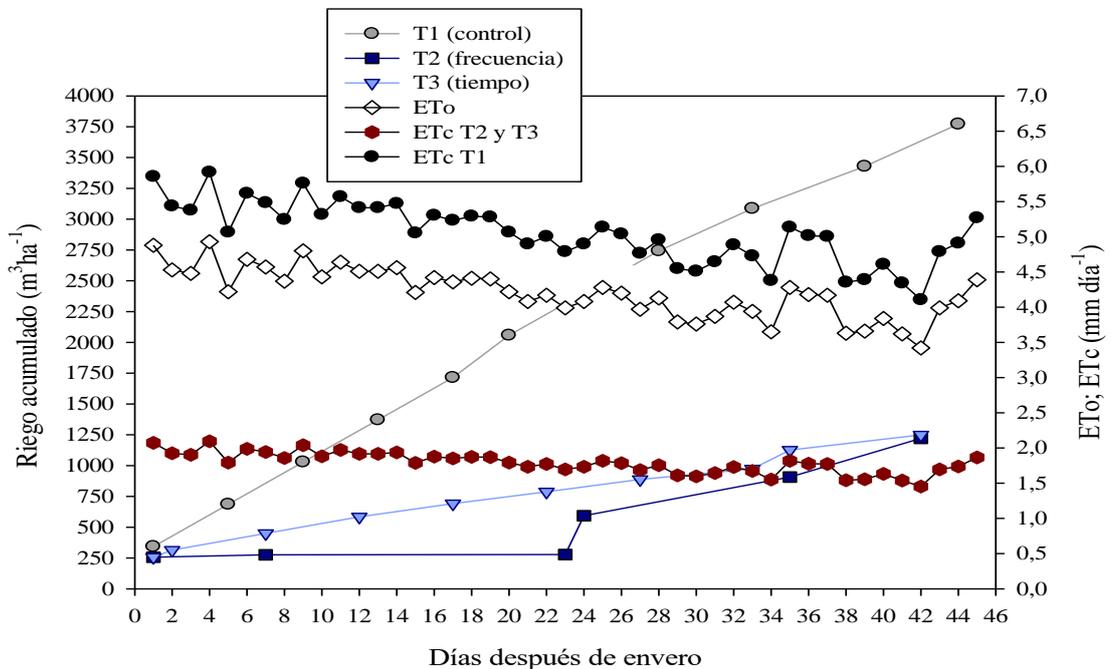


Figura 35. Riego acumulado para T1 (control), T2 (frecuencia) y T3 (tiempo); ETo diaria y ETc diaria calculada para el control y los demás tratamientos, para el periodo desde enero a cosecha en la temporada 2019-2020.

En la temporada 2020-2021, previo a enero, se utilizaron  $5.543 m^3 ha^{-1}$  para todos los tratamientos. La menor cantidad de agua aplicada en comparación a la primera temporada

se atribuye, principalmente, al ajuste de Kc utilizado en toda la temporada, detallado en la sección de ‘determinación de ETc’ de ‘manejo del experimento’. Adicionalmente, en esta temporada hay que agregar que el día 30 de enero, ocurrió una lluvia equivalente a 20 mm (Figura 5), constatándose un aporte efectivo en el sector del ensayo y según el primer sensor de las sondas de 174 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de agua. De la misma manera, se agregaron 860,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de agua aplicada al cálculo de volumen de riego total aplicado en la temporada, que fueron estimados para considerar el manejo de postcosecha. Los detalles del riego, en cada uno de los tratamientos, se observan en el Cuadro 26.

En este caso, tanto el riego acumulado como la ETo y ETc utilizada para cada tratamiento en el periodo de envero a cosecha, se grafican en la Figura 36.

Cuadro 26. Resumen del riego de la temporada 2020-2021.

	Nº de riegos de envero a cosecha	Volumen de agua aplicada por riego m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen de riego aplicado desde envero a cosecha m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen de riego total aplicado en la temporada m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
T1 (control)	9	241	2.171	8.574
T2 (frecuencia/ tiempo)	11	116	1.281	7.689
T3 (tiempo)	9	127	1.147	7.550

En esta temporada, T2 (tiempo/frecuencia) utilizó un 59,0% de agua de riego de T1 (control), mientras que T3 (tiempo) un 52,9%, logrando porcentajes de ahorro del 41,0% para T2 (frecuencia/tiempo) y del 47,2% en T3 (tiempo) para el periodo estudiado. Al considerar la temporada completa, el valor de ahorro es entre un 10 y 11% para ambos tratamientos, en comparación a T1 (control).

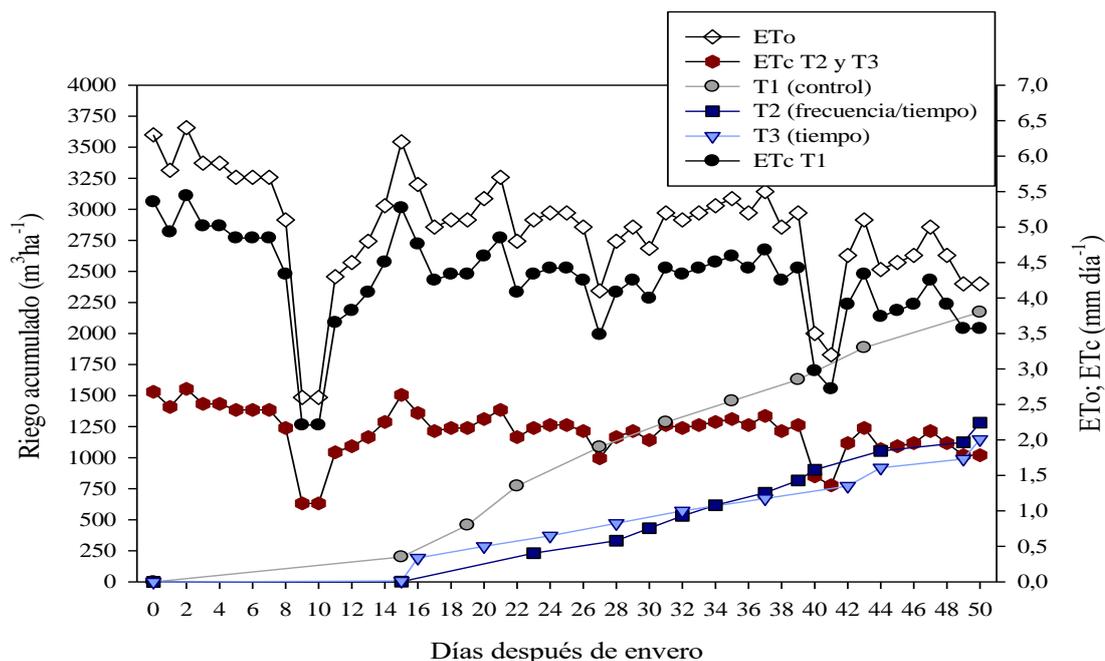


Figura 36. Riego acumulado para T1 (control), T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo); ETo diaria y ETc diaria calculada para el control y los demás tratamientos, para el período desde enero a cosecha en la temporada 2020-2021.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua, los valores de ambas temporadas, considerando al rendimiento bruto y el exportable se muestran en el Cuadro 27.

En ambas temporadas, T3 (tiempo) fue el tratamiento con un valor más alto de eficiencia del agua, mientras que y T1 (control) fue el tratamiento con menor valor en este parámetro, considerando el rendimiento exportable. El aumento en los valores de una temporada a otra se atribuye a las mayores producciones y las disminuciones en el agua de riego aplicada en la temporada 2020-2021 en comparación a la temporada 2019-2020. Cuadro 27. Eficiencia en el uso del agua para todos los tratamientos en ambas temporadas.

Eficiencia en el uso del agua					
kg m <sup>-3</sup>					
Temporada 2019-2020			Temporada 2020-2021		
Tratamientos	Rendimiento bruto	Rendimiento exportable	Tratamientos	Rendimiento bruto	Rendimiento exportable
T1 (control)	2,2	1,6	T1 (control)	4,9	4,3
T2 (frecuencia)	3,0	2,4	T2 (frecuencia/tiempo)	5,8	4,6
T3 (tiempo)	3,7	2,8	T3 (tiempo)	5,5	4,8

Adicionalmente, se calculó el ahorro en el costo de energía eléctrica por hectárea, utilizado para movilizar el agua hacia las líneas de riego, con respecto al control. Para esto, se consideró un costo promedio de \$100 por m<sup>-3</sup> de agua movilizadora, como se señala en el Cuadro 28. Como era de esperar, el mayor ahorro monetario se produjo en la temporada 2019-2020, alcanzando incluso el monto de \$255.000.

Cuadro 28. Ahorro del costo eléctrico asociado al riego logrado en ambas temporadas.

Ahorro del costo eléctrico			
\$ ha <sup>-1</sup>			
Temporada 2019-2020		Temporada 2020-2021	
T2 (frecuencia)	255.000	T2 (frecuencia/tiempo)	88.500
T3 (tiempo)	249.200	T3 (tiempo)	102.400

## DISCUSIÓN

En la primera temporada, T1 (control) mostró valores más altos de contenido de agua de riego que la siguiente temporada, con porcentajes de humedad evidentemente por sobre la capacidad de campo en profundidades mayores a 40 cm, cuyos valores para suelos franco-arcillosos rondarían entre 23 y 31% (Ferreya y Sellés, 2013). Esto va acompañado de una baja actividad radical observada en estas profundidades, sugerido por bajas magnitudes de escalones de absorción de agua en comparación al resto de los tratamientos, lo que ratifica que el volumen de agua aplicada y el tiempo de riego previo al inicio del ensayo fueron mayores a los óptimos, provocando, probablemente un menor contenido de oxígeno y mayor percolación profunda (Callejas *et al.*, 2011; Sellés *et al.*, 2012; Campos, 2016; Fernández, 2018).

Las raíces de las plantas usualmente experimentan períodos transitorios de ausencia de O<sub>2</sub> cuando los suelos son regado hasta saturación (Bhattarai, 2005), si estas condiciones persisten, pueden conllevar a que se afecte tanto el metabolismo de las raíces como el contenido y difusión de oxígeno en la rizósfera, dificultando la absorción de agua y el crecimiento radical (Armstrong y Drew, 2002; Bhattarai, 2005; Ferreyra *et al.*, 2011), pudiendo repercutir fisiológica y comercialmente (Sellés *et al.*, 2012). No obstante, generalmente el encharcamiento del suelo no origina cambios en el potencial hídrico de las plantas y, en consecuencia, no produce un estrés primario asociado a bajos niveles de potencial hídrico (Pardo, 2004; Bhattarai, 2005). Esto último se pudo observar en T1 (control), ya que durante todo el ensayo las plantas no presentaron algún grado de estrés hídrico (Ferreya *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009; Gálvez, 2011; Navarrete, 2012; Gálvez *et al.*, 2014). Lo anterior, unido a la descripción de la evolución del contenido de humedad del suelo realizada previamente, coincidiría con los comportamientos reportados por autores como Centeno *et al.* (2010) y Williams *et al.* (2010), en donde potenciales hídricos más altos fueron alcanzados con tratamientos de riego más intensivos.

En vides, un adecuado desarrollo y actividad de raíces se obtiene con contenidos de oxígeno en el suelo del orden de 12 a 15% (Sellés *et al.*, 2003) lo que probablemente ocurrió en T2 (frecuencia) donde hubo un mayor agotamiento del agua del suelo que llevó los contenidos de humedades a valores menores del 35% (Figura 10), incrementándose el déficit diario (escalones) determinado por las sondas de capacitancia. Esto a su vez permitió una mayor actividad radical a 30, 50 y 100 cm lo que se reflejó en la aparición de escalones de absorción desde el 27 de enero al 07 de febrero, generando una leve mejora en la condición hídrica de las plantas (ver Cuadro 4 y Figura 21) sin haber existido riego, repercutiendo en un aumento en el potencial hídrico en las mismas fechas. Por otro lado, el potencial hídrico en este tratamiento tuvo un comportamiento similar a lo observado por Prats-Llinàs *et al.* (2019) en regímenes de riego de igual dinámica, obteniendo valores  $\Psi_{xm}$  entre -0,68 y -0,85 MPa, logrando inducir cierto nivel de estrés. Lo anterior también ocurrió, aunque en menor grado, en T3 (tiempo).

Durante la primavera de la temporada 2020 y previo a la ejecución de los tratamientos, se observa una mayor magnitud en los escalones de absorción mostrados por las sondas de capacitancia FDR como respuesta al ajuste del tiempo y frecuencia de riego debido a los nuevos cálculos de la evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>). Adicionalmente, el comportamiento de los potenciales xilemáticos, dejan de manifiesto que se optimizó el

criterio de riego respecto de la temporada anterior. El tratamiento T1 (control) alcanzó un estrés hídrico de leve a medio, asociado a  $\Psi_{xm}$  entre -0,68 y -0,85 MPa, mientras que T2 (frecuencia/tiempo) y T3 (tiempo) presentaron los niveles de estrés más importantes asociados a  $\Psi_{xm}$  entre -0,85 y -1,0 MPa en gran parte del periodo transcurrido entre envero y cosecha. Esto último se asemeja a lo observado en estudios de riego deficitario controlado en condiciones de clima mediterráneo (España), en variedades como Crimson Seedless (Conesa *et al.*, 2014; Faci *et al.*, 2014; Conesa *et al.*, 2016; Pinillos *et al.*, 2016; Conesa *et al.*, 2018, Calderón-Orellana *et al.*, 2019). Por otro lado, las diferencias encontradas entre temporadas se podrían explicar por el efecto de menores aportes de agua de riego debido al ajuste en el  $K_c$ , que generó menores contenidos de agua en el suelo al inicio del ensayo, lo que es posible de visualizar en las sondas de capacitancia y en los valores de potenciales hídricos antes de comenzar con los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC). Por último, los valores encontrados en la integral de estrés acumulada coinciden con tratamientos similares de otros ensayos (Martínez, 2015, Conesa *et al.*, 2018).

En la búsqueda de la modelación del comportamiento hídrico de las plantas la constante condición de humedad del suelo presente a 10, 30 y 100 cm para T2 (frecuencia) y en todos los sensores de T1 (control), sumado a las leves variaciones del potencial hídrico ocurridas en este último tratamiento, provocaron que no se encontraran resultados positivos en las correlaciones generadas entre ambos parámetros en las situaciones descritas anteriormente, lo que coincide con los resultados de Williams *et al.* (2002), Intrigliolo y Castel (2006), Centeno *et al.* (2010), Sellés *et al.* (2012), Navarrete (2012) y Barrera (2016) en vides y Martínez-Gimeno *et al.* (2020) en mandarinos, en donde tratamientos con comportamientos similares, no se presentaron correlaciones positivas mientras que si las hubo a altas variaciones de  $\Psi_{xm}$  y contenidos de humedad de suelo en diferentes profundidades.

Las correlaciones más altas encontradas a los 50 cm del suelo en la primera temporada, sugieren que, en su mayoría las raíces absorbentes se encontraban en aquella profundidad y/o que las raíces a estas profundidades podrían tener una mayor importancia relativa sobre el potencial hídrico xilemático en comparación a las ubicadas en otras profundidades, coincidiendo con lo descrito por Centeno *et al.* (2010) y Sellés *et al.* (2012), aunque esto dependería de la distribución radical, la capacidad de exploración de raíces del patrón o portainjertos, la edad de las plantas, las condiciones de suelo que permitan o impidan el crecimiento radical, entre otros. De aquí la importancia que, para un correcto uso de las sondas de capacitancias de monitoreo continuo, es necesario que sean instaladas en la zona de mayor densidad de raíces (Vera *et al.*, 2009) y que los ciclos de riego permitan una oscilación clara del contenido de agua del suelo entre los niveles de lleno y el punto de recarga, asegurándose un óptimo equilibrio entre agua y oxígeno.

Por otro lado, la validación del modelo estaría sujeta a la homogeneidad, principalmente en el estado hídrico, que cuentan los grupos de plantas con los que se generan los valores predichos y observados a partir de las ecuaciones. Una alta heterogeneidad implicaría bajos  $R^2$ , con lo que la predicción del  $\Psi_{xm}$  fluctuaría entre rangos más altos, resultando en una estimación menos exacta y una menor precisión al definir los manejos y parámetros de riego.

Las “líneas de potencial hídrico” o líneas de relleno en la zona de inicio de estrés (RZIE), generadas en la primera temporada en base al modelo, no coincidieron con los potenciales

observados en la segunda temporada, lo que indicaría que tanto los modelos generados como los gráficos de serían válidos únicamente para la temporada en la que se generan, al ser altamente dependientes de las características del suelo como compactación y capacidad de almacenamiento de agua, la distribución y volúmenes de riego, el uso de las reservas de agua del suelo encontradas a mayores profundidades, en el área de la entre hilera y fuera del bulbo de mojamiento que son imperceptibles por los sensores (Sellés *et al.*, 2012 y Barrera, 2016), la demanda atmosférica y cobertura vegetal (García-Tejera *et al.*, 2021), el crecimiento y/o exploración radical, entre otros factores.

El índice de área foliar estimado para todos los tratamientos varió entre 2 y 3 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> y según Netzer *et al.* (2008) está asociado a un Kc de 0,7 y 0,8 para la variedad Superior Seedless conducida en un Open Gable. Este Kc coincide con el valor estimado para la corrección del Kc teórico. Lo anterior sugiere que los montos de restricción hídrica aplicados fueron bien estimados y que la cobertura foliar no se vio afectada por los tratamientos aplicados en la primera temporada. También, tal como lo reportaron Munitz *et al.* (2019), es posible mencionar que medir el área foliar total de las plantas a través de métodos como los mostrados por Williams y Martinson (2003), sería un método confiable para estimar Kc de forma localizada.

Por otro lado, se ha mencionado que en la vid, la maquinaria fotosintética pareciera ser muy tolerante a leves, e incluso medianos, niveles de déficit hídrico (Chaves *et al.*, 2010) y aunque los  $\Psi_{xm}$  alcanzados en este ensayo pudieran provocar descensos en la transpiración, conductancia estomática y conductancia hidráulica (Gambetta *et al.*, 2020), estudios como los desarrollados por Martínez (2015), Conesa *et al.* (2016) y Conesa *et al.* (2018), señalan que en variedades como Crimson Seedless, con similares potenciales hídricos xilemáticos alcanzados al de este estudio en el periodo de envero a cosecha, no se afectaría tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> y por ende, no se reduciría la fotosíntesis ni el rendimiento. A su vez, los resultados que muestran a T3 (tiempo) con un mayor rendimiento exportable en comparación a T1 (control) en la temporada 2019-2020, coinciden con lo reportado por otros autores (Faci *et al.*, 2014; Conesa *et al.*, 2014; Pinillos *et al.*, 2016; Conesa *et al.*, 2016; Conesa *et al.*, 2018; Calderón-Orellana *et al.*, 2019) puesto que se ha mencionado que el empleo del RDC aumentaría, en un porcentaje variable, el rendimiento exportable.

Uno de los parámetros de exportación más importantes en la uva de mesa, es el calibre en que es clasificado el racimo al ser exportado. Según Keller (2020), el 15% del tamaño final de la baya se genera a partir de la fase III de crecimiento asociada a envero, por lo que probablemente, el largo periodo de carencia de riego ocurrido para T2 (frecuencia y posteriormente frecuencia/tiempo) en ambas temporadas, pudo afectar el crecimiento de la baya, provocando que se tengan bayas levemente más pequeñas, redondas y ligeras en comparación al resto de tratamientos. Esto coincide con lo descrito por Baeza *et al.* (2007) Sellés *et al.* (2012), Conesa *et al.* (2014) y Bozkurt y Yazar (2017), quienes señalan que el volumen de riego está estrechamente relacionado con el volumen de la baya en sus diferentes etapas de crecimiento.

Adicionalmente, hay que considerar que el tratamiento que presentó un mayor índice de estrés hídrico acumulado y un menor potencial hídrico xilemático entre ambas temporadas, no fue el que tuvo un menor tamaño de baya, por lo que, en la aplicación del RDC no solo sería preponderante el valor de  $\Psi_{xm}$  alcanzado, sino que también lo sería la manera en la que se genera el estrés a través de esta restricción hídrica (alterando

frecuencia o tiempo de riego) lo que se ha reportado en otros ensayos (Intrigliolo y Castel, 2009).

Bajo este contexto, la importancia del potencial hídrico alcanzado radicaría en que existe una estrecha relación entre la tasa de flujo de agua y el gradiente de potencial hídrico entre la planta y la fruta, siendo una gran determinante la presión osmótica, a su vez, en gran medida determinada por la concentración de solutos en la baya. Esto haría que la tasa de aumento del volumen y tamaño de la baya sea proporcional a la tasa de aumento de solutos de la misma (Coombe, 1992; Guichard *et al.*, 1999; Coombe y McCarthy, 2000; Matthews y Shackel, 2005; Castellarin *et al.*, 2011; Knipfer *et al.*, 2015). A raíz de esto, podría pensarse que aquellos tratamientos que cuenten con potenciales xilemático más negativos tendrían un menor diferencial de presiones entre la planta y la baya, lo que sumado a la menor disponibilidad de agua del suelo, podrían conllevar a un menor flujo de agua hacia la fruta.

Estudios en la variedad Superior Seedless expuestas bajo condiciones de déficit hídrico en envero, muestran que en similares tratamientos de riego aplicados y en plantas con potenciales hídricos cercanos a los alcanzados en este estudio, podrían provocar una mayor cantidad y concentración del ABA presente en el xilema, hojas y bayas, en comparación a plantas bien hidratadas (Antolín *et al.*, 2008). Este aumento del ABA sería provocado tanto por la disminución del  $\Psi_{xm}$  como el secamiento de las raíces presentes en el bulbo de mojamiento (Chaves *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2017; Gambetta *et al.*, 2020). Aumentos en las cantidades y concentraciones de ABA, provocarían mayores cantidades de antocianos en la piel de las bayas de variedades rojas de uva (Chaves *et al.*, 2007; Conesa *et al.*, 2016; Olivares *et al.*, 2017) ya que esta hormona estaría altamente involucrada en las rutas de síntesis de estos pigmentos (Peppi, 2017; Chaves-Silva *et al.*, 2018).

Se ha reportado en el cultivar Cabernet Sauvignon, que tratamientos de reducciones del 60% de la ETC enmarcados en el déficit hídrico controlado, han generado mayor acumulación de antocianinas, especialmente asociadas a la malvidina, que se relacionan con colores más azules y tonos más oscuros (Yan-lun *et al.*, 2019). Resultados similares se han obtenido en la variedad Merlot, en donde el potencial hídrico foliar alcanzado fue de -1,4 MPa desde envero (Bucchetti *et al.*, 2011), mientras que en uva de mesa se ha reportado un comportamiento semejante para la variedad Crimson Seedless al alcanzar valores de -1,2 MPa de potencial hídrico foliar (Conesa *et al.*, 2016). Esto explicaría los resultados presentes en los cuadros 19 y 20, ya que los tratamientos que alcanzaron potenciales hídricos más negativos y que tuvieron menores frecuencias de riego, presentaron colores más oscuros asociados a menores valores de  $L^*$  Faci *et al.* (2014), Martínez (2015), Pinillos *et al.* (2016) y Calderon-Orellana *et al.* (2019).y menores valores en  $a^*$  y  $b^*$ , lo que también coincide con Faci *et al.* (2014) y Calderon-Orellana *et al.* (2019).

Lo anterior, sumado a las tendencias encontradas en la primera temporada y a los resultados encontrados en la segunda temporada que muestran mayores porcentajes de fruta cosechada en los primeros floreos, mayor cantidad de fruta clasificada como 'full color' y mayor grado de cubrimiento de la baya en los tratamientos con mayor estrés o restricción hídrica, podrían sugerir que existe un mayor grado de madurez de la fruta (Castellarin *et al.* 2011) en los tratamientos de riego deficitario controlado, lo que se

ajusta a lo encontrado por otros autores como Ferreyra *et al.* (2001), Conesa *et al.* (2016), Calderon-Orellana *et al.* (2019) y Pinillos *et al.* (2020).

En cuanto a la concentración de los sólidos solubles la información es bastante debatible, puesto que existen autores como Bozkurt y Yazar (2017) y Calderon-Orellana *et al.* (2019) en cuyos resultados se obtuvo un aumento en esta variable a medida que se impartieron tratamientos con mayor déficit hídrico, mientras que otros como Faci *et al.* (2014), Conesa *et al.* (2014), Martínez (2015), Pinillos *et al.* (2016) y Pinillos *et al.* (2020) no reportan diferencias a similares valores de  $\Psi_{xm}$  alcanzado. Para efectos de este estudio, los resultados mostrados en el Cuadros 17, muestran que la única diferencia encontrada fue de un grado brix menor para T3 (tiempo) en el segundo floreo de la primera temporada. Es posible presumir que los aumentos en los sólidos solubles también podrían asociarse a un estado de madurez más avanzado en T3 (tiempo), ya que a medida que la fruta avanza en su estado de madurez, acumularía más azúcares (Vargas *et al.*, 2000 y Vargas *et al.*, 2001).

Por otro lado, los resultados mostrados en el Cuadro 23, sugieren que para ambos floreos de la temporada 2019-2020, las bayas se encontraban blandas en comparación con otros resultados encontrados en Thomson Seedless (Vargas *et al.*, 2001). También se encontraron diferencias en la elasticidad entre T2 (frecuencia) y el resto de los tratamientos, lo que no coincide con la mayoría de los autores, ya que en estudios rara vez se han encontrado efectos del RDC sobre la firmeza y sus parámetros, aunque sí se reporta que la nula aplicación de riego, en climas mediterráneos, la afecten (Conesa *et al.*, 2014). Al respecto, se ha mencionado que la firmeza y turgencia de los frutos está en estrecha dependencia con la entrada de agua producto de fenómenos osmóticos (Brayovic, 2010; Callejas-Rodríguez *et al.*, 2011) y del volumen de agua aplicada (Conesa *et al.*, 2014), por lo que el mayor periodo sin riego ocurrido en este tratamiento podría contribuir a explicar estos resultados. Adicionalmente, se ha demostrado que a medida que avanza el estado de madurez, implicando una evolución en los sólidos solubles, habría un menor valor de pendiente o coeficiente de elasticidad (Vargas *et al.*, 2000), lo que coincide con que el tratamiento con mejor elasticidad tenga un leve pero significativamente mayor contenido de sólidos solubles.

Las evaluaciones realizadas en postcosecha, muestran que en general se encontraron altos niveles de deshidratación de raquis para todos los tratamientos, los que podrían estar condicionados por el efecto del genotipo. Según Defilippi (2020), hay un gran efecto de la variedad en la relación entre el nivel de pérdida de agua del raquis y el desarrollo de síntomas de pardeamiento del mismo, y 'Timco' podría, eventualmente, encontrarse clasificada como una variedad con mayor sensibilidad a la deshidratación del raquis (información de expertos calificado por observaciones de campo). Adicionalmente, otra posibilidad sería un eventual e inadecuado manejo de la fruta en postcosecha. Por otra parte, los mayores daños encontrados en la fruta se tuvieron en los tratamientos de restricción hídrica, lo que podría estar asociado a un mayor estado de madurez en el cual se cosechó la fruta de estos tratamientos en comparación a T1 (control). Se ha encontrado que hay un mayor daño en el aspecto del raquis, posterior a 60 días bajo cero y a 60 días bajo cero más dos días a 20°C, en fruta que fue cosechada con un mayor estado de madurez, al igual que se ha reportado que mayores niveles de etileno también están asociados a estos efectos (Defilippi, 2020). En cuanto al desgrane, los resultados coinciden con lo encontrado por Conesa *et al.* (2014) en donde se muestra que

eventualmente podría existir un leve aumento en este parámetro, lo que también se podría explicar por el mayor estado de madurez de la fruta.

Para las dos temporadas, ambos tratamientos de uso de las sondas de capacitancia FDR en la programación del riego deficitario controlado, mostraron importantes disminuciones del consumo del agua con respecto a la programación con datos climáticos de T1 (control), presentando porcentajes de ahorro de agua similares a lo observado en otros estudios como los valores de 37% máximo ahorro en Adam *et al.* (2008), 24% en Martínez (2015) y 41,2 % en Fernández (2018) en donde se utiliza esta misma tecnología.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua, los resultados en la primera temporada fueron menores en comparación a los obtenidos por otros autores como López (2015), quién trabajando con la variedad Thompson Seedless obtuvo valores entre 6 a 9 kg de producción bruta y 4 kg exportable, por m<sup>3</sup> de agua aplicada. Lo anterior coincidiría a lo observado en la segunda temporada de este estudio y sería similar a lo encontrados en la variedad Royal (Bozkurt y Yazar, 2017). Por lo tanto, estas diferencias entre temporadas estarían dadas por las modificaciones en las pautas de riego que abarcaron solo la etapa de envero a cosecha en la primera temporada y que se dieron para toda la duración de la segunda temporada, por las mejoras en las condiciones de aireación del suelo en la segunda temporada, apoyado en que existe una alta relación entre potencial productivo y cantidad y/o actividad de raíces absorbentes (Callejas-Rodríguez *et al.*, 2012) y por la entrada en plena producción que tuvieron las plantas del campo.

A partir de los resultados obtenidos en ambas temporadas, es posible hipotetizar que el problema de falta de color que ocurre usualmente en vides podría estar más asociado a un exceso de riego de lo que actualmente se piensa, puesto que las correcciones en este manejo que se produjeron de una temporada a otra contribuyeron a tener una mejora en el desarrollo del color incluso en T1 (control) en la temporada 2020-2021, con mayor carga, en comparación a la temporada anterior en la que fue evidente el exceso de riego.

De la misma manera, se cree que una estrategia de riego basada en la metodología realizada por Navarrete (2012) y Gálvez *et al.* (2014) desde brotación a pinta, la aplicación del RDC según la alteración del tiempo de riego y hasta valores de  $\Psi_{xm}$  cercanos a -0,9 MPa entre envero y cosecha, acompañado de una correcta determinación de Kc y la incorporación de la tecnología proporcionada por las sondas de capacitancia tipo FDR, tendría un gran potencial en el manejo del riego en cultivos como la vid de mesa, principalmente en condiciones de limitación en la disponibilidad hídrica, ya que permitirían reducir drásticamente los volúmenes de agua utilizados en el campo.

Cabe mencionar que en la aplicación de esta estrategia de riego es muy importante reestablecer los niveles óptimos de potencial hídrico posterior a cosecha, puesto que hay estudios recientes sugieren que a niveles constantes de potencial hídrico xilemático cercano a -1,1 MPa, se adelantaría la senescencia y con ello disminuiría el área foliar tempranamente (Prats-Llinàs *et al.*, 2019).

## CONCLUSIÓN

De acuerdo con las condiciones en que se realizó el estudio, se concluye:

1. La aplicación del RDC mediante la alteración de la frecuencia de riego, alcanzando valores de  $\Psi_{xm}$  de -0,85 MPa, permite adelantar la madurez de la fruta y mejorar aspectos de color de racimo al generar tonos más oscuros y mayor grado de cobertura de la baya, sin embargo, afecta negativamente el diámetro polar, ecuatorial y el peso de baya, además de presentar una tendencia hacia un mayor daño de raquis.
2. La aplicación del RDC mediante la alteración del tiempo de riego, alcanzando valores de  $\Psi_{xm}$  de -0,90 MPa, permite adelantar la madurez de la fruta y mejorar aspectos de color de racimo al generar tonos más oscuros y mayor grado de cobertura de la baya, sin tener implicancias negativas en el rendimiento, calidad y área foliar de las plantas; el grado de estrés que se puede lograr con este tratamiento dependerá del contenido de agua antes del inicio de envero y su impacto en la condición hídrica de las plantas, tal como se muestra en la integral de estrés.
3. El empleo del RDC permite disminuir los montos de riego hasta en un 59% entre envero y cosecha y un 23% durante toda la temporada, aumentando en un 18% la eficiencia en el uso del agua y disminuyendo en 255.000 \$ ha<sup>-1</sup> los costos de energía eléctrica asociada al riego.
4. El uso de sondas de capacitancia FDR permite mejorar la gestión del riego, sin embargo, se concluye que las LG generadas son válidas mientras se mantengan las condiciones en las que se generan estas correlaciones, principalmente la densidad de raíces en el perfil del suelo.

**LITERATURA CITADA**

Adam, V., P. J. Ferrer, L. Bonet, J. Vera, J. Senchermés y E. Sanz. 2008. El uso de sondas capacitivas multisensor en comunidades de regantes y el ahorro de agua en la comunidad valenciana.

Antolín M.C., H. Santesteban, E. Santa María, J. Aguirreolea and M. Sánchez-Díaz. 2008. Involvement of abscisic acid and polyamines in Berry ripening of *Vitis vinífera* (L.) subjected to wáter deficit irrigation. Australian Society of Viticulture and Oenology Inc. 14: 123-133

Armstrong, W. and M. Drew. 2002. Root growth and metabolism under oxygen deficiency. p. 729-761). *In*: Waisel, Y.; A. Eshel and U. Kafkafi. Plant roots: The hidden half. (3 ed.). Marcel Dekker Inc. New York, EE. UU.

Baeza, P. P. Sánchez-de-Miguel, A. Centeno, P. Junquera, R. Linares and J. R. Lissarrague. 2007. Water relations between leaf water potential and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae* 114: 151-158.

Barrera, M. 2016. Descripción de la relación existente entre el potencial hídrico de vides ‘Cabernet Sauvignon’ y el contenido de agua del suelo monitoreado con una sonda FDR. 64 p. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Berríos, P., I. Gil, A. Temnani, D. Pérez, M. Forcén, S. Zapata, P. Botía-Ordaz, J. M. Navarro-Acosta, F. M. Hernández-Ballester, E. M. Arques-Pardo y A. Pérez-Pastor. 2020. Respuesta fisiológica y productiva de pomelos cv. ‘star ruby’ a la supresión del riego durante el crecimiento del fruto. XXXVIII Congreso Nacional de Riegos, Cartagena 2020.

Beyá-Marshall, V., C. Kremer y B. Baeza. 2020. Capítulo 5. Determinación del momento oportuno de riego mediante sondas FDR y potencial hídrico en paltos y cítricos: efectos en la productividad y validez de la fruta. p. 103-120. *En*: Beyá-Marshall, B. y Galleguillos M. (ed.) Optimización del riego en paltos y cítricos. Serie de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

Bhattarai, S. 2005. The physiology of water use efficiency of crops subjected to subsurface drip irrigation, oxygation and salinity in a heavy clay soil. 326 p. PhD thesis. Central Queensland University, Faculty of Arts, Health and Sciences, Rockhampton, Australia.

Brayovic, M. 2010. Evaluación cuantitativa de la firmeza de baya en uva de mesa. 50 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Bozkurt, Y. y A. Yazar. 2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Scientia Horticulturae* (224): 384-394.

Bucchetti, B., M. A. Matthews, L. Falginella, E. Peterlunger and S. D. Castellarin. 2011. Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Scientia Horticulturae* 128: 297–305.

Calderon-Orellana, A., N. Bambach, F. Aburto y M. Calderón. 2019. Water Deficit Synchronizes Berry Color Development in Crimson Seedless Table Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 70(1): 60-67.

Callejas, R. y M. Rioseco. 2014. Programación del riego a través de observaciones continuas del contenido volumétrico de agua en el suelo. p. 70-85. *In*: Callejas, R., Vera J. y Kremer C. (ed.) Riego de precisión en frutales con sensores de suelo. Serie Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

Callejas-Rodríguez, R., C. Peppi, M. Brayovic y E. Kania-Kuhl. 2011. Categorías de firmeza de bayas en diferentes variedades de uva de mesa (*Vitis vinífera* L.). *Rev. Fca Uncuyo* 43: 127-141.

Callejas-Rodríguez, R., E. Rojo-Torres, C. Benavidez-Zabala y E. Kania-Kuhl. 2012. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo en parrales de vid de mesa. *Agrociencia* 46:23-35.

Campos, S. 2016. Prospección de inicio del consumo de agua en la temporada en ‘Thompson Seedless’. 64 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Castañeda-Sánchez, A. y J.A. Guerrero-Beltrán. 2015. Pigmentos en frutas y hortalizas rojas: antocianinas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* 9: 25-33.

Castellarin, S. D., A. Pfeiffer, P. Sivilott, M. Degan, E. Peterlunger and G. Di Gaspero 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ* 30:1381-1399.

Castellarin, S. D., G.A. Gambetta, H. Wada, K.A. Shackel and M. A. Matthews. 2011. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: spatiotemporal relationships among turgor, sugar accumulation, and anthocyanin biosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 62 (12): 4345-4354.

Centeno, A., P. Baeza, and J.R. Lissarrague. 2010. Relationship between soil and plant water status in wine grapes under various water deficit regimes. *HortTechnology*. 20(3) 585-593.

Chaves, M.M., J.P. Maroco and J.S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264.

Chaves M.M., O. Zarrouk, R. Francisco, J.M. Costa, T. Santos, A.P. Regalado, M.L. Rodrigues and C.M. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany* 105: 661–676.

Chaves, M.M., T.P. Santos, C.R. Souza, M.F. Ortun, M.L. Rodrigues, C.M. Lopes, J.P. Maroco and J.S. Pereira. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology* 237-252.

Chaves-Silva, S., A. L. Dos Santos, A. Chalfun-Júnior, J. Zhao, L. Peres and V. A. Benedito. 2018. Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants- Tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. *Phytochemistry* 153: 11-27.

Conesa, M.R., I.C. Dodd, A. Temnani, J.M. De la Rosa and A. Pérez-Pastor. 2018. Physiological response of post-veraison deficit irrigation strategies and growth patterns of table grapes (cv. Crimson Seedless). *Agricultural Water Management* 208: 363–372.

Conesa, M.R., J.M. de la Rosa, F. Artés-Hernández, I. Dodd, R. Domingo and A. Pérez-Pastor. 2014. Long-term impact of deficit irrigation on the physical quality of berries in ‘Crimson Seedless’ table grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 2410-2520.

Conesa, M.R., N. Falagán, J. M. de la Rosa, E. Aguayo, R. Domingo and A. Pérez-Pastor. 2016. Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in ‘Crimson Seedless’ table grapes. *Agricultural Water Management* 163: 9-18.

Conesa, M.R., J.M. de la Rosa, R. Domingo, S. Bañon and A. Pérez-Pastor. 2016. Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson Seedless) grown in pots. *Scientia Horticulturae* 202: 9-16.

Coombe, B.G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *Am. J. Enol. Vitic.* 43 (1): 101-110.

Coombe, B.G. y M.G. McCarthy. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research* (6):131-135.

Defilippi, B. 2020. Factores que afectan la calidad del raquis en uva de mesa. Noveno Simposio Internacional de la Uva de Mesa 2020. Santiago, Chile.

Defilippi B. y S. Rivera. 2017. Estándares de calidad y condición en uva de mesa. p. 24-38. *En: Torres, A., Manual del cultivo de uva de mesa. Convenio INIA-INDAP. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago. Chile.*

Faci, J.M., O. Blanco, E.T. Medina and A. Martínez-Cobb. 2014. Effect of post veraison regulated deficit irrigation in production and berry quality of Autumn Royal and Crimson table grape cultivars. *Agricultural Water Management* 134: 73-83.

Fernández, A. 2018. Comparación entre dos tipos de sensores de humedad del suelo para la programación del riego. Aplicación en un cultivo de caqui “Rojo brillante” en la comarca de la ribera baja de la comunidad valenciana. 47 p. Tesis de Magister. Universidad Politécnica Valenciana, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronomía y del Medio Natural, Valencia, España.

- Ferreya, R. y G. Sellés. 2013. Manual de riego para frutales: uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar períodos de escasez. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centros Regionales de Investigación La Platina y La Cruz. Santiago, Chile
- Ferreya, R., G., Sellés e I. Sellés. 2001. Riego Deficitario Controlado en Uva de Mesa. Estrategias de Riego para Enfrentar Situaciones de Escasez de Agua en Frutales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile.
- Ferreya, 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.
- Ferreya, R., G., Sellés, M., Pinto, M., Morales and O., Seguel. 2011. Effect of soil air capacity on water relations and vegetative growth of 'Thompson Seedless' grafted on different rootstocks: preliminary results. Acta Horticulturae, 889: 145-150.
- Gálvez, R. 2011. Evaluación del uso conjunto del potencial hidrico xilemático y el déficit de presión de vapor en el manejo del riego en vides de mesa. 59 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.
- Gálvez, R., R. Callejas, G. Reginato and M.C. Peppi. 2014. Irrigation Schedule on table grapes by stem water potential and vapor pressure deficit allows to optimize water use. Ciência Téc. Vitiv. 29(2) 60-70. 2
- Gambetta G.A., J.C. Herrera, S. Dayer, Q. Feng, U. Hochberg and S.D. Castellarin. 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards a integrative definition of drought tolerance. Journal of Experimental Botany 71: 4658–4676.
- García-Pastor, M.E., M. Serrano, F. Guillén, S. Castillo, D. Martínez-Romero, D. Valero and P.J. Zapata. 2019. Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. Scientia Horticulturae 247: 380-389.
- García-Tejera, O., A. López-Bernal, F. Orgaz, L. Testi and F.J. Villalobos. 2021. The pitfalls of water potential for irrigation scheduling. Agricultural Water Management, 243: 106522.
- Guichard, S., C. Gary, J.J. Longuenesse and C. Leonardi. 1999. Water fluxes and growth of greenhouse tomato fruits under summer conditions. Acta Horticulturae (507): 223-230.
- Intrigliolo, D.S. and J.R. Castel. 2006. Vine and soil-based measures of water status in a Tempranillo vineyard. Vitis Journal of Grapevine Research 45(4): 157-163.
- Intrigliolo, D.S. and J.R. Castel. 2009. Response of Vitis vinífera cv. 'Tempranillo' to partial rootzone drying in the field: Water relations, growth, yield and fruit and wine quality. Agricultural water management (96): 282-292.

Pardos, J.A. 2004. Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. Invest Agrar: Sist Recur For. Fuera de serie, 101-107

Keller, M. 2020. The Science of Grapevines. Elsevier, London, United Kingdom.

Knipfer, T., J. Fei, G. A. Gambetta, A. J. McElrone, K. A. Shackel and M. A. Matthews. 2015. Water Transport Properties of the Grape Pedicel during Fruit Development: Insights into Xylem Anatomy and Function Using Microtomography. *Plant Physiology* (168):1590-1602

Leão, P. C. de S., M. A. C. Lima, J. P. D. Costa and D. C. G. Trindade. 2014. Abscisic Acid and Ethephon for Improving Red Color and Quality of Crimson Seedless Grapes Grown in a Tropical Region. *American Journal of Enology and Viticulture* 66(1): 37–45.

Li, J., Y. Wu, Q. Xie y Z. Gong. 2017. Abscisic acid. p. 161-202. Li, J., C. Li and S. M. Smith (eds). *Hormone metabolism and signaling in plants*. Elsevier. London, United Kingdom

López, A. 2015. Efecto de dos criterios de riego, sobre el crecimiento de raíces en uva de mesa cv. Thompson Seedless. 50 p. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Lurie, S., R. Ovadia, A. Nissim-Levi, M. Oren-Shamir, T. Kaplunov, Y. Zutahy, H. Weksler and A. Lichter. 2009. Abscisic acid improves colour development in ‘Crimson Seedless’ grapes in the vineyard and on detached berries. *Acta Hort.* 880: 183-189.

Lurie, S., A. Lichter, T. Kaplunov, Y. Zutahy, M. Oren-Shamir and R. Ovadia. 2010. Improvement of ‘Crimson Seedless’ grape colour by Abscisic Acid treatment. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(6): 639-644.

Martínez, M. 2015. Estudio comparativo de las relaciones hídricas y producción en uva de mesa bajo riego deficitario (RD) y desecación parcial de raíces (DPR). Efecto del déficit continuo y controlado. 68 p. Tesis Magister. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de producción vegetal, Cartagena, España.

Martínez-Gimeno, MA., M.A. Jiménez-Bello, A. Lidón, J. Manzano, E. Badal, J. G. Pérez-Pérez, L. Bonnet, D.S. Intrigliolo and A. Esteban. 2020. Mandarin irrigation scheduling by means of frequency domain reflectometry soil moisture monitoring. *Agricultural Water Management*, 235: 106151.

Matthews, M. y K. Schackel. 2005. Growth and water transport in fleshy fruit. 181-197. *In: Holbrook, N. y M. Zwieniecki (eds). Vascular Transport in Plants*. Elsevier co-Imprint Academic Press. Oxford, U.K.

Miller, G.A., H. J. Farahan, R. L. Hassell, A. Khalilian, J. W. Adelberg and C. E. Wells. 2014. Field evaluation and performance of capacitance probes for automated drip irrigation of watermelons. *Agricultural Water Management* 131 (1):124-134

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2019. Resumen Situación Hídrica Nacional Temporada de Riego 2019-2020. Publicación MOP. Santiago, Chile. Disponible en

[https://www.mop.cl/Documents/resumen\\_situacion\\_hidrica\\_nacional\\_temporada\\_de\\_riego\\_2019-2020\\_MOP.PDF](https://www.mop.cl/Documents/resumen_situacion_hidrica_nacional_temporada_de_riego_2019-2020_MOP.PDF) (Consultado en marzo de 2019)

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2020. Pronóstico de caudales de deshielo. Temporada de riego 2020-2021. Publicación MOP. Santiago, Chile. Disponible en [https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Lists/Pronostico%20Anual%20Link/Attachments/10/Pronostico\\_2020\\_2021.pdf](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Lists/Pronostico%20Anual%20Link/Attachments/10/Pronostico_2020_2021.pdf) (Consultado en marzo de 2020)

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.

Munitz, S., A. Schwartz and Y. Netzer. 2019. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of *Vitis vinifera* cv. 'Cabernet Sauvignon' vineyard. *Agricultural Water Management* (219): 86-94.

Myers, B. 1988. Water stress integral-a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*. 4:315-323.

Navarrete, J. 2012. Efecto de distintos criterios de riego sobre variables fisiológicas y parámetros productivos de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) variedad Red Globe. 73 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Netzer, Y., C. Yao, M. Shenker, B-A, Bravdo and A. Schwartz. 2008. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrigation Science* 27: 109–120.

Olivares D., C. Contreras, V. Muñoz, S. Rivera, M. Gonzales-Agüero, J. Retamales and B.G. Defilippi. 2017. Relationship among color development, anthocyanin and pigment-related gene expression in 'Crimson Seedless' grapes treated with abscisic acid and sucrose. *Plant Physiology and Biochemistry* 115: 286-297.

Peppi, M.C. 2017. La fisiología del manejo del color en uva de mesa. Tercera Conferencia Redagícola Piura 2020. Piura, Perú.

Peppi, M. C. and J. Retamales. 2010. ABA effect on table grape color development in the 438 Central region of Chile. In *Proceeding for the XI International Symposium of Table Grapes*. 439 *Fidelibus, M.W. et al.* (eds.). pp. 32–33. University of California, Davis.

Peppi, M. C., M.W. Fidelibus and N. Dokoozlian. 2006. Abscisic acid application timing and concentration affect firmness, pigmentation, and color of 'Flame Seedless' grapes. *HortScience* 41: 1440–1445.

Peppi, M. C., M.W. Fidelibus and N. Dokoozlian. 2007. Application timing and concentration of abscisic acid affect the quality of 'Redglobe' grapes. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82: 304–310.

- Peppi, M. C., M.W. Fidelibus and N. Dokoozlian. 2008. Timing and concentration of abscisic acid applications affect the quality of ‘Crimson Seedless’ grapes. *International Journal of Fruit Science* 7(4): 71-83.
- Pinillos, V., F. M. Chiamolera, J. F. Ortiz, J. J. Hueso and J. Cuevas. 2016. Post-veraison regulated deficit irrigation in ‘Crimson Seedless’ tablegrape saves water and improves berry skin color. *Agricultural Water Management* 165: 181–189
- Pinillos, V., S. Ibáñez, J.M. Cunha, J. J. Hueso and J. Cuevas. 2020. Postveraison déficit irrigation effects on fruit quality and yield of “Flame Seedless” table grape cultivated under greenhouse and net. *Plants* 9:14-37
- Prats-Llinàs, M.T., O. García-Tejera, J. Marsal and J. Girona. 2019. Water stress during the post-harvest period affects new root formation but not starch concentration and content in Chardonnay grapevine (*Vitis vinifera* L.) perennial organs.
- Sellés, G., R. Ferreyra, C. Aspillaga y C. Zúñiga. 2012. Requerimientos de Riego en Uva de Mesa: Experiencias en el Valle de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile.
- 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 (Chile)* 63(2):180-192.
- Sellés, G., R. Ferreyra, M. Pinto y R. Ruíz. 2012. Portainjertos en uva de mesa: experiencias en el Valle de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Cruz. La Cruz, Chile.
- Van Leeuwen, C., O. Tregoat, X. Choné, B. Bois, D. Pernet and J.P. Gaudillère. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes. *Journal International Science Vigne et du Vin*, 43(3): 121-134.
- Vargas, A., J. Pérez, J.A. Zoffoli y A. Pérez. 2000. Evolución de la textura de bayas de uva del cv. Thompson Seedless. *Ciencia e Investigación Agraria* 27(2): 117-126.
- Vargas, A., J. Perez, J.P. Zoffoli y A. Perez. 2001. Comparación de variables de textura en la medición de firmeza de bayas de uva Thompson Seedless. *Cien. Inv. Agr.* 28(1): 37-42.
- Vera, J., O. Mounzer, M.C. Ruiz-Sánchez, I. Abrisqueta, L.M. Tapia and J.M. Abrisqueta. 2009. Soil water balance trial involving capacitance and neutron probe measurements. *Agricultural Water Management* (96) 905-911.
- Williams, L. E., D. W. Grimes and C. J. Phene. 2010. The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on water relations and vegetative growth of Thompson Seedless grapevines. *Irrig. Sci.* 28: 221-232.

Williams, L.E. and F.J. Araujo. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. J. Amer. Soc. Hort.Sci. 127(3):448-454.

Williams, L.E. and T. E. Martinson. 2003. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. Scientia Horticulturae (98): 493-498.

Xu, Y., J. E. Simon, M. G. Ferruzzi, L. Ho, G. M. Pasinetti and Q. Wu. Quantification of anthocyanidins in the grapes and grape juice products with acid assisted hydrolysis using LC/MS. Journal of Functional Foods 4: 710-717.

Yan-lun Ju., Y. Bo-han, H. Shuang, T. Ting-yao, M. Zhuo, F. Yu-lin and S. Xiang-yu. 2019. Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines. Plant Physiology and Biochemistry (135): 469-479

**ANEXO I**

Escala de la clasificación comercial del color del racimo utilizada para la clasificación visual.



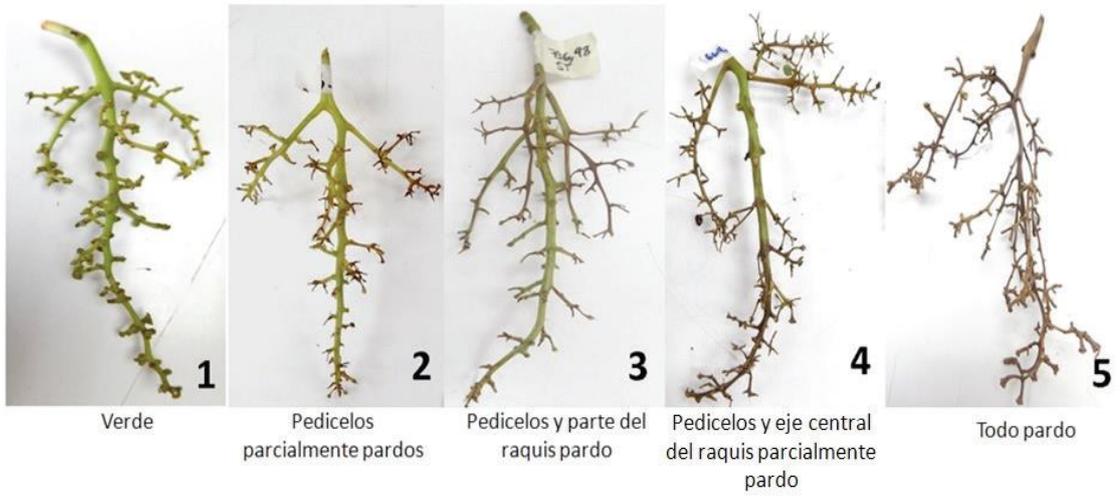
**ANEXO II**

Escala usada para la clasificación de la cobertura total de la baya (del 1 al 4 en la izquierda) y para la clasificación de la cobertura a nivel pedicelar (de 1 a 2 en la derecha).



## ANEXO III

Escala de color del raquis, utilizada para evaluar deshidratación.



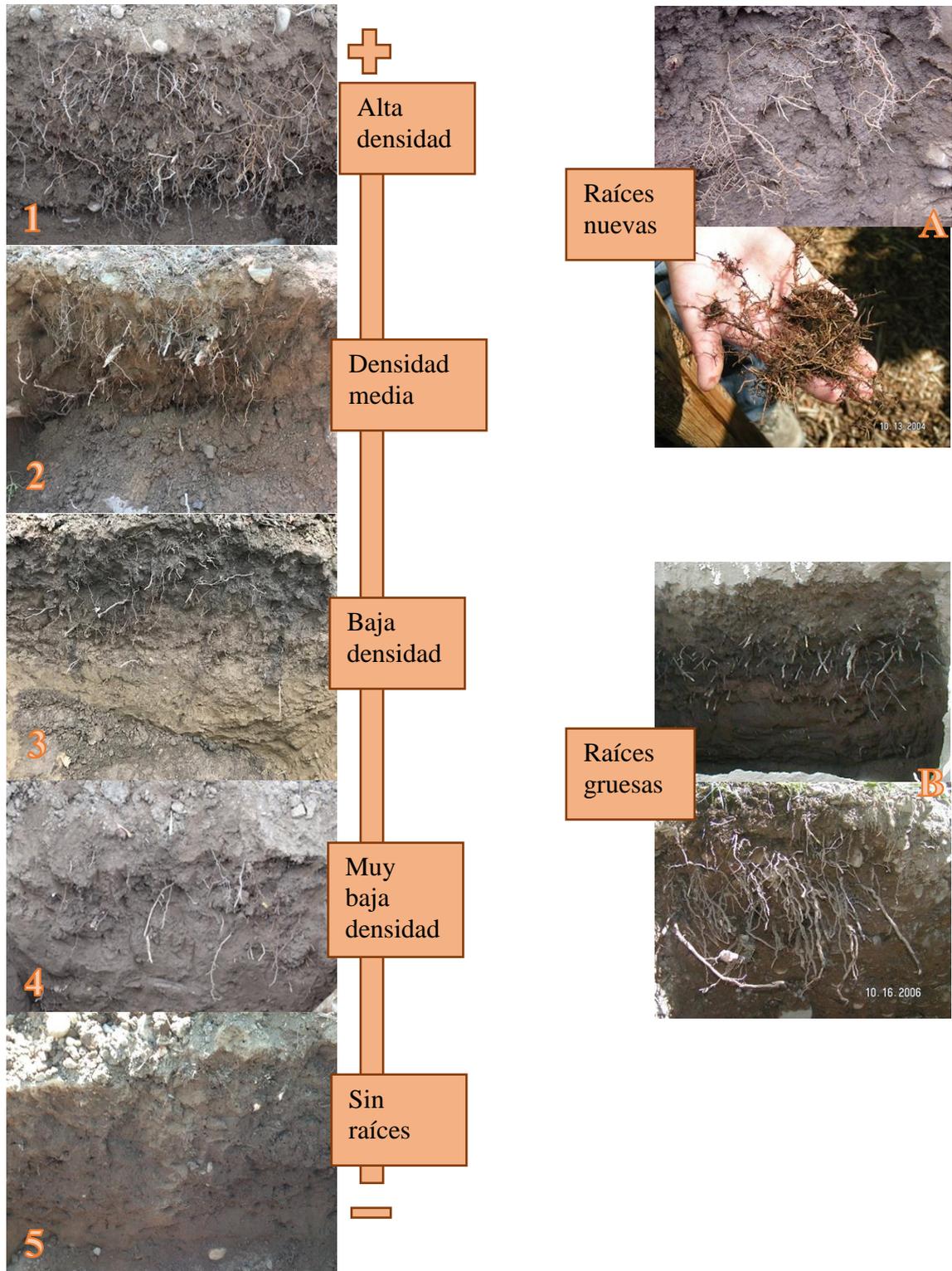
## APÉNDICE I

Resumen programa de fertilización anual para el ensayo.

	Fuente fertilizante	Dosis aplicada	Aporte N elemental	Aporte K elemental	Aporte P elemental	Aporte Ca elemental	Aporte Mg elemental
kg ha <sup>-1</sup> o L ha <sup>-1</sup>							
Temporada	Urea	156	72	-	-	-	-
	Nitrato Ca	150	23	-	-	29	-
	Ácido Fosfórico	95	-	-	21	-	-
	Sulfato Mg	562	-	-	-	-	90
	Muriato K	500	-	300	-	-	-
	Post- cosec ha	Urea	87	40	-	-	-
Ácido Fosfórico		38	-	-	8	-	-

## APÉNDICE II

Escala de abundancia y tipo de raíces utilizada.



**APÉNDICE III**

Fotografía de la escala de hojas utilizada para la medición del área foliar y la obtención de la relación con su largo y ancho.



## APÉNDICE IV

Ejemplos de la uniformidad del color dentro del racimo para muestras seleccionadas al azar de T1 (izquierda), T2 (centro) y T3 (derecha) en el bloque 3, primera temporada.

