



# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

## VARIABILIDAD EN LA RESISTENCIA A FALLA HIDRÁULICA Y SENSIBILIDAD ESTOMÁTICA EN CEREZOS COMERCIALES EN CHILE.

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

**DANIELA ALEJANDRA SEPÚLVEDA LAGOS**

Director de Tesis/AFE  
PhD. Ing. Agrónomo Claudio Pastenes Villarreal  
PhD. Ing. Agrónoma Karen Sagredo Urra

Profesores consejeros  
María Loreto Prat Del Río  
Rodrigo Callejas Rodríguez

SANTIAGO – CHILE  
2020

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
HIPOTESIS.....	6
OBJETIVOS.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Lugar de estudio	6
Materiales	7
Diseño experimental	7
Métodos	
Conductancia estomática y Fotosíntesis	8
Potenciales hídricos	8
Vulnerabilidad del xilema	8
Curva de Presión-Volumen	9
Análisis estadístico	10
RESULTADOS.....	11
Ensayo de déficit progresivo	
Variedad Lapins	
Potenciales hídricos	11
Conductancia estomática	13
Fotosíntesis	13
Variedad Santina	
Potenciales hídricos	14
Conductancia estomática	17
Fotosíntesis	17
Variedad Sweetheart	
Potenciales hídricos	18
Conductancia estomática	21
Fotosíntesis	21
Variedad Regina	
Potenciales hídricos	22
Conductancia estomática y Fotosíntesis	24

Regresiones asociadas al ensayo de déficit progresivo	
Potencial hídrico foliar vs xilemático	24
Diferencia entre potenciales hídricos vs potencial pre alba	25
Potencial hídrico foliar vs Conductancia estomática	25
Conductancia estomática vs Fotosíntesis	28
Potencial hídrico foliar vs a pre alba / Área hidroscape	28
Vulnerabilidad del xilema a la falla hidráulica	34
Curvas Presión-Volumen	36
DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	41
LITERATURA CITADA.....	42
ANEXOS Y APÉNDICES.....	46

## RESUMEN

La industria frutícola aporta un gran valor económico para el país, un rubro en donde las exportaciones han despertado gran interés por parte de los productores, dado a la alta rentabilidad de este tipo de comercio. Uno de los frutales de mayor expansión en superficie y valor exportado en Chile corresponde al cerezo (*Prunus avium* L.), un frutal del cual prácticamente no existe información en relación con su respuesta a condiciones ambientales deficientes, como la baja disponibilidad de agua. En atención a estos antecedentes, es que en el presente estudio se abordó el efecto del déficit hídrico sobre la regulación del potencial hídrico foliar, la pérdida de conductividad hidráulica y la capacidad fotosintética de cuatro variedades de cerezo: Lapins, Santina, Sweetheat y Regina. Se pudo determinar un comportamiento del tipo iso-hídrico de las variedades estudiadas y una alta sensibilidad a la cavitación de xilema en condiciones de estrés hídrico. Se concluyó que bajo estas condiciones las variedades estudiadas no poseen una gran tolerancia al déficit hídrico y se necesitan realizar manejos adecuados y eficientes para minimizar el impacto negativo.

Palabras claves: conductividad estomática, estrés Hídrico, *Prunus avium*, relaciones hídricas

**ABSTRACT**

The fruit industry brings great economic value to the country, a sector in which exports have attracted great interest from producers, given the high profitability of this type of trade. One of the fruit trees with the greater expansion in planted area and exported value in Chile is sweet cherry (*Prunus avium* L.), a fruit tree of which there is almost no information regarding its response to poor environmental conditions, such as low water availability. Given this background, the present study assesses the effect of water deficit on the regulation of foliar water potential, loss of hydraulic conductivity and photosynthetic capacity of four cherry varieties: Lapins, Santana, Sweetheart and Regina. It was possible to determine an isohydric behavior type of the varieties and a high sensitivity to the xylem cavitation under conditions of water stress. It was concluded that under these conditions the varieties do not have a high tolerance to the water deficit and it is necessary to carry out adequate and efficient orchard management in order to minimize the negative impact.

Key words: Stomatal conductance, water Stress, *Prunus avium*, water relations

## INTRODUCCIÓN

El ser humano es el principal responsable de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, la que se ha asociado a un calentamiento global acelerado, llegando a aumentar en promedio  $0,8^{\circ}\text{C}$  la temperatura del planeta en los últimos 140 años (U. Chile y Cepal, 2007). Este hecho indudablemente ha generado grandes modificaciones ambientales, entre ellas una variación significativa en la distribución de precipitaciones. En nuestro país se pronostica una disminución importante en las precipitaciones, lo cual producirá una disminución de agua disponible para riego (Donoso *et al.*, 2009).

Lo anterior es preocupante dado que el buen funcionamiento de las especies vegetales depende del recurso hídrico. En una condición de déficit hídrico, ya sea temporal o severa, se ve afectado directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Una primera estrategia morfológica que despliega la planta en una situación de estrés es la disminución del número y tamaño de hojas, además de acelerar el proceso de senescencia reduciendo con ello aún más el área foliar disponible junto a una reducción del contenido de clorofila, afectando el potencial fotosintético de dicha planta (Anjum *et al.*, 2011). Sin embargo, el efecto del déficit hídrico sobre el proceso de la fotosíntesis es aún más directo, puesto que, limita la posibilidad de ingreso el ingreso de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Se sabe que se requieren 500 kg de agua absorbida y transpirada por la planta por cada kilogramo de material orgánico producido (Chaves *et al.*, 2009; Taiz y Zeiger, 2002).

El intercambio gaseoso consiste en el ingreso de  $\text{CO}_2$ , como contraparte de la evaporación de agua a la atmósfera a través de los estomas (Prabhakar, 2004). Las células de guarda, que componen los estomas, regulan el paso de agua, controlando la apertura o cierre del estoma según las condiciones del medio. Su actividad depende de la estimulación lumínica y concentración de  $\text{CO}_2$  (McAdam y Brodribb, 2012). La regulación de la conductancia estomática está fundamentalmente relacionada con la hormona ácido abscísico (ABA), como señal química directa en el cierre estomático cuando las condiciones lo requieran. Sin embargo, también posee un efecto indirecto a través de una vía alternativa de señalización disminuyendo la entrada de agua en los haces vasculares de las hojas evitando una mayor pérdida del recurso (Pantin *et al.*, 2012).

El cierre estomático genera una disminución del flujo de  $\text{CO}_2$  atmosférico, generando exceso de energía al interior de las células fotosintéticas debido a la continua captación de energía luminosa durante el día. Esto, potencialmente desencadena un proceso de fotoinhibición, en el cual se generan especies reactivas de oxígeno (ROS). Estas ROS generan un estrés oxidativo al interior de las células provocando serios daños por la degradación de proteínas, lípidos y moléculas de ADN, pudiendo provocar la destrucción del aparato fotosintético o hasta la muerte celular. Uno de los mecanismos de defensa por parte de la planta para evitar este tipo de estrés es mediante la disipación de la energía en exceso en forma de calor, o bien por la relajación de las moléculas de clorofila excitadas en estado de triplete, gracias a la actividad de carotenoides (Anjum *et al.*, 2011; Athar y Ashraf, 2005; Chavez 2009).

Existen diferencias en la regulación estomática en especies vegetales, lo que ha llevado a una clasificación de estas a lo largo de un continuo entre dos extremos teóricos: isohídrico y

anisohídrico, según su comportamiento al enfrentar diferentes condiciones ambientales, tales como una excesiva demanda atmosférica o una limitación hídrica en el suelo (Tardieu y Simonneau, 1998). Dicha clasificación resulta de comparar la conductancia estomática y el potencial hídrico de la planta. El potencial hídrico hace referencia a la energía libre del agua, que en las células vegetales, el cual depende fundamentalmente del potencial de presión o turgencia celular y del potencial de solutos. En condiciones de limitación hídrica ambos potenciales deberían disminuir debido a una reducción en la turgencia y aumento en la concentración de solutos en las células vegetales, aunque con diferencias entre las distintas especies (Silva *et al.*, 2015; Taiz y Zeiger, 2002).

Especies clasificadas con un comportamiento del tipo cercano a isohídrico, en condiciones hídricas desfavorables, disminuyen la conductancia estomática, evitando la pérdida continua de agua a la atmosfera, lo que permite mantener potenciales hídricos relativamente estables. Al contrario, las especies que poseen comportamiento cercano al anisohídrico evitan el cierre estomático, por lo que se genera una reducción en los potenciales hídricos de la planta, y con ello logran mantener una extracción de agua desde el suelo, manteniendo la actividad fotosintética al no impedir la entrada de CO<sub>2</sub> atmosférico al sistema (Franks *et al.*, 2007; Tardieu y Simonneau, 1998).

La existencia en condiciones de estrés hídrico, de un comportamiento en el continuo antes mencionado ha sido un objetivo en variados estudios. Mitchell *et al.* (2012) demostraron el contraste de estos comportamientos al comparar especies de eucalipto (*E. globulus*, *E. smithii*) con *Pinus radiata* en condición de sequía, donde las especies de eucalipto continuaban con una alta tasa de crecimiento gracias al continuo uso de agua a coste de valores cada vez menores de potenciales hídricos en el sistema, desplegando un comportamiento del tipo cercano al anisohídrico. Al contrario, la especie de pino no logró un gran crecimiento y redujo significativamente sus reservas de carbohidratos al inducir un cierre estomático, respondiendo con una estrategia cercana a la isohídrica.

Principalmente especies con un comportamiento del tipo anisohídrico, al estar expuestas a altas tensiones en el xilema por reducciones severas de potenciales hídricos, pueden alterar la cohesión natural entre moléculas de agua, que se transportan en un flujo de masa continuo por dicho conducto, generando pequeñas burbujas de aire o vapor y con ello el término en el transporte de agua al romper el gradiente de presión necesario (Canny, 1998). Dicho fenómeno se denomina embolia o cavitación del xilema el cual en ciertas ocasiones puede ser reparado pero a costo de una vulnerabilidad mayor a una futura cavitación si es que vuelve a presentarse una condición de excesiva presión negativa (Hacke *et al.*, 2001). Eso sí, el daño permanente no solo depende del gradiente de tensión que experimenta el xilema sino, además, de otras características morfo-anatómicas del tejido (Quintana *et al.*, 2019).

Se debe subrayar el hecho de que incluso entre individuos o “clones” de una misma especie existen diferencias en la vulnerabilidad a la cavitación, como fue demostrado por Cochard *et al.* (2007), quienes compararon clones de especies de álamo y sauce los cuales a pesar de poseer iguales características genéticas presentaron diferente vulnerabilidad. Por lo anterior, se puede asumir que la mayor o menos vulnerabilidad a la cavitación es más una respuesta adaptativa que fisiológica, lo que puede generar problemas en huertos frutícolas comerciales en donde se utilizan especies vegetales mejoradas genéticamente. En estos genotipos se

pierde principalmente la rusticidad de la especie original, por lo que variaciones en las condiciones de crecimiento, como lo es el suministro hídrico, pueden resultar en problemas de gran magnitud en las plantas (Potter *et al.*, 2017).

El método más utilizado por diferentes autores para estudiar la generación de embolia o cavitación es la realización de curvas de vulnerabilidad del xilema, en las cuales se compara el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica del tallo (PLC), generado por el aumento de burbujas al interior del conducto, con el potencial hídrico de tallo instantáneo. Este análisis permite observar el comportamiento de la especie estudiada y comparar mediante su pendiente una mayor o menos susceptibilidad (Choat *et al.* 2003; Cochard *et al.* 2007; Ogasa *et al.* 2013; Wortemann *et al.* 2011).

Sin embargo, la clasificación de especies según su comportamiento no siempre es efectiva, tal como lo comprueban Hugalde y Vila (2014) al estudiar cuatro variedades de *Vitis vinifera*, con el fin de clasificar dicha especie frutal. En el estudio se observaron diferencias entre variedades y al comparar los resultados con otros estudios similares se generaron controversias al proponer un distinto tipo de comportamiento para una misma variedad.

A pesar de todo, estudios y experimentos para cuantificar y determinar los efectos de estrés hídrico en *Vitis vinifera* son variados y al ser un frutal de gran valor tanto cultural como económico, ha existido un gran interés en el conocimiento de su comportamiento en diferentes situaciones ambientales. Al contrario, en otros frutales no existen este tipo de estudios, ni se ha tomado la importancia de conocer con exactitud el comportamiento en respuesta a factores ambientales externos. Esta deficiencia de información es sumamente preocupante, puesto que no permite evaluar el impacto de ciertos manejos, específicamente asociados al riego, o bien la zonificación climática para este cultivo. Por lo mismo, conocer en profundidad el comportamiento de distintas especies vegetales de interés agronómico debería ser una prioridad. Lo anterior, dada la gran importancia económica que posee la industria frutícola en nuestro país, principalmente por las exportaciones. En los últimos años nuestro país ha aumentado exponencialmente su nivel de exportación, entre las cuales destacan la fruta fresca y deshidrata, tales como; uva de mesa, manzana y cereza (PROCHILE, 2018).

Chile es el principal abastecedor de cerezas del hemisferio sur, llegando a mercados en contra-estación respecto de las grandes potencias productivas, obteniendo con ello un alto precio de venta. Por esto, se ha incrementado considerablemente la superficie plantada de este frutal, siendo las principales variedades producidas ‘Santina’ y ‘Lapins’, las que poseen más del 50% de la superficie plantada del país (ODEPA, 2015), la cual se concentra principalmente en las regiones del Maule y O'Higgins. Sin embargo, por la alta rentabilidad del frutal, se han incorporado sectores agrícolas más extremos y de mayor demanda evapotranspirativa, tales como las regiones de Valparaíso y Coquimbo (ODEPA-CIREN, 2014). Lo anterior, destaca la importancia de conocer el comportamiento hidráulico de la especie, para asegurar manejos adecuados a las diferentes situaciones climáticas a las cuales el cultivo de cerezo se ve enfrentado.

Uno de los pocos estudios realizados en *Prunus avium* estimando componentes hídricos en condiciones de campo fue realizado por Oyarzún *et al.* (2010), en el cual se determinó la

conductancia hidráulica total de la planta y relaciones entre tasa transpiratoria con potenciales hídricos obtenidos. Sin embargo, como en otros estudios, solo se obtuvo un dato puntual con condiciones controladas y no el comportamiento en diferentes situaciones ambientales.

## **HIPÓTESIS**

Las variedades de cerezo Lapins, Santina, Sweetheart y Regina en condiciones de déficit hídrico, presentan niveles similares de vulnerabilidad del xilema a la falla hidráulica pero difieren en su sensibilidad estomática y fotosintética.

## **OBJETIVOS**

Objetivo general: Caracterizar componentes hidráulicos de variedades de cerezos con importancia agrícola.

Objetivos específicos:

- Determinar y comparar la sensibilidad estomática y fotosintética al déficit hídrico en las variedades Lapins, Sweetheart, Santina y Regina.
- Determinar y comparar la vulnerabilidad a falla hidráulica en las variedades Lapins, Sweetheart, Santina y Regina.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Lugar de estudio y material vegetal**

Se realizaron evaluaciones y extracciones de material vegetal durante dos temporadas consecutivas en huertos adultos de cerezo; la primera temporada fue desde diciembre de 2017 a febrero 2018 en las dependencias del “Fundo El Delirio” ubicado en la Región del Libertador Bernardo O’Higgins entre las comunas de Requínoa y Rengo (34°19’11” S, 70°53’2” O). La segunda temporada fue desde diciembre de 2018 a febrero 2019, en el “Fundo San Agustín” ubicado en el sector Capellanía en la Región del Maule en la ciudad de Cauquenes (35°56’34,8” S, 72°6’28,8”O). Climáticamente, la segunda temporada de medición (Cauquenes) presentó una mayor demanda evapo-transpirativa y mayor radiación total disponible en comparación a lo presentado en Requínoa durante la primera temporada (Apendice 1).

Durante la primera temporada se utilizaron huertos de las variedades Lapins, Santina, Sweetheart y Regina, todas sobre el portainjerto Colt y un marco de plantación de 4x2 m. En la segunda temporada se trabajó en las variedades Lapins, Santina y Sweetheart en el mismo

portainjerto, con un marco de 5x3 m. En ambos sitios se realizaron las mediciones en árboles productivos de 4-5 años, con un sistema de riego de goteo con caudales de 4 l/hr, durante al menos 12 hrs seguidas, con una frecuencia de riego desde 1- 4 días, dependiendo de la variedad.

Se seleccionaron ramillas vegetativas, con hojas que no presentaran daños físicos visibles y con peciolo gruesos, de al menos 30 cm de longitud con entre nudos de más de 6 cm. El material vegetal extraído en cada temporada fue empleado para mediciones específicas que fueron realizadas en el Laboratorio de Fisiología del Estrés en Plantas del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómica de la Universidad de Chile.

### **Materiales**

En las mediciones en terreno de intercambio de gases y estatus hídrico de hojas, tallo y planta, se realizaron por medio del analizador infrarrojo de gases (IRGA) (modelo LCi, ADC Bioscientific Ltd., UK) y la cámara de presión (modelo 615, PMS Instrument Company, USA).

Para la determinación de curvas de presión-volumen, se utilizaron las ramillas previamente descritas, las cuáles fueron utilizadas en el laboratorio empleando la cámara de presión (modelo 615, PMS Instrument Company, USA) durante la primera temporada de medición. Durante la segunda temporada se empleó el mismo criterio de selección de ramillas para realizar curvas de pérdida de conductividad hidráulica junto a un flujímetro de alta precisión (Xylem Inc. Francia).

### **Diseño experimental**

El ensayo consideró a cada variedad estudiada como experimentos independientes, cada uno realizado bajo un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) con estructura de parcela dividida en el cual se utilizó como unidad experimental 3-5 árboles de cerezo, y como unidad observacional una hoja o una ramilla (dependiendo de la determinación a realizar).

Se seleccionaron 4 hileras consecutivas a las cuales se les generó un corte de riego a los primeros 7 árboles, para el experimento solo se consideraron las hileras centrales, dividiendo estas en dos sectores: uno con el tratamiento de disminución progresiva de la disponibilidad hídrica y otro sector representando el riego estándar de cada huerto frutal.

Cada hilera fue considerada un bloque, y cada sector dentro del bloque fue considerado como parcelas independientes, cada una promediando las mediciones de 1-5 árboles dependiendo de la parcela utilizada y la temporada de medición realizada. Se evaluó el cambio de diversas características a lo largo del tiempo en ambas temporadas logrando 5 y 4 mediciones en la primera y segunda temporada respectivamente.

Para las curvas de vulnerabilidad del xilema y presión volumen se seleccionaron árboles al azar en condiciones normales de riego de cada variedad para extraer ramillas.

## Métodos

### **Conductancia estomática (gs) y fotosíntesis (An).**

Se seleccionó una hoja (sin daños y con peciolo grueso) de una ramilla vegetativa con buena interceptación de luz, la que se colocó, sin desprenderla, dentro de la cámara del analizador infrarrojo de gases (IRGA, modelo LCI, ADC Bioscientific Ltd., UK) manteniéndola por unos segundos con radiación directa hasta que los flujos dentro de la cámara se estabilizaron. Con este equipo, se determinaron la conductancia estomática (gs), transpiración (E) y fotosíntesis (A) de las hojas.

### **Potenciales hídricos**

La misma hoja utilizada para la determinación de fotosíntesis se seleccionó para la medición de potencial hídrico foliar, cubriéndola previamente con papel absorbente previamente humedecido de manera de evitar la transpiración de esta durante la medición. Luego, la hoja fue cortada de la ramilla y llevada a la cámara de presión, en donde se le aplica presión por medio de un estanque de nitrógeno gaseoso comprimido. La presión necesaria para hacer aparecer una fina película de agua en el corte del peciolo correspondió al potencial hídrico foliar. Además, se determinaron los potenciales hídricos xilemático (tallo) y de pre-alba, los dos primeros se realizaron al medio día, entre 11:30 a 14:00 horas (Franks *et al.*, 2007), utilizando hojas de la misma ramilla en la que se determinó el potencial hídrico foliar. Para la determinación del potencial hídrico xilemático, se procedió a cubrir la hoja con una bolsa plástica aluminizada y sellada, al menos 30 minutos antes de realizar la medición (CNR y CITRA, 2009). Finalmente, el potencial hídrico de pre-alba, que indica el potencial hídrico de suelo en contacto con las raíces, se realizó entre las 04:00 y 06:30 horas.

Utilizando el método creado por Meinzer *et al.* (2016) se calculó el área de hidroscape de cada una de las variedades estudiadas, para lograrlo se generaron regresiones lineales entre los valores de potenciales foliares y de pre alba de cada variedad y temporada, cada regresión es contrastada con una regresión lineal 1:1 llegando a un punto de intersección entre ambas rectas, en donde el potencial hídrico de pre alba se iguala al potencial hídrico foliar a medio día. El área del triángulo que se forma con ambas rectas es lo que se denomina área de hidroscape.

### **Vulnerabilidad del xilema**

Las ramillas seleccionadas previamente en el campo fueron dejadas toda la noche en un recipiente de agua y tapadas con un plástico negro, con el fin de llegar a una condición hídrica de plenitud. A lo largo del día siguiente, se sacaron ramas del recipiente, dejándolas deshidratar por distintos periodos de tiempo, hasta por 9 horas. Posteriormente, las ramillas fueron guardadas en una bolsa negra y sellada por un periodo de mínimo 30 minutos, para luego extraer una hoja a la cual se le midió el potencial hídrico. Luego, cada ramilla fue llevada a un recipiente de agua, en donde se dejaron sumergidas por al menos 30 minutos

para volver a rehidratarse y para posteriormente ser cortadas bajo el agua de entrenudo a entrenudo alternado cortes desde la base y cortes desde la punta, hasta obtener un brote de 2 nudos (12 cm. Aprox.) los que fueron sometidos al paso de un flujo de agua a una presión de 0,7 MPa, mediante el flujímetro de alta precisión. Luego, se sometieron a un flujo de agua a alta presión, para desplazar las burbujas al interior de cada sección de tallo, para finalmente volver a medir el flujo sin la presencia de burbujas. Con estos valores se obtiene un porcentaje de pérdida de flujo que, junto al del largo exacto del brote y del área del xilema (medida mediante escáner y programa Image-G), permitió calcular la conductividad hidráulica instantánea de cada uno de ellos (Pammenter y Willigen, 1998).

Adicionalmente, se realizó un análisis de la pérdida de conductividad hidráulica de ramillas que fueron sometidas al tratamiento de sequía progresiva y ramillas control para determinar si existe alguna variación de conductividad de los árboles tras el periodo de deshidratación progresiva. Las curvas de vulnerabilidad del tallo se ajustaron usando la función Weibull utilizando el programa estadístico R y los rasgos clave, tales como  $P_{50}$ , se probaron estadísticamente mediante la comparación de intervalos de confianza (Li et al., 2018).

### **Curva de presión-volumen**

En el laboratorio se dejaron durante toda la noche, ramillas seleccionadas previamente en campo en un recipiente con agua y tapadas con un plástico negro, con el fin de que absorban agua hasta llegar a una condición hídrica máxima (potenciales hídricos cercanos a 0) y evitar la transpiración de estas al igual que en la medición anterior.

Se seleccionó una hoja por cada ramilla la cual fue colocada en bolsas tipo “ziploc” con alta humedad relativa en el interior para asegurar una mínima pérdida de agua. La bolsa con la hoja al interior fue pesada en una balanza digital de alta precisión, para luego medirle el potencial hídrico de la hoja en la cámara de presión, utilizando los mismos criterios para determinar el potencial foliar a medio día mencionados previamente.

Una vez realizadas las mediciones, la hoja fue dejada reposar a la intemperie por 30 segundos, con el fin de deshidratarla. Luego, se volvió a encerrar la hoja en la bolsa con una alta humedad relativa en su interior, dejándola reposar en oscuridad por al menos 30 minutos, tiempo necesario para lograr el equilibrio al interior de la hoja y evitar errores en la medición de potenciales. Terminado el tiempo de reposo, se volvió a medir el peso y el potencial, repitiendo el proceso hasta llegar a un nivel bajo de potencial hídrico foliar (30 bares). Se realizó esta medición a 10 hojas por variedad, cada una obteniendo en promedio al menos 13 puntos de medición, con los cuales se realizaron las curvas de presión-volumen empleando una planilla Excel específica, con la cual se pudo obtener datos característicos de cada repetición.

### Análisis estadístico

Se utilizó el siguiente modelo mixto como base para realizar el análisis estadístico necesario para determinar diferencias entre tratamientos:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + T_j + (R \times T)_{ij} + B_k + P_{ik} + E_{ijk}$$

En donde “R” determina el factor riego el cual posee dos niveles “i” (con y sin corte de riego), el factor “T” hace referencia al tiempo, el cual considera 4-5 niveles “j” los cuales señalan las distintas fechas en que se realizarán mediciones (dependiendo de la temporada). Dichos factores junto a la interacción entre ellos son considerados como factores fijos en el modelo. Como factores aleatorios se consideraron el factor bloque “B”, con sus dos niveles “k” los cuales denotan las hileras centrales utilizadas, el factor parcela “P” y el error “E”.

El análisis estadístico se realizó a través modelos lineales mixtos, si se demuestra una interacción significativa o diferencia entre factores, se realizará una prueba de comparación múltiple mediante el método de LSD de FISHER con el fin de comprobar la diferencia o homogeneidad entre las medias poblacionales del estudio y con ello poder aceptar la hipótesis del estudio.

Además, se realizaron regresiones y correlaciones entre las distintas variables medidas en el experimento para ambas temporadas. Finalmente se realizó un análisis de multivariado de conglomerados para comparar las distintas áreas de hidroscape. El programa estadístico que se utilizará para los análisis será Infostat / R-project 3.5.0.

## RESULTADOS

### Ensayo déficit progresivo

#### Variedad Lapins

**Potenciales hídricos.** En la Figura 1, se presentan los resultados de los potenciales hídricos de prealba (a y b), xilemático (c y d) y de hoja (e y f) para ambas temporadas de evaluación. El potencial de pre-alba ( $\Psi_{pd}$ ) en la primera temporada de medición (Figura 1, a) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos hasta el final del experimento, en donde se observa una diferencia de al menos -1 MPa. En la segunda temporada (Figura 1, b) se puede apreciar una diferencia gradual y significativa entre ellos. El tratamiento con DH progresivo redujo el potencial a medida que avanzó el experimento, llegando a obtener valores de -1,5 MPa en los últimos días de medición. El tratamiento testigo se mantuvo relativamente constante en valores entre -0,5 y -0,6 MPa, solo con una pequeña disminución en el octavo día de medición.

En cuanto al potencial xilemático ( $\Psi_x$ ) en la primera temporada (Figura 1, c) no presentó diferencias significativas entre tratamientos, sino hasta el octavo día de medición, dado un riego efectuado entre las mediciones el tratamiento testigo aumenta su  $\Psi_x$  llegando a valores cercanos a -1 MPa en dicho día. El tratamiento con DH continuó disminuyendo hasta finalizar el experimento, obteniéndose valores cercanos a -2,4 MPa. En la segunda temporada (Figura 1, d) se aprecian diferencias significativas para el  $\Psi_x$  a lo largo de todo el experimento, el testigo mantuvo prácticamente constante su valor en -1 MPa, excepto por una leve disminución al octavo día desde el inicio del ensayo. Mientras que el tratamiento con DH presento una disminución constante llegando hasta valores cercanos a -2 MPa en el octavo día para luego presentar un leve aumento de potenciales al finalizar el experimento.

Finalmente, el potencial foliar ( $\Psi_h$ ) no presentó diferencias estadísticamente significativas en la primera temporada (Figura 1, e), hasta el octavo día de medición. El tratamiento testigo se mantuvo relativamente constante con valores cercanos a -1,8 MPa, solo con una disminución en el cuarto día de medición, la cual fue rápidamente revertida una vez efectuado un riego, imitando con ello el comportamiento de  $\Psi_x$ . El tratamiento con DH presento una reducción de  $\Psi_h$  llegando a valores entre -2,3 y -2,5 MPa el cuarto día de medición y manteniendo esos valores constantes hasta finalizar el ensayo. En la segunda temporada (Figura 1, f), en tanto, se observan diferencias significativas en el  $\Psi_h$  entre tratamientos en el primer día de medición tras el corte de riego, sin embargo, ambos tratamientos disminuyen su potencial foliar llegando a valores promedio estadísticamente iguales en el tercer día, equivalentes a -2,3 MPa, para luego diferenciarse nuevamente por el aumento de los  $\Psi_h$  en el tratamiento testigo (-2 MPa) y la mantención del  $\Psi_h$  en el tratamiento de déficit hídrico. En general, se aprecia que los valores de potencial hídrico de tallo y foliar, son levemente más negativos en la primera temporada (Figura 1).

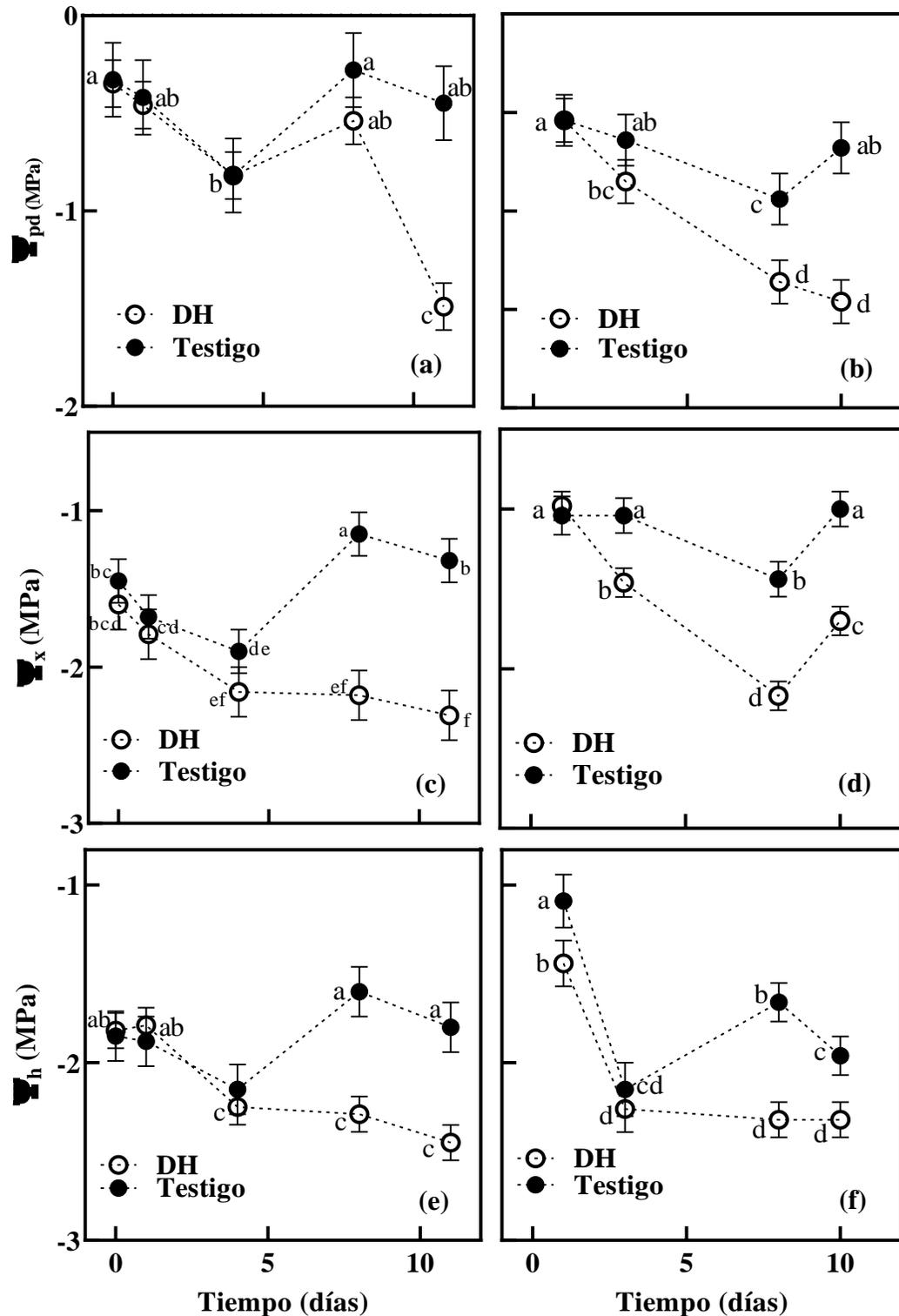


Fig. 1: Variación promedio de potenciales hídricos de la variedad Lapins en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (2017) y segunda (2018) temporada de medición (izquierda y derecha respectivamente). Letras distintas para cada fecha indican diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

**Conductancia estomática.** Para la primera temporada se observan diferencias significativas entre tratamientos de riego y sequía, aunque solo desde el cuarto día desde el inicio del experimento (Figura 2, a). En el caso del tratamiento de sequía, el valor de  $g_s$  disminuye de manera relativamente constante, desde valores de  $98 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  hasta valores muy cercanos a cero luego de 11 días bajo condición de restricción del riego. En el caso del testigo, se observa una gran variación en los mismos, con una fuerte disminución hacia el cuarto día, siguiendo la tendencia de los valores de potencial (Figura 2, a). En la segunda temporada de medición, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en el que ambos tratamientos mantienen una disminución gradual a lo largo de la temporada (Figura 2, b).

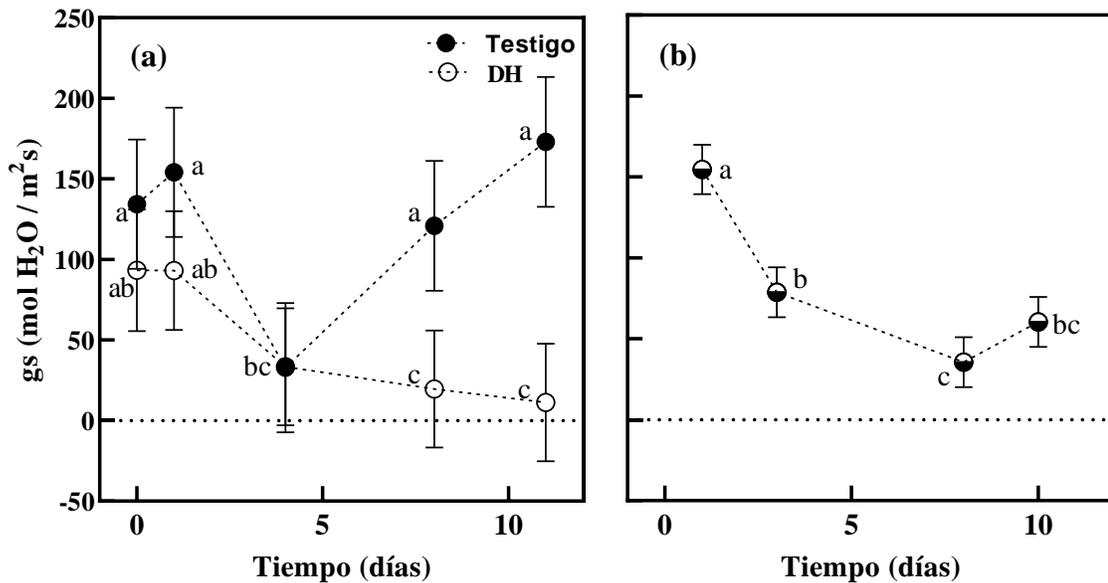


Fig. 2: Variación promedio de conductancia estomática instantánea de la variedad Lapins en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

**Fotosíntesis.** En ambas temporadas no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 3). En la primera temporada (Figura 3, a) se observan altos niveles fotosintéticos al comienzo del ensayo, para luego disminuir fuertemente desde el cuarto día desde el inicio del experimento, manteniéndose hacia el final del ensayo. En la segunda temporada (Figura 3, b) la fotosíntesis neta comienza con valores menores a la anterior, cercanos a la mitad, pero igualmente se aprecia una disminución hacia el fin del periodo de mediciones.

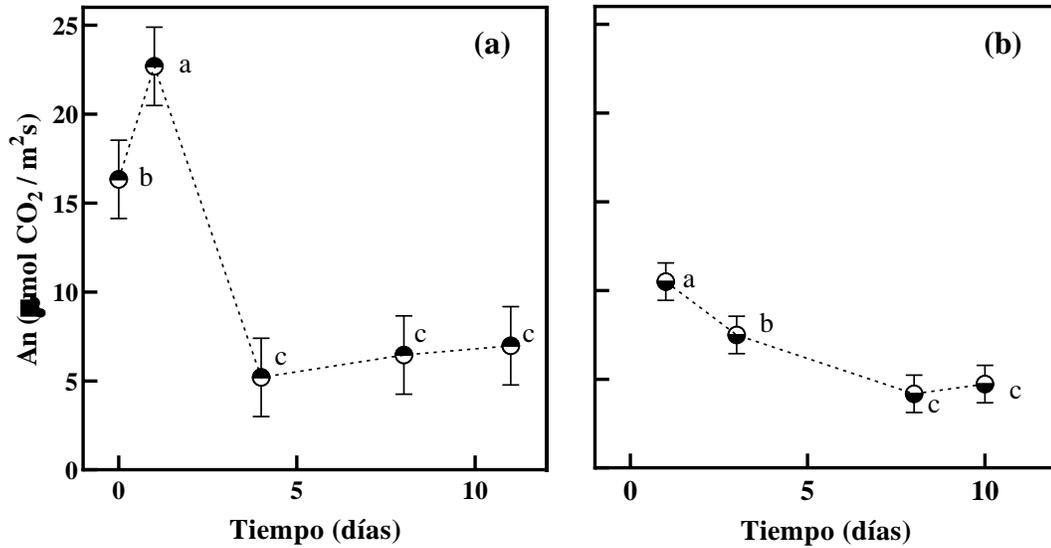


Fig. 3: Variación promedio de fotosíntesis neta en la variedad Lapins en base a los días transcurridos desde el corte de riego en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

### Variedad Santina

**Potenciales hídricos.** En ambas temporadas el potencial de pre alba no presentó diferencias estadísticamente significativas al inicio del período (Figura 4). Durante la primera (Figura 4, a) temporada, el  $\Psi_{pd}$  del tratamiento con riego se mantuvo en niveles relativamente constantes, variando entre  $-0,2$  y  $-0,5$  MPa mientras que el tratamiento con suspensión de riego descendió a una tasa constante desde los  $-0,5$  MPa hasta los  $-1,0$  MPa al final del ensayo. A partir del cuarto día desde iniciado el corte de riego, comienzan a diferenciarse los promedios de cada tratamiento de manera significativa. En la segunda temporada (Figura 4, b), desde el tercer día de iniciada la suspensión de riego, los valores de  $\Psi_{pd}$  disminuyen muy fuertemente en el tratamiento de restricción de riego alcanzando valores cercanos a los  $-2,0$  MPa mientras que el tratamiento de riego disminuyó entre los  $-0,5$  a  $-0,9$  MPa.

El  $\Psi_x$  en la primera temporada (Figura 4, c) no presentó diferencias significativas entre tratamiento en los primeros días de medición en donde en ambos se muestra una disminución de potencial, sin embargo, el tratamiento testigo aumenta su potencial en cuarto día, volviendo a obtener valores cercanos a  $-1,2$  MPa, similares a los obtenidos al inicio del estudio, para luego volver a disminuir gradualmente hasta finalizar el experimento en donde no existe diferencia entre tratamientos, obteniéndose valores cercanos a  $-2$  MPa. El tratamiento con déficit hídrico continúa con una reducción gradual de potencial a lo largo de todo el experimento. En la segunda temporada (Figura 4, d) se observa claramente la diferencia entre tratamientos, puesto que, a pesar de que el tratamiento deficitario disminuyó su  $\Psi_x$  a medida que avanzaba el experimento, llegando a valores cercanos a  $-2,5$  MPa, el tratamiento testigo se mantuvo constante en valores de potenciales cercanos a  $-1$  MPa.

El  $\Psi_h$  en la primera temporada (Figura 4, e) no presentó diferencias estadísticamente significativas durante los primeros cuatro días del ensayo, posterior a esto, el tratamiento con déficit hídrico continuo disminuyendo gradualmente hasta llegar a valores cercanos a -2,3 MPa, en cambio al tratamiento testigo que sufrió de dos alzas de potencial hídrico a lo largo del experimento, pero siempre manteniendo sus potenciales sobre -2 MPa. En la segunda temporada el tratamiento (Figura 4, f) testigo se mantuvo constante a lo largo del experimento solo presentando una pequeña reducción al final de las mediciones, llegando a valores cercanos a -2 MPa. El tratamiento con déficit progresivo de riego disminuyó gradualmente durante las mediciones, hasta obtenerse valores de potenciales cercanos a -2,5 MPa.

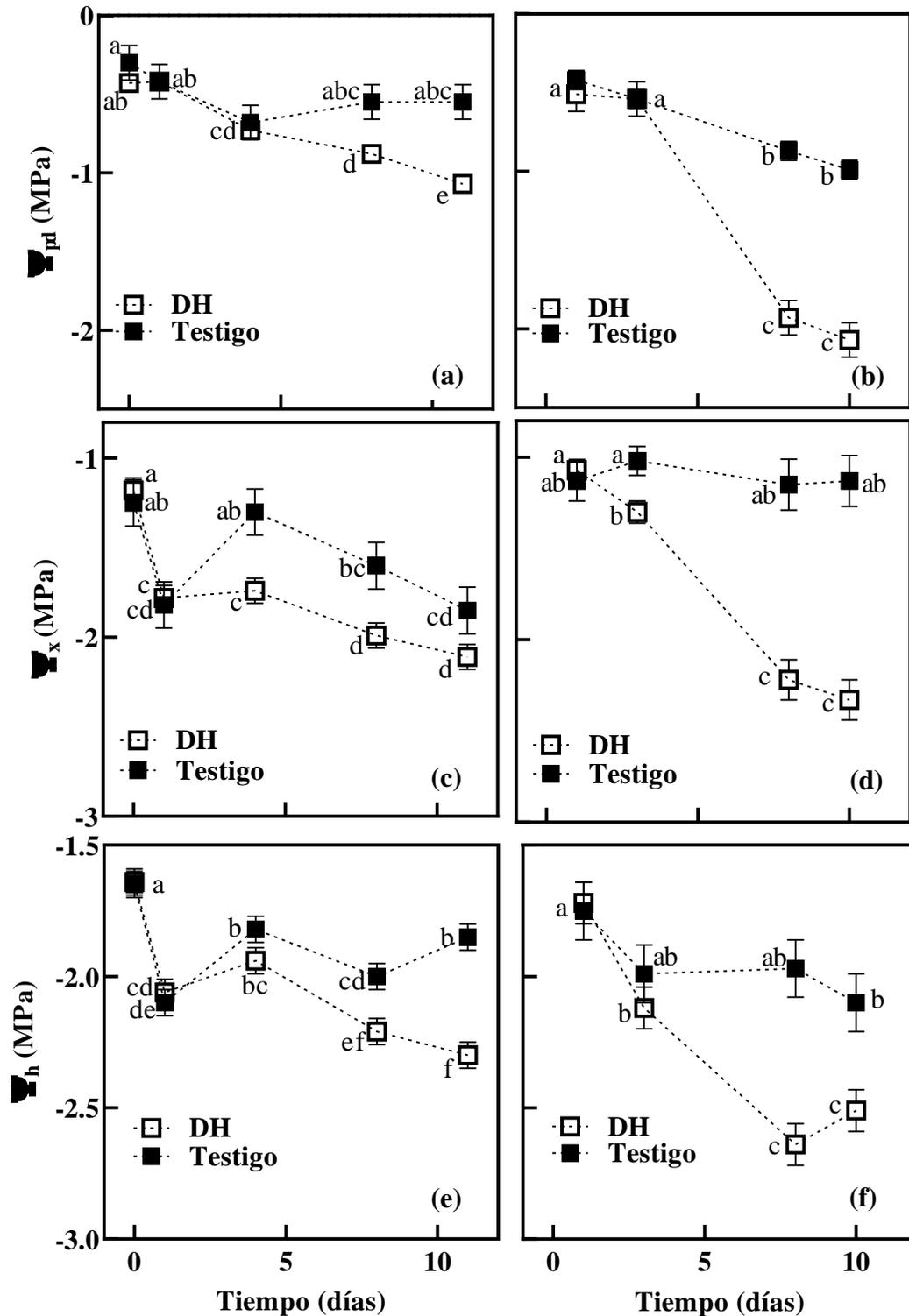


Fig. 4: Variación promedio de potenciales hídricos de la variedad Santina en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera y segunda temporada de medición (izquierda y derecha respectivamente). Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

**Conductancia estomática.** No existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, por lo tanto, la variación observada solo corresponde al tiempo transcurrido desde el inicio del experimento. En ambas temporadas se observa una disminución de conductancia estomática y luego una estabilización de esta desde el octavo día hasta las últimas mediciones realizadas (Figura 5).

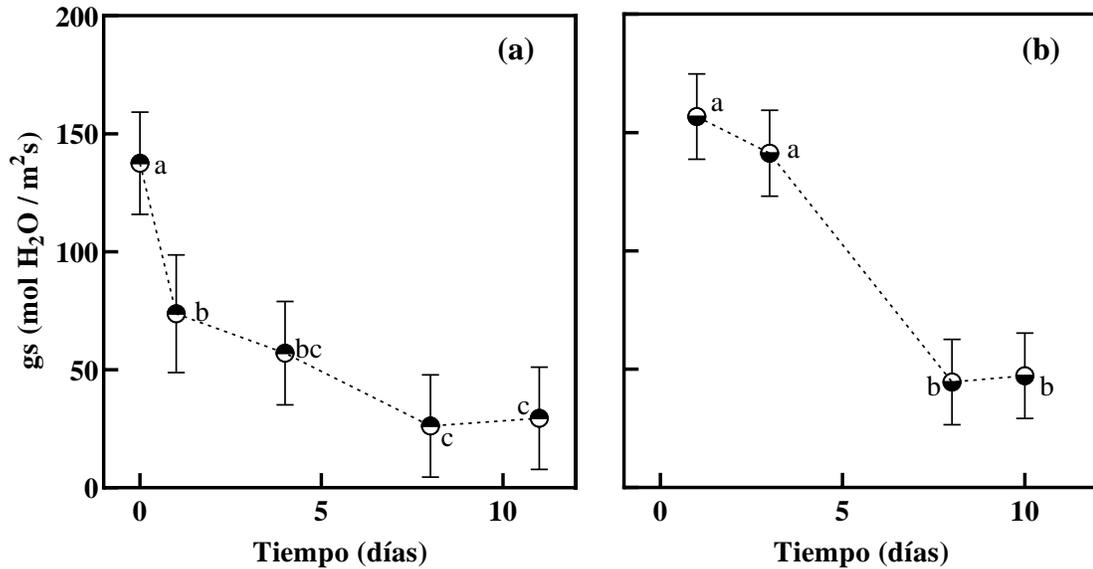


Fig. 5: Variación promedio de conductancia estomática instantánea de la variedad Santina en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

**Fotosíntesis.** No existió diferencia entre tratamientos para el flujo fotosintético en ambas temporadas, sin embargo, se observa una disminución gradual de la fotosíntesis a medida que avanza el experimento para luego mantener un flujo constante, solo diferenciándose en la magnitud de disminución mucho mayor en la primera temporada, pero llegando a valores similares en ambas temporadas al finalizar las mediciones (Figura 6).

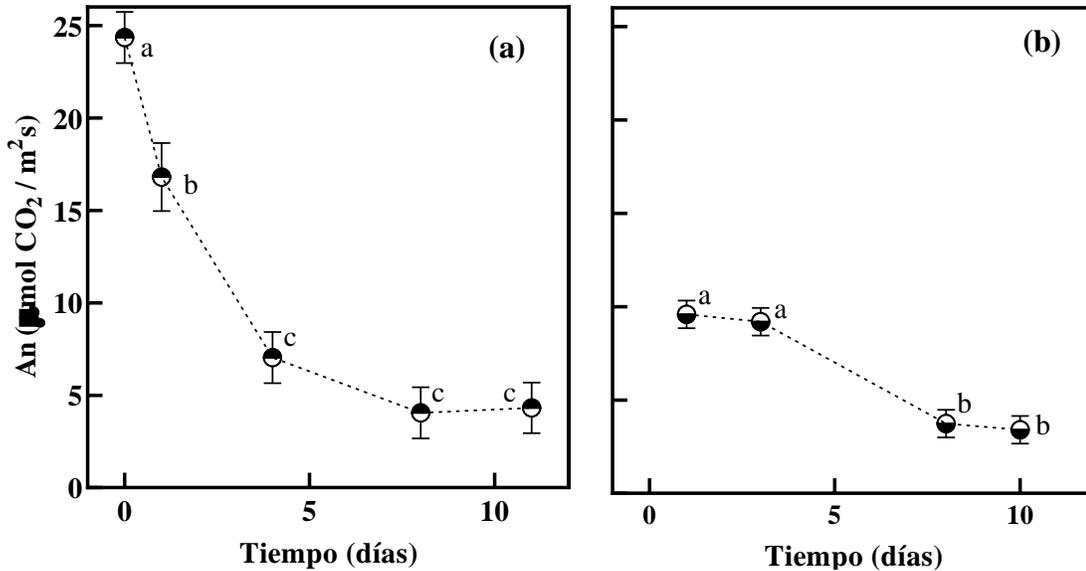


Fig. 6: Variación promedio de flujo fotosintético instantáneo de la variedad Santina en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

### Variedad Sweetheart

**Potenciales hídricos.** En la primera temporada el  $\Psi_{pd}$  no presenta diferencias significativas entre tratamientos hasta el último día de medición (Figura 7, a), dado que ambos tratamientos redujeron su potencial gradualmente en los primeros cuatro días de medición, desde valores cercanos a  $-0,5$  MPa hasta valores de potencial cercanos a  $-1$  MPa, para luego aumentar nuevamente en el octavo día, volviendo a valores de potenciales iniciales del estudio, sin embargo, a partir de ahí el tratamiento testigo mantuvo sus potenciales mientras el tratamiento con DH redujo rápidamente su  $\Psi_{pd}$  hasta llegar a valores inferiores a  $-1$  MPa al finalizar el estudio. En la segunda temporada ambos tratamientos disminuyeron sus potenciales a lo largo del experimento, pero con una diferencia significativa entre ellos, manteniéndose el testigo con  $\Psi_{pd}$  mayores durante todo el estudio, el tratamiento con DH logro reducir su  $\Psi_{pd}$  desde  $-0,5$  MPa a valores cercanos a  $-1,5$  MPa al final del estudio (Figura 7, b).

En el caso del  $\Psi_x$  en ambas temporadas el tratamiento con déficit hídrico presentó una disminución constante a lo largo del experimento, sin embargo, en la primera temporada se llegó a valores más bajos cercanos a  $-2$  MPa (Figura 7, c y d). El tratamiento testigo en la primera temporada redujo potenciales en los primeros días del experimento, a tal punto de no existir diferencias significativas entre tratamientos, para luego aumentar sus potenciales en la última etapa del ensayo, volviendo a valores de  $\Psi_x$  iniciales cercanos a  $-1,5$  MPa. En la segunda temporada el tratamiento testigo no presento cambios a lo largo de todo el experimento, manteniéndose constantemente con valores cercanos a  $-1$  MPa (Figura 7, d).

En cuanto al  $\Psi_h$ , durante la primera temporada el tratamiento con DH presento una reducción gradual a medida que avanzó el ensayo, obteniendo valores iniciales cercanos a -1,5 MPa para finalizar el estudio con valores de potenciales cercanos a -2,4 MPa. El tratamiento testigo también redujo sus potenciales durante la primera mitad del experimento incluso con valores más bajos que el DH (-2,2 MPa), para luego aumentar abruptamente y mantenerse constante hasta finalizar las mediciones (Figura 7, e). En la segunda temporada (Figura 7, f), la interacción tiempo y riego no fue significativa, lo que quiere decir que no existió diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, se pueden apreciar variaciones de los potenciales foliares a lo largo del experimento, comenzando con una reducción de estos para luego mantenerse constantes y aumentar levemente al terminar las mediciones.

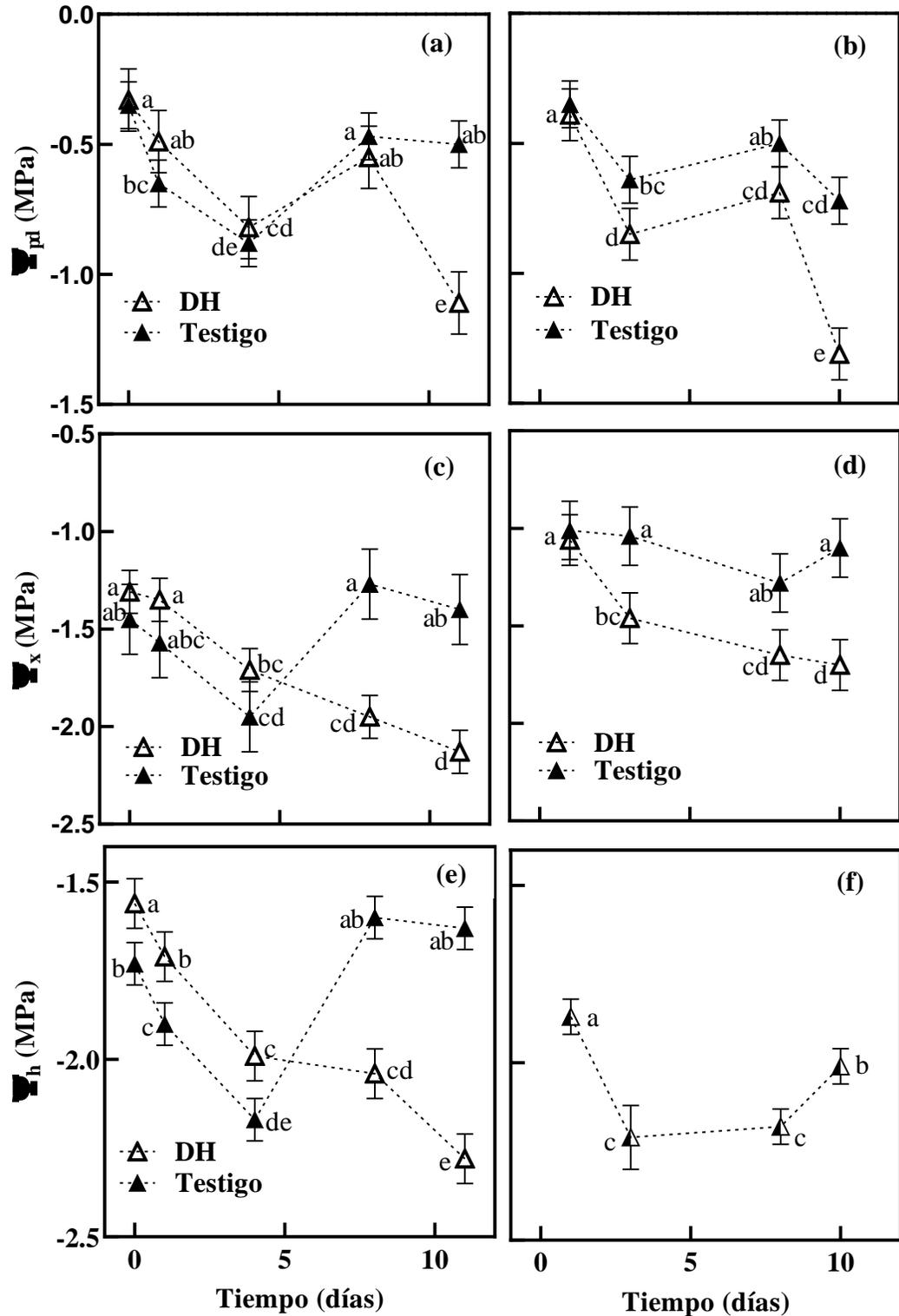


Fig. 7: Variación promedio de potenciales hídricos de la variedad Sweetheart en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera y segunda temporada de medición (izquierda y derecha respectivamente). Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

**Conductancia estomática.** Al igual que en las variedades anteriores no se encontraron diferencia estadísticamente significativa para la conductancia estomática entre tratamientos, no obstante, se puede apreciar una variación significativa de conductancias a lo largo del experimento en ambas temporadas. En la primera temporada de medición se observó una disminución de conductancia desde el primer al cuarto día de medición, luego aumentó nuevamente hasta el octavo día para luego disminuir gradualmente hasta el término del experimento (Figura 8, a). En la segunda temporada de medición se observó una disminución de conductancia mucho más gradual en comparación a la primera temporada de medición, sin embargo, al igual que en la temporada anterior también se produjo un aumento de conductancia durante el experimento, la diferencia es que este fue al finalizar las mediciones (Figura 8, b).

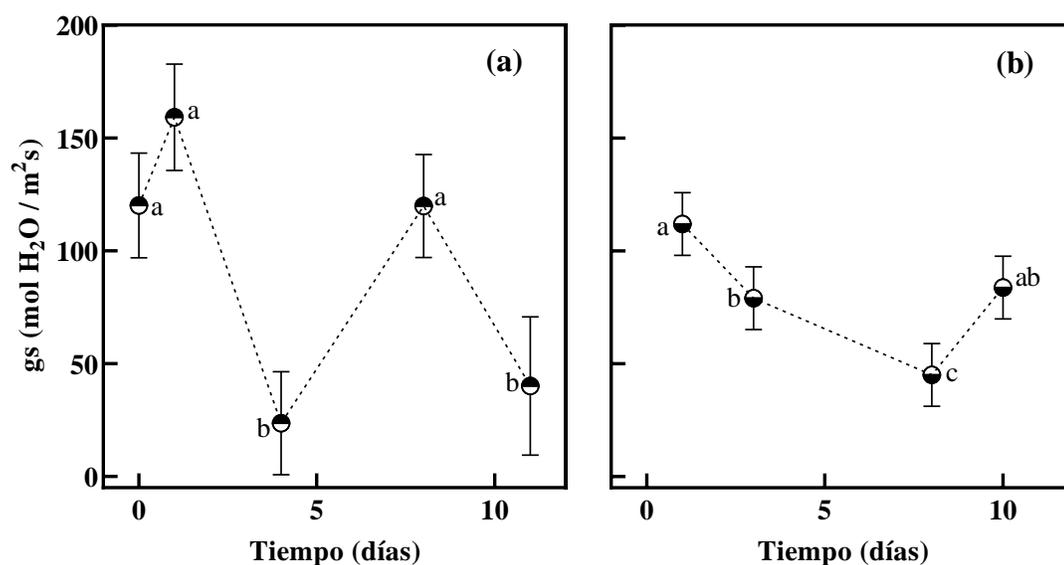


Fig. 8: Variación promedio de conductancia estomática instantánea de la variedad Sweetheart en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

**Fotosíntesis.** Entre ambos tratamientos no existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que, la variación observada solo considera la variación del flujo fotosintético a medida que avanza el experimento. Para la primera temporada se observó un pequeño aumento fotosintético el primer día, para luego disminuir rápidamente hasta el cuarto día y mantenerse estable hasta el fin del experimento (Figura 9, a). La segunda temporada desde un principio se observaron valores bajos de flujo fotosintético solo observándose una leve disminución el octavo día de mediciones, pero sin grandes cambios durante todo el experimento (Figura 9, b).

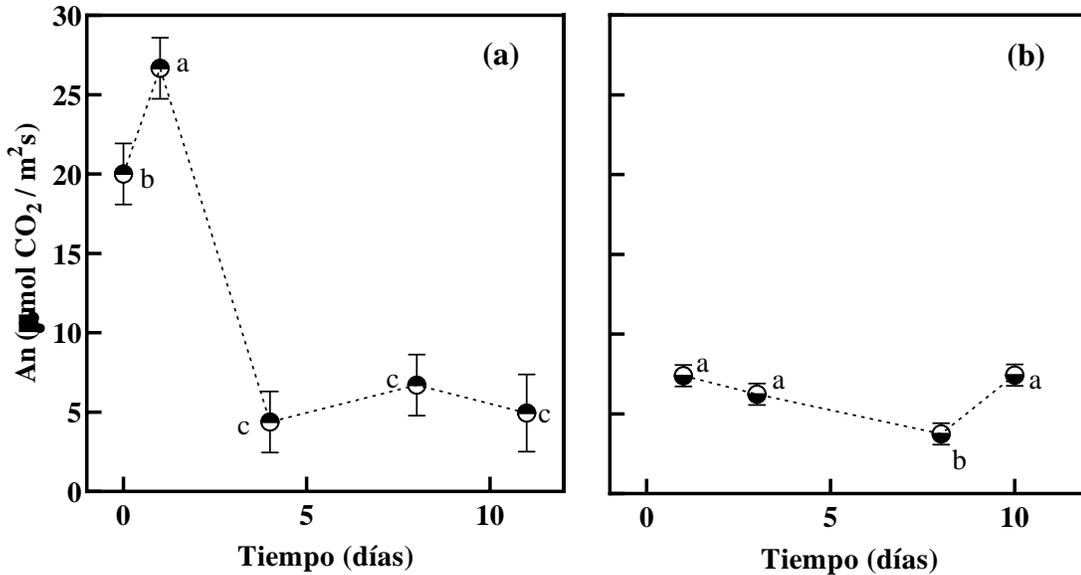


Fig. 9: Variación promedio de flujo fotosintético instantáneo de la variedad Sweetheart en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera (a) y segunda (b) temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

### Variedad Regina

**Potenciales hídricos.** La variedad Regina solo fue estudiada en la primera temporada, en la Figura 10 se puede observar las variaciones promedio de potenciales hídricos medidos en terreno. El  $\Psi_{pd}$  disminuyó gradualmente en ambos tratamientos sin presentar diferencias significativas hasta el cuarto día de medición, el tratamiento con déficit hídrico continuó reduciendo su potencial hasta finalizar el experimento, valores que disminuyeron desde valores cercanos a  $-0,5$  MPa al inicio del estudio hasta llegar a obtener valores cercanos a  $-1$  MPa al finalizar. El tratamiento testigo se mantuvo estadísticamente constante durante todo el estudio con valores promedios de  $0,5$  MPa (Figura 10, a).

En ambos tratamientos se observa una disminución del  $\Psi_x$ , siendo mayor en el testigo hasta el cuarto día, donde el tratamiento con déficit hídrico continúa con la reducción de potencial hasta terminar el experimento, llegando a valores inferiores a  $-2$  MPa. Mientras el testigo aumentó sus  $\Psi_x$  llegando a niveles iguales a los iniciales ( $-1,5$  MPa) en el octavo día, para luego volver a reducir estos hasta valores cercanos a  $-1,8$  MPa (Figura 10, b).

En ambos tratamientos los  $\Psi_h$  disminuyeron a medida que avanzó el experimento, desde valores cercanos a  $-1,5$  MPa inicialmente hasta obtener valores cercanos en a  $-2$  MPa una vez finalizado el estudio. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en partes del estudio, al finalizar el experimento el tratamiento con DH presento valores inferiores de potencial ( $-2,3$  MPa) mientras que el tratamiento testigo se mantuvo constante en valores cercanos a  $-2$  MPa la mayor parte del estudio (Figura 10, c).

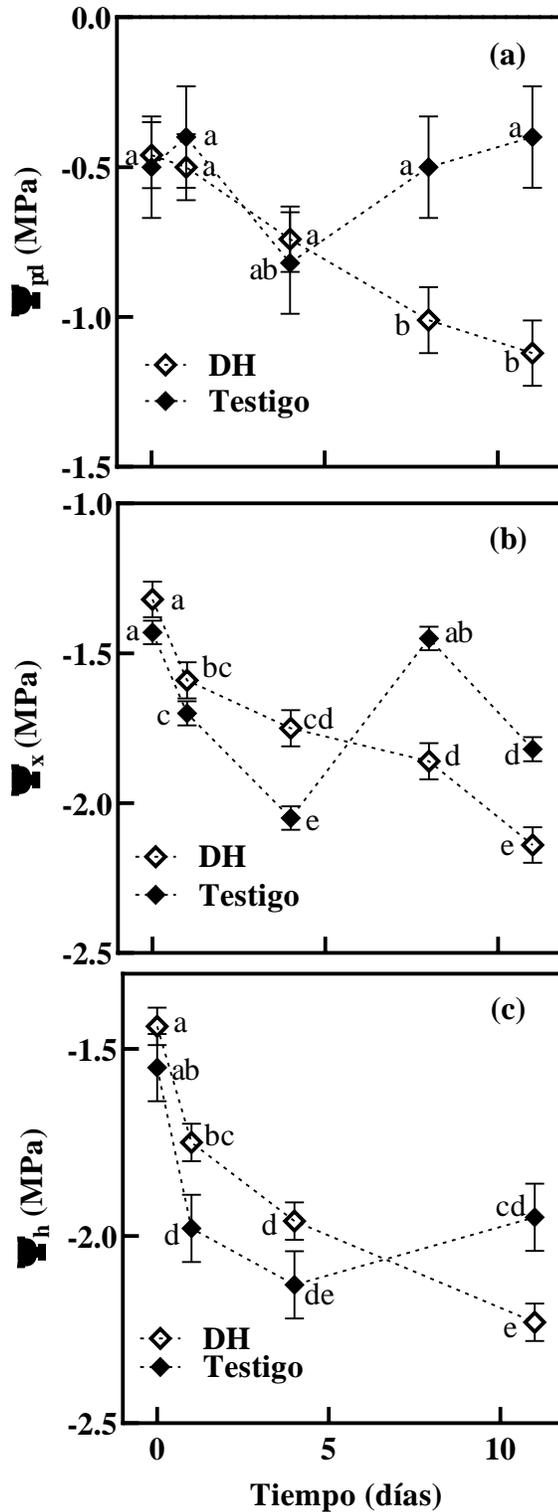


Fig. 10: Variación promedio de potenciales hídricos de la variedad Regina en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

**Conductancia estomática y Fotosíntesis.** Al igual que las variedades anteriores tanto la conductancia estomática como el flujo fotosintético no mostraron diferencias estadísticamente entre tratamiento, solo se puede observar la variación de estas variables a medida que avanza el experimento. Dicho esto, se puede observar claramente una disminución bastante rápida de conductancia estomática en el primer día de medición tras iniciado el experimento y para luego mantenerse constante a lo largo de todo el experimento en un valor bajo (Figura 11, a). La fotosíntesis instantánea medida sigue el mismo patrón de disminución solo un poco más gradual a lo largo del experimento en comparación de la conductancia (Figura 11, b).

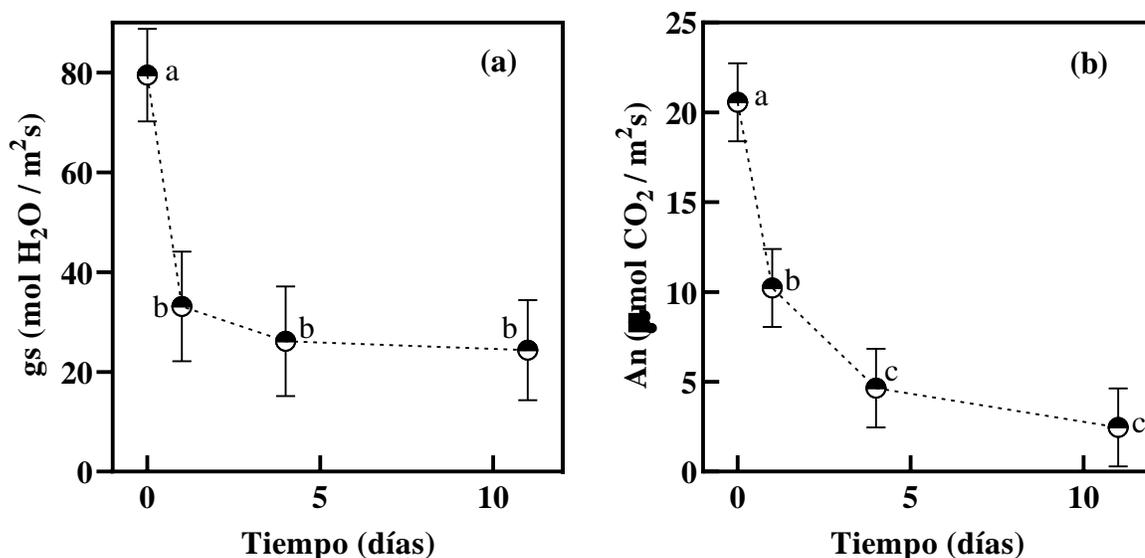


Fig. 11: Variación promedio de conductancia estomática (a) y flujo fotosintético instantáneo (b) de la variedad Regina en comparación a los días transcurridos después del corte de riego, para la primera temporada de medición. Promedios unidos por letras distintas indican diferencia estadística significativa entre los diferentes tiempos de medición, según la prueba estadística LSD de Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

### Regresiones asociadas al ensayo de déficit progresivo

#### Potencial hídrico foliar vs Potencial hídrico xilemático

Se realizaron regresiones lineales entre  $\Psi_h$  y  $\Psi_x$ , obtenidos en las mediciones en campo, para determinar el grado de correlación de ambas variables para cada una de las variedades estudiadas. Cada una de las regresiones lineales obtenidas fueron estadísticamente significativas y positivas, por ende a medida que los  $\Psi_x$  de los frutales se reducían según las condiciones disponibles desfavorables, los  $\Psi_h$  también se veían afectados y disminuían (Apéndices 2-5).

Sin embargo, dado la gran variabilidad de datos obtenidos a lo largo del estudio, se obtuvieron diferentes grados de ajuste y pendiente para cada una de las variedades y temporadas, “Lapins” en la primera temporada (Apéndice 2, a) presenta una menor dispersión de los datos y una mayor pendiente al compararla con la segunda temporada (Apéndice 2, b). “Santina” presenta menos diferencia entre la dispersión de los datos entre temporadas de estudio, pero la segunda temporada (Apéndice 3, b) llegó a obtener potenciales hídricos menores y una mayor pendiente que la primera temporada (Apéndice 3, a). La variedad Sweetheart demuestra la gran variabilidad que se puede obtener en estudios realizados en campo, en donde durante la primera temporada se observa un gran ajuste de los datos a la regresión y una alta pendiente (Apéndice 4, a), la segunda temporada presenta una gran dispersión de los datos, llevando esto a reducir la pendiente de la regresión (Apéndice 4, b). Finalmente, “Regina” presenta un gran ajuste de datos a la regresión y una pendiente alta y casi paralela a la curva 1:1 (Apéndice 5).

### **Diferencia entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos vs Potencial hídrico a pre alba**

Las regresiones analizadas anteriormente, nos muestran en algunos casos una gran variabilidad de  $\Psi_h$  para un mismo nivel de  $\Psi_x$ , por este motivo, se decidió comparar el grado de diferenciación entre ambos potenciales a medida que se restringe la disponibilidad del recurso hídrico, asumiendo esto como una disminución de  $\Psi_{pd}$  (Apéndices 6-9).

La variedad Lapins en la primera temporada se observa una disminución de la diferencia de potenciales a medida que disminuye el potencial hídrico de pre alba (Apéndice 6, a), lo cual no se puede apreciar en la segunda temporada, en donde la alta dispersión de datos a potenciales hídricos de pre alba más positivos hace imposible generar algún tipo de regresión significativa (Apéndice 6, b). En “Santina” ambas temporadas se observa una regresión lineal significativa, en donde demuestra que a menor potencial hídrico a pre alba, y por ende menor disponibilidad hídrica, más cercanos son los  $\Psi_h$  y  $\Psi_x$  (Apéndice 7), pero también se observa una mayor pendiente en la segunda temporada, lo que significa que hubo una mayor diferenciación de potenciales en Cauquenes en condiciones hídricas favorables (Apéndice 7, b). En la variedad Sweetheart paso lo opuesto a lo observado anteriormente en “Lapins”, en la primera temporada (Apéndice 8, a) no se puede observar una variación significativa entre la diferencia de potenciales a medida que disminuye la disponibilidad hídrica, manteniendo una diferencia casi constante, en cambio en la segunda temporada se observa claramente una disminución de esta diferencia entre potenciales a medida que se reduce la disponibilidad hídrica (Apéndice 8, b). En “Regina” no se observa una variación significativa de la diferencia de potenciales hídricos a medida que disminuye el potencial hídrico de pre alba (Apéndice 9).

### **Potencial hídrico foliar vs Conductancia estomática (gs)**

**Variedad Lapins.** Se observó una gran variabilidad entre los valores obtenidos en ambas temporadas, sin embargo, ambas presentan una regresión significativa positiva en donde a medida que aumenta el potencial hídrico foliar aumenta la conductancia estomática (Figura 12).

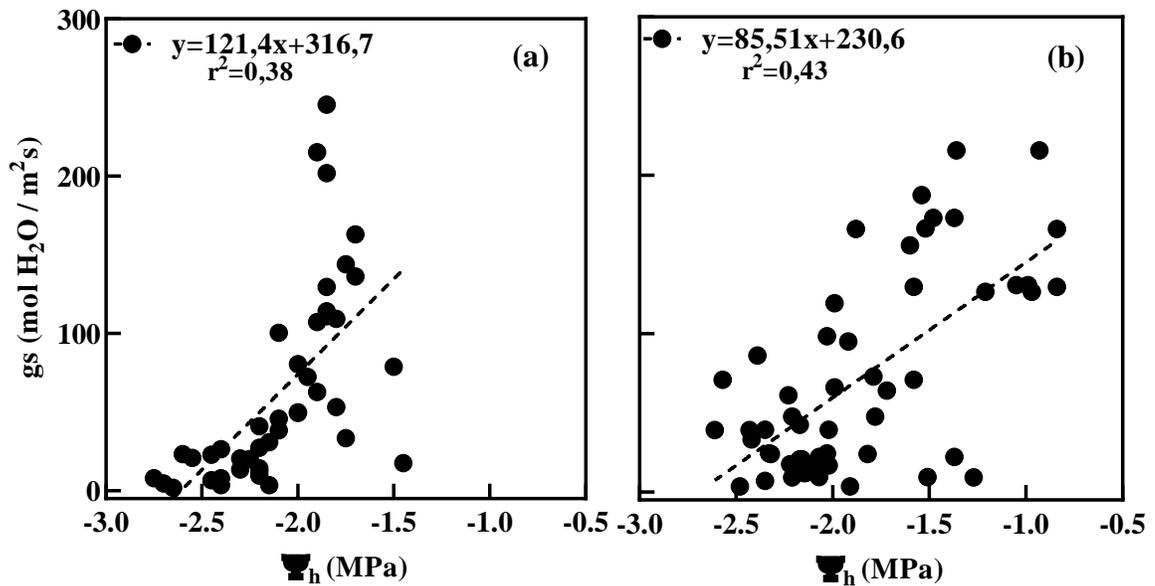


Fig. 12: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y conductancia estomática para la variedad Lapins en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.

**Variedad Santina.** La segunda temporada presenta una mayor dispersión de datos en comparación a la primera temporada, no obstante, en ambas se obtuvieron regresiones lineales significativas y positivas al igual que la variedad anterior (Figura 13).

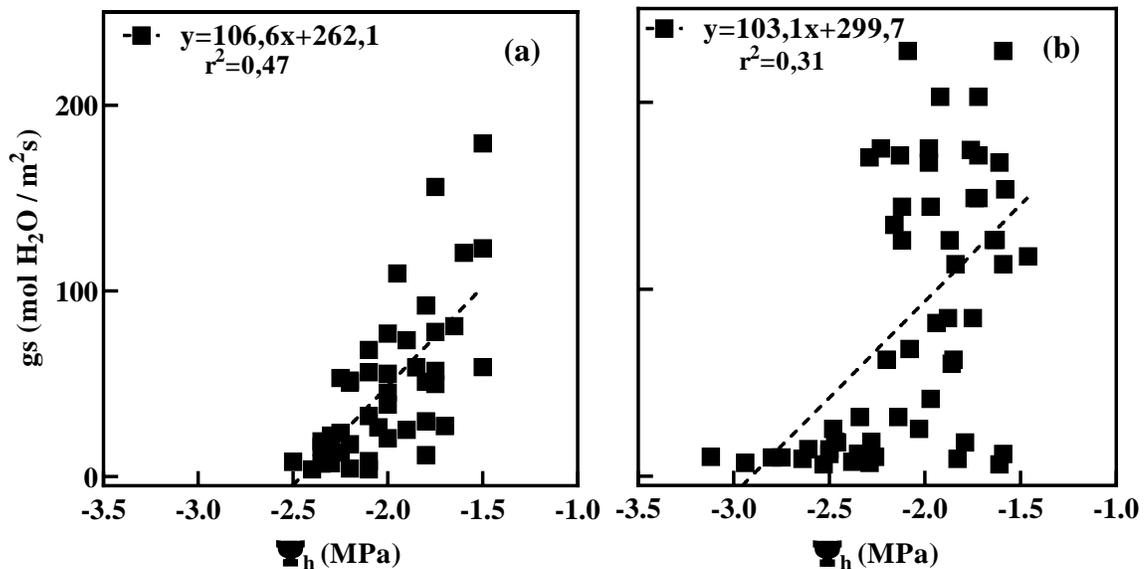


Fig. 13: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y conductancia estomática para la variedad Santina en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.

**Variedad Sweetheart.** Entre ambas temporadas de muestra una gran diferencia de pendientes observadas en cada regresión, no obstante, en ambas temporadas dichas regresiones son estadísticamente significativas y poseen una regresión positiva al igual que en los casos anteriores (Figura 14).

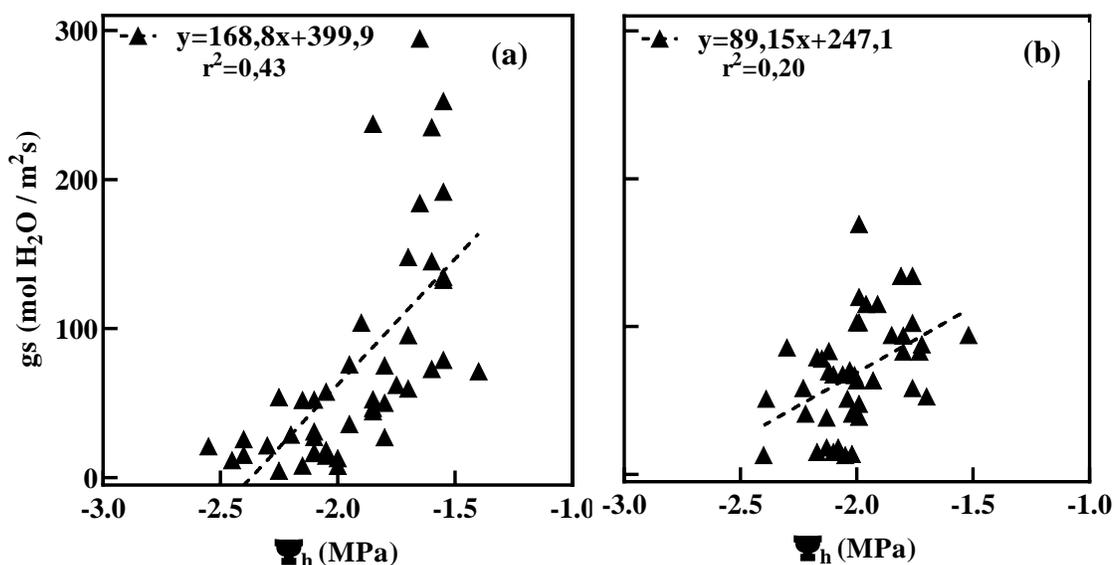


Fig. 14: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y conductancia estomática para la variedad Sweetheart en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.

**Variedad Regina.** A pesar de presentar una gran dispersión de datos y poca cantidad de estos para analizar, se logró realizar una regresión significativa positiva al igual que en las variedades estudiadas anteriormente (Figura 15).

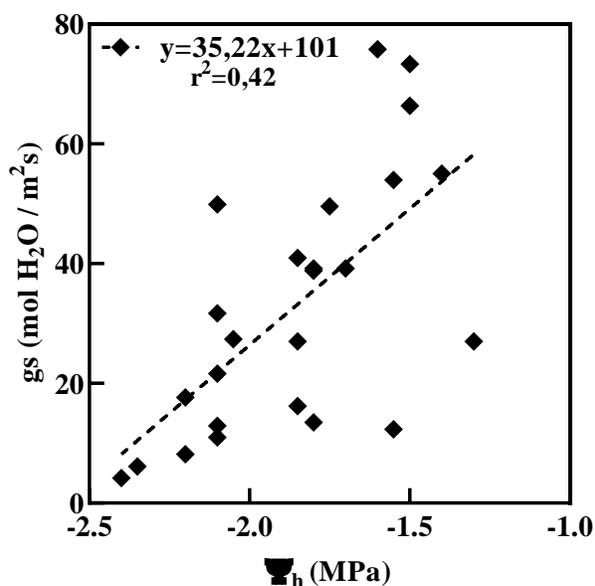


Fig. 15: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y conductancia estomática para la variedad Regina en la primera temporada de medición.

Basándose en las regresiones lineales realizadas se generó el siguiente cuadro comparativo, el cual identifica los potenciales hídricos en donde se genera un cierre estomático total y por ende un cese en la conductancia estomática y fotosíntesis.

Cuadro 1: Potenciales hídricos foliares, xilemáticos y de pre-alba en condiciones de cierre estomático total, para las cuatro variedades estudiadas y en ambas temporadas de medición.

Variedad	Localidad	$\Psi_h$ MPa	$\Psi_x$ MPa	$\Psi_{pd}$ MPa
Lapins	Requínoa	-2,60	-2,65	-1,79
	Cauquenes	-2,70	-2,70	-2,22
Santina	Requínoa	-2,46	-2,57	-1,41
	Cauquenes	-2,91	-2,73	-2,53
Sweetheart	Requínoa	-2,37	-2,39	-1,35
	Cauquenes	-2,77	-4,56	-3,88
Regina	Requínoa	-2,87	-2,87	-2,39

### Conductancia estomática (gs) vs Fotosíntesis (An)

Se obtuvieron regresiones no lineales significativas entre los datos de conductancia estomática y tasa fotosintética instantánea medidos en campo para cada una de las variedades y temporadas, dichas regresiones se realizaron en base a la ecuación específica para comparar ambas variables empleada por Rouhi et al. (2007) y Romero et al. (2004). Se presentaron diferentes grados de dispersión de datos y valores obtenidos para cada uno de los casos analizados.

“Lapins” en la primera temporada (Apéndice 10, a) se obtuvieron mayores niveles de fotosíntesis en comparación a lo obtenido en la segunda temporada para iguales niveles de conductancia estomática. No obstante, en la segunda temporada de estudio presenta un mejor ajuste de datos a la regresión y se obtuvieron mayores valores de conductancia estomática (Apéndice 10, b). Para las variedades “Santina” (Apéndice 11) y “Sweetheart” (Apéndice 12) en ambas temporadas se obtiene un alto ajuste de la regresión, sin embargo, los niveles fotosintéticos de la segunda temporada son notoriamente menores en comparación a la primera temporada de medición a niveles similares de conductancia estomática. Finalmente, la variedad Regina es la que presenta un menos ajuste de datos a la regresión, lo que pudo verse afectado por la baja cantidad de datos obtenidos en campo para esta variedad, además de una mala distribución de estos en la curva, a pesar de esto la regresión no lineal fue estadísticamente significativamente.

### Potencial hídrico foliar ( $\Psi_h$ ) vs Potencial hídrico a pre alba ( $\Psi_{pd}$ ) / Área de hidroscape

Se determinó el área de hidroscape calculando el área existente entre dos regresiones lineales (Meinzer et al., 2016), se realizó esto en dos situaciones; primero de forma empírica, en donde se calculó el área obtenida al comparar con una regresión del tipo 1:1, y la segunda forma se calculó según los datos obtenidos en campo, generando una regresión con el valor de potencial hídrico foliar en donde la conductancia estomática es nula, y, por ende, el cierre estomático es completo.

**Variedad Lapins.** A pesar de observarse un mayor grado de dispersión en la segunda temporada de medición, en ambas situaciones se observa una regresión lineal significativa entre potenciales hídricos foliares y de pre alba (Figura 16). Se determinó el área de hidroscape en ambas situaciones para poder comparar y analizar el comportamiento hidráulico, obteniendo valores empíricos de 2,91 (Figura 16, a) y 2,33 MPa<sup>2</sup> (Figura 16, c) para la primera y segunda temporada respectivamente. Al calcular el área en base a los datos obtenidos en campo se observa un pequeño aumento en la primera temporada y reducción de esta área en la segunda temporada, con valores respectivos de 2,92 (Figura 16, b) y 1,57 MPa<sup>2</sup> (Figura 16, d).

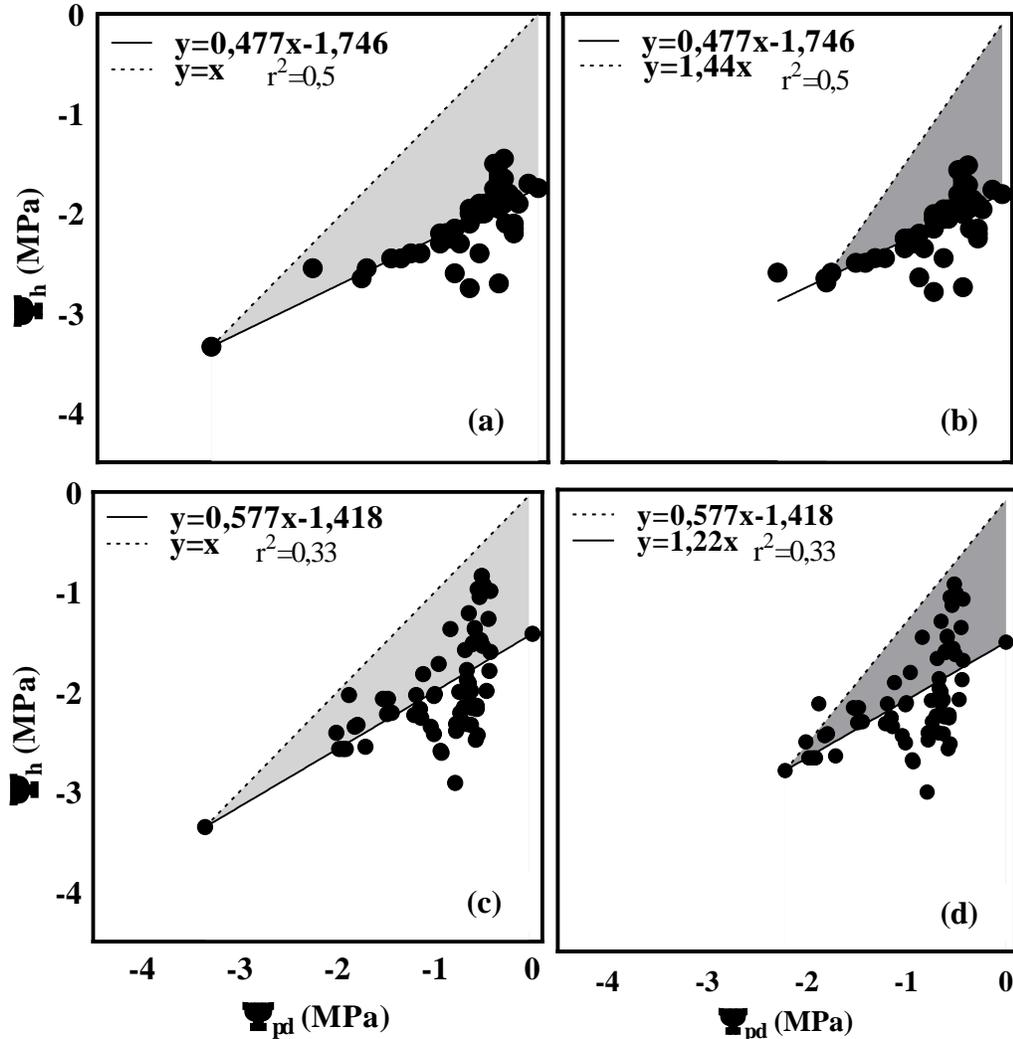


Fig. 16: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y de pre alba para la variedad Lapins en la primera (a y b) y segunda (c y d) temporada de medición. Área achurada representa el área de hidroscape empírica (a y c) y la calculada en base a datos reales (b y d).

**Varietad Santina.** En ambas temporadas de medición se aprecian regresiones lineales significativas, sin embargo, en la segunda temporada se puede una mayor dispersión de datos, llegando potenciales más bajos (Figura 17). El área de hidroscape varía según la forma de medición, empíricamente se obtienen valores de 3,26 (Figura 17, a) y 2,62 MPa<sup>2</sup> (Figura 17, b) para la primera y segunda temporada de medición respectivamente, no obstante, al compararlas con la obtenida en base a los datos de campo, para la primera temporada se obtiene un área de hidroscape de 1,128 MPa<sup>2</sup> (Figura 17, b), la cual es prácticamente menos de la mitad a lo obtenido empíricamente. Finalmente, en la segunda temporada el área de hidroscape es exactamente la misma a pesar de los diferentes métodos de medición 2,62 MPa<sup>2</sup> (Figura 17, d).

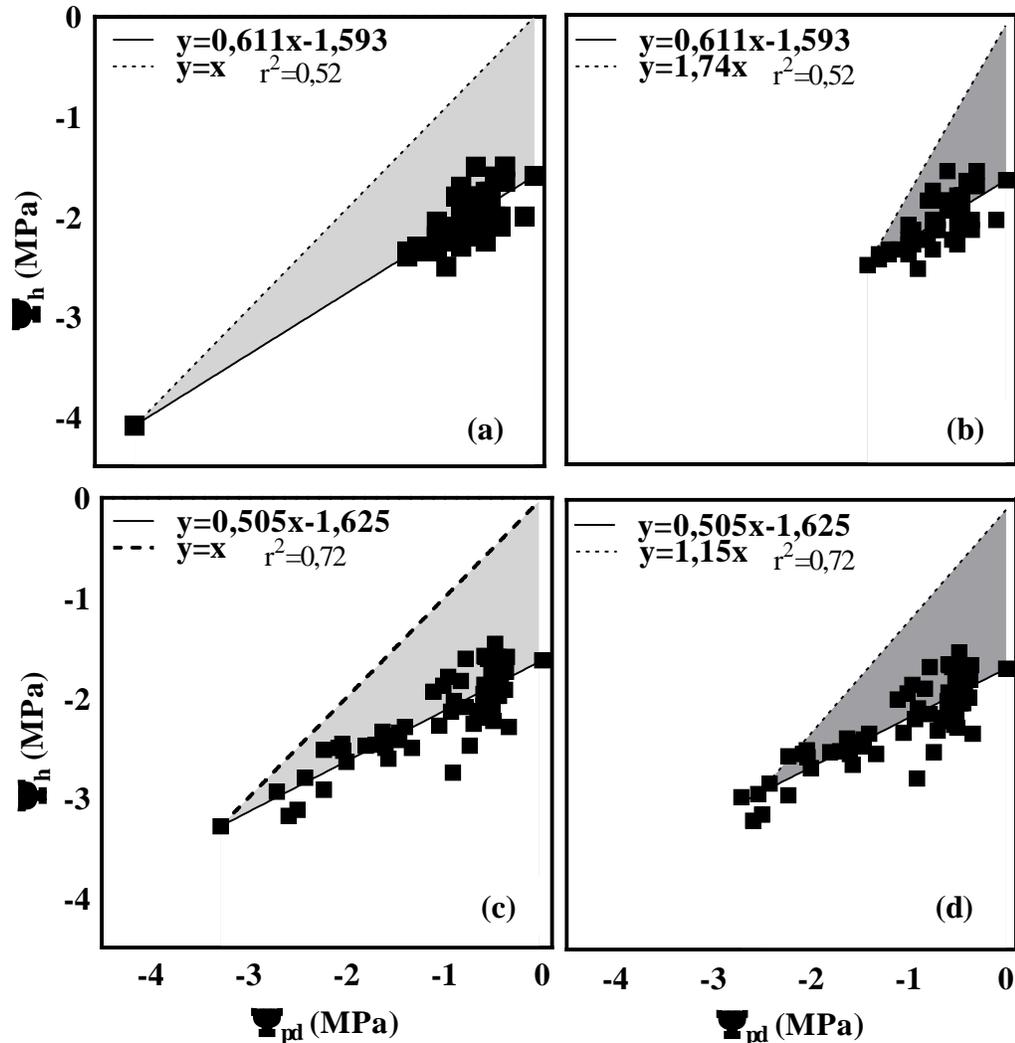


Fig. 17: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y de pre alba para la variedad Santina en la primera (a y b) y segunda (c y d) temporada de medición. Área achurada representa el área de hidroscape empírica (a y c) y la calculada en base a datos reales (b y d).

**Variedad Sweetheart.** A pesar de tener una similar dispersión de datos en lo que corresponde a valores observados de potenciales, ambas temporadas presentan regresiones lineales significativas. No obstante, se puede apreciar una mayor pendiente en la primera temporada, lo cual conlleva a tener una mayor área de hidroscape en el método empírico utilizado, con el cual de obtuvieron valores de 3,22 (Figura 18, a) y 2,38 MPa<sup>2</sup> (Figura 18, c) para la primera y segunda temporada respectivamente. Al calcular el área en base a datos obtenidos en campo se generan valores contradictorios a los obtenidos empíricamente, estos valores corresponden a 0,99 (Figura 18, b) y 3,76 MPa<sup>2</sup> (Figura 18, d) para la primera y segunda temporada respectivamente.

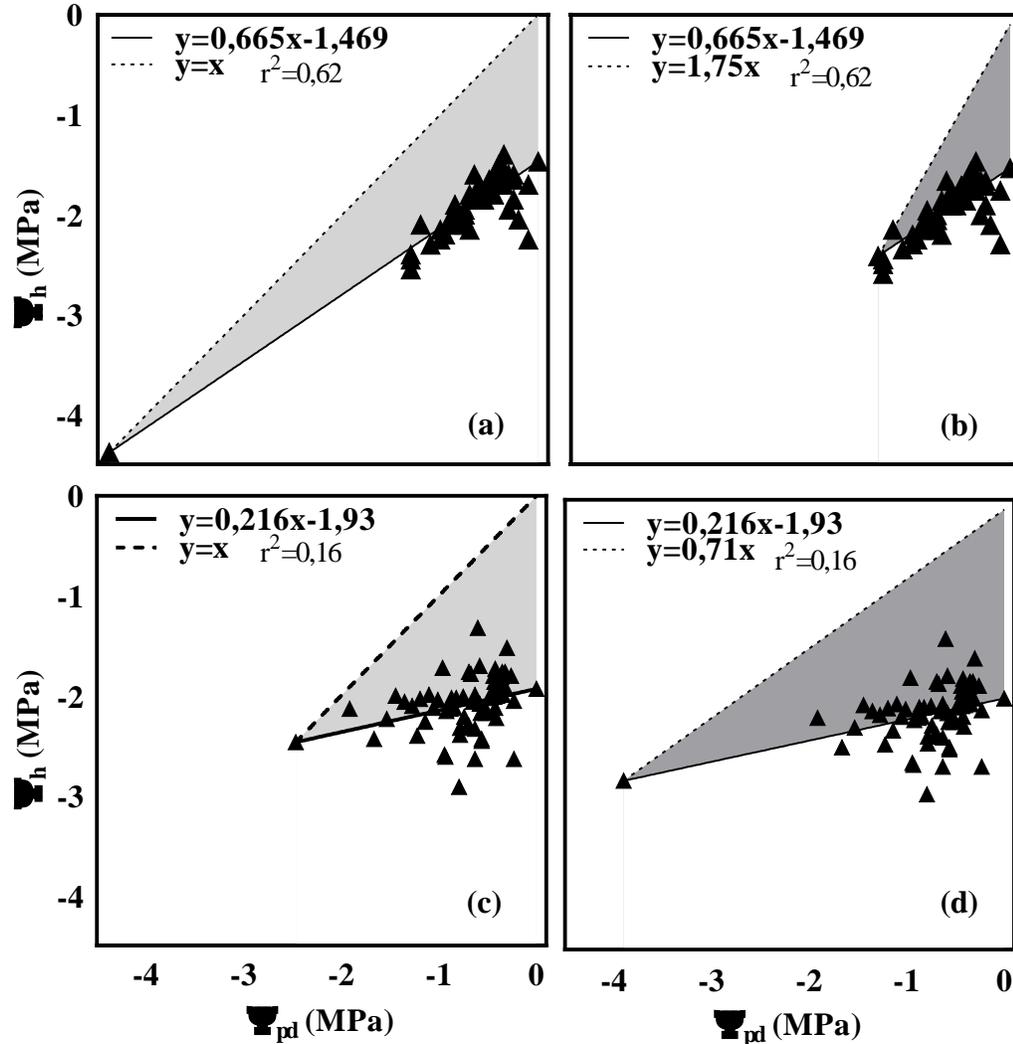


Fig. 18: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y de pre alba para la variedad Sweetheart en la primera (a y b) y segunda (c y d) temporada de medición. Área achurada representa el área de hidroscape empírica (a y c) y la calculada en base a datos reales (b y d).

**Variedad Regina.** Se observa una regresión lineal significativa entre potenciales hídricos para la primera temporada de medición, con área de hidroscape empírica de  $2,62 \text{ MPa}^2$  (Figura 19, a) y un área de hidroscape en base a los datos obtenidos en campo de  $1,74 \text{ MPa}^2$  (Figura 19, b).

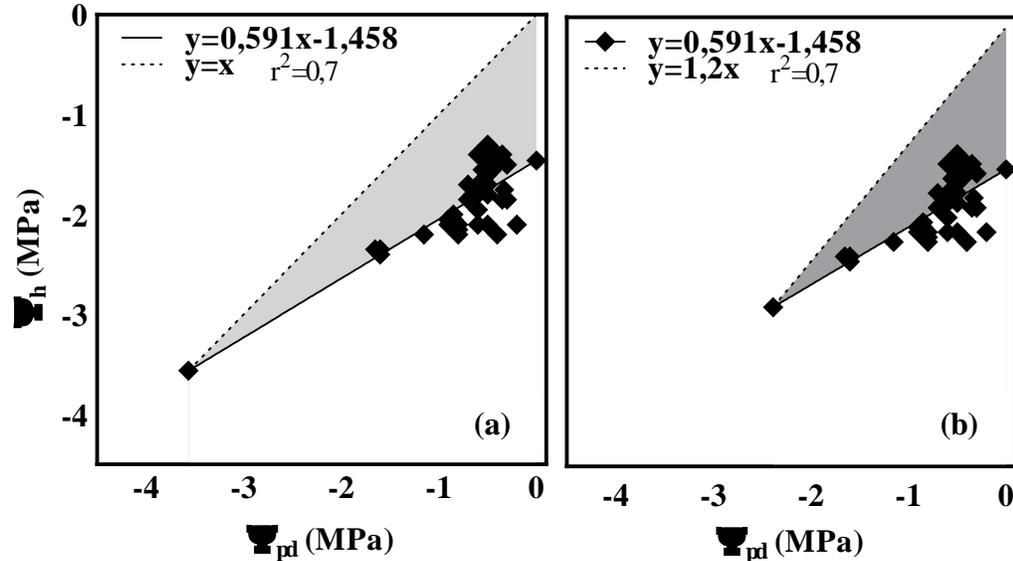


Fig. 19: Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y de pre alba para la variedad Regina en la primera temporada de medición. Área achurada representa el área de hidroscape empírica (a) y la calculada en base a datos reales (b).

Se realizaron análisis de conglomerado de las distintas áreas de hidroscape obtenidas por cada variedad y temporada, junto a las áreas de hidroscape de especies modelos de comportamiento iso-hídrico y aniso-hídrico estudiadas por Meinzer et al (2016): *S. scouleriana* (0,7 MPa<sup>2</sup>) y *Q. garryana* (8,4 MPa<sup>2</sup>) respectivamente.

Con ambos métodos de medición empleados para calcular el área de hidroscape, las variedades estudiadas en ambas temporadas están agrupadas junto a *S. scouleriana*, según el criterio de agrupamiento “mitad del valor máximo”, por lo tanto, se considera que las cuatro variedades estudiadas presentan un comportamiento similar al tipo Iso-hídrico.

Sin embargo, se observan diferencias leves entre variedades estudiadas en diferentes temporadas de medición. Diferencias que varían según el método de medición empleado; con el método empírico de medición la variedad Regina (estudiada solo en la primera temporada) esta agrupada junto a las variedades Sweetheart, Santina y Lapins estudiadas en la segunda temporada con un comportamiento un poco más iso-hídrico que las mismas tres variedades estudiadas en la primera temporada. Sin embargo, al calcular el área de hidroscape según los datos obtenidos en campo, esta diferenciación no es tan clara. La variedad Regina junto a la variedad Lapins de la segunda temporada siguen siendo agrupadas juntas en un grupo con comportamiento más del tipo iso-hídrico, sin embargo, también pertenecen a ese grupo la variedad Sweetheart y Santina de la primera temporada de medición (Figura 20).

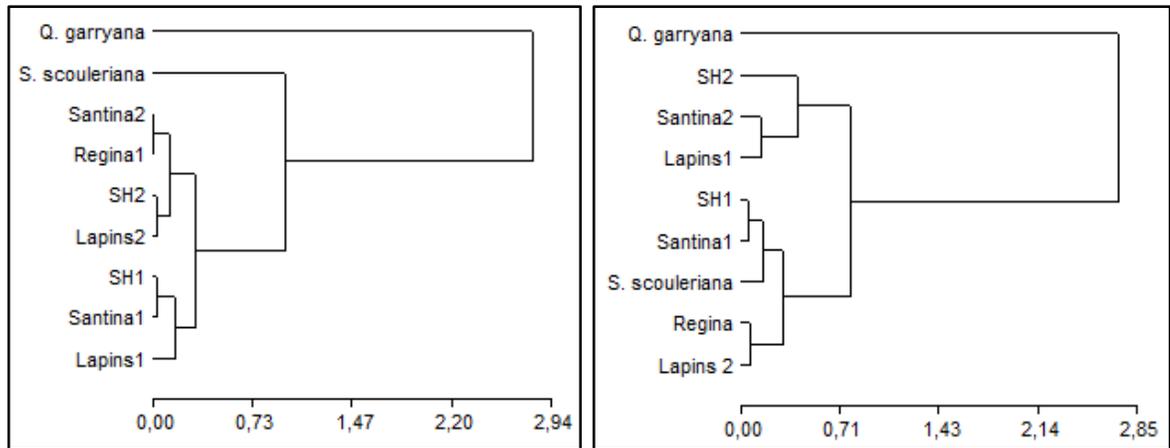


Fig. 20: Análisis de conglomerado jerárquico con métrica euclídea y agrupamiento por promedio para áreas de hidroscape de cada variedad y temporada de medición. Metodología de medición empírica y medición en base a los datos de campo (izquierda y derecha respectivamente).

### Vulnerabilidad del Xilema a la falla hidráulica

Al comparar las curvas de vulnerabilidad hidráulica del xilema entre diferentes variedades (Figura 21), es posible asegurar que las variedades Lapins y Santina son estadísticamente iguales, dado que los intervalos de confianza de  $P_{50}$ , el potencial hídrico xilemático en el cual se pierde el cincuenta por ciento de la conductividad hidráulica, se superponen entre sí (Cuadro 2). La variedad Sweetheart presenta valores de  $P_{50}$  mayores que Lapins y Santina, por lo que, la variedad Sweetheart posee una mayor resistencia a la falla hidráulica.

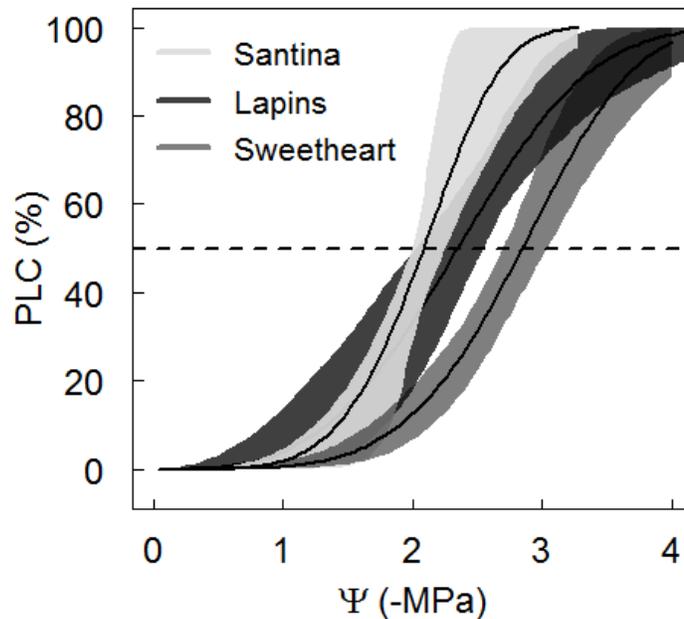


Fig. 21: Comparación de curvas de vulnerabilidad hidráulica entre variedades.

Cuadro 2: Intervalos de confianza de P<sub>50</sub> de variedades Lapins, Santina y Sweetheart.

Variedad	I.C. P <sub>50</sub> (MPa)
Lapins	2,024 - 2,541 a
Sweetheart	2,693 - 3,033 b
Santina	1,996 - 2,254 a

Promedios con letras distintas indican la diferencia estadísticamente significativa entre variedades, según la prueba de Tukey (p-valor<0,05).

Además, se estudiaron las pérdidas de conductividad hidráulica de ramillas sometidas al tratamiento de déficit hídrico progresivo y se compararon con ramillas testigo en un análisis de varianza, dando como resultado ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3: Valores promedios del porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica para variedades Lapins, Santina y Sweetheart en ambos tratamientos estudiados.

Tratamiento	Variedad	PLC %
DH	Lapins	4,49
	Santina	0,86
	Sweetheart	6,10
Testigo	Lapins	9,33
	Santina	6,86
	Sweetheart	3,40

No existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de LSD-Fisher (p-valor<0,05).

### Curvas Presión-Volumen

Se realizaron 10 curvas de presión-volumen para cada variedad estudiada, y luego se compararon estadísticamente para determinar diferencias significativas entre variedades, las cuales se pueden observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Resultados de análisis de la varianza para curvas presión-volumen para variedades Lapins, Sweetheart, Santina y Regina.

Variedad	$\pi^*$ (MPa)	$\pi_{TL}$ (MPa)	$\epsilon$ (MPa)	$\Psi_{TL}$ (MPa)	CFT (MPa <sup>-1</sup> )	CFT* (mol m <sup>-2</sup> MPa <sup>-1</sup> )	Ra' (%)
Lapins	-1,30a	-2,04b	6,30a	-1,45b	0,10a	1,06a	57,26a
Sweetheart	-1,05b	-1,80bc	6,87a	-1,33b	0,10a	1,21a	63,98b
Santina	-1,17ab	-2,32a	6,29a	-2,16a	0,07a	0,68a	51,52a
Regina	-1,20ab	-1,77c	8,03a	-1,31b	0,08a	0,82a	63,31b

Promedios con letras iguales indican la diferencia estadísticamente no significativa entre variedades, según la prueba de LSD-Fisher (p-valor<0,05).

No existen grandes diferencias estadísticas entre variedades para el potencial hídrico osmótico a saturación ( $\pi^*$ ), sin embargo, para el potencial hídrico en el cual se produce pérdida de turgor celular ( $\Psi_{TL}$ ) se observan diferencias estadísticamente significativas, en donde la variedad Santina resiste potenciales menores en contraste a Lapins, Sweetheart y Regina que son más vulnerables a pérdida de turgor celular. Relacionado con este último punto, también existieron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de agua al interior de la célula cuando se produce la pérdida de turgor celular (Ra'), en donde Sweetheart y Regina poseían mayor porcentaje de agua al interior que Lapins y Santina en dicho potencial hídrico.

## DISCUSIÓN

El presente estudio consistió en investigar y comparar variedades comerciales de cerezo en relación a los componentes hidráulicos de estas al exponerse a condiciones progresivas de déficit hídrico. Una de las principales características hidráulicas cuantificadas y analizadas fueron los potenciales hídricos y como estos variaron a lo largo del estudio, es bien conocido que la medición de potenciales hídricos puede darnos información relacionada al estado hídrico en que se encuentra una planta, puesto que se puede observar una disminución clara de estos a medida que disminuye en la disponibilidad hídrica (Silva *et al.*, 2015; Taiz y Zeiger, 2002). La medición de estos junto a la obtención de fotosíntesis instantánea y conductancia estomática nos dio una idea clara de cuanto se vieron afectados los frutales a lo largo de todo el estudio.

Uno de los potenciales hídricos medidos fue el potencial hídrico de pre alba, el cual es considerado equivalente al potencial hídrico del suelo pues se asume que la planta está en equilibrio con el suelo al cerrar estomas durante la noche (Breda et al. 1995). En todas las variedades se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, en algunos casos esta diferencia solo se destacó hacia finales del experimento, tales como la variedad Lapins (Figura 1, a) y la variedad Sweetheart (Figura 7, a) en la primera temporada. Esto pudo deberse a un riego efectuado muy tarde en el periodo de estudio. En la variedad Sweetheart se presentó un alza de potencial en el tratamiento con déficit hídrico, lo cual no tendría sentido en el contexto del experimento, no obstante podría explicarse por alguna fuga o movimiento de agua en el subsuelo que pudo haber afectado a los árboles del experimento. Para cada uno de los ensayos realizados se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de déficit progresivo y el testigo (basado en el riego normal del campo) para los datos obtenidos de potenciales hídricos xilemáticos y foliares, además se muestra una clara disminución de dichos potenciales a medida que se redujo la disponibilidad hídrica en el tratamiento con DH (Figura 1, 4, 7 y 10).

Sin embargo, al analizar las mediciones de conductancia estomática, solo la variedad Lapins durante la primera temporada (Figura 2, a) presentó una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, en los otros casos, dicha diferencia no fue significativa pero en la mayoría se observó una disminución de la conductancia estomática a lo largo del período de medición. Esto se puede explicar por una alta variabilidad de conductancias medidas lo cual pudo afectar los promedios obtenidos y generar valores similares entre tratamientos. Pero también es bien conocido que la conductancia estomática de una planta es muy variable y depende de muchos factores externos, no solo la disponibilidad hídrica, como por ejemplo, la demanda atmosférica (Franks, 2004; Lange et al., 1971).

El Cuadro 1, muestra los potenciales hídricos estimados en cada variedad cuando existe una conductancia estomática nula. Al comparar estos resultados con la variación promedio de potenciales hídricos obtenidos en el ensayo de déficit hídrico progresivo (Figuras 1, 4, 7 y 10), se puede observar que en la primera temporada de medición las variedades Lapins, Santina y Sweetheart con tratamientos de déficit hídrico progresivo llegan a un nivel de estrés en donde se genera un cierre estomático total en el último día de medición (11 días post corte de riego). Las mismas variedades evaluadas en la segunda temporada (Cauquenes), a pesar

de verse fuertemente afectadas por DH, el nivel de estrés no fue suficiente para obtener en promedio un cierre estomático total; al igual que la variedad Regina en Requínoa. Los datos de potencial hídrico foliar en la segunda temporada de ‘Sweetheart’ fueron altamente dispersos generando con ello regresiones lineales significativas, pero con una pendiente baja. Lo que conlleva a obtener valores estimados de potencial xilemático y pre-alba extremadamente altos y poco realistas.

Los datos obtenidos de conductancia estomática y potenciales hídricos foliares fueron empleados para determinar el grado de isohidricidad de cada una de las variedades (Franks et al., 2007; Tardieu y Simonneau, 1998) empleando el método de estimación de área de hidroscape, el cual permite estudiar el comportamiento hidráulico de especies vegetales y se define como “el área en donde los estomas pueden realizar un control efectivo en estado hídrico de la planta”. Es un método mucho más preciso para determinar el tipo de comportamiento de cada especie dado que integra diferentes variables hidráulicas, como la regulación estomática, la arquitectura hidráulica y la tolerancia a la sequía (Meinzer et al. 2016 y Li et al. 2019).

Se realizó un análisis de conglomerados, entre los valores de áreas de hidroscape de cada variedad y temporada estudiada y los valores obtenidos por Meinzer et al. (2016) de dos especies modelos, *S. scouleriana* y *Q. garryana*, las cuales fueron clasificadas con un comportamiento altamente iso- y aniso-hídrico respectivamente. Dicho análisis permitió determinar que todas las variedades en estudio poseen un comportamiento hidráulico similar al del tipo iso-hídrico, con variados grados de anisohidrismo. Por esta razón se analizó cada uno de los conglomerados para determinar la segmentación según el comportamiento de las variedades estudiadas (Figura 20). Dicha segmentación difiere según el método de cálculo del área de hidroscape. Usando el método empírico empleado por Meinzer et al. (2016) y Li et al. (2019), en donde se genera un punto de intersección entre las rectas lineales estimadas con una recta lineal perfecta del tipo 1:1, la segmentación no fue entre variedades como se podría haber esperado, sino entre temporadas de medición, agrupando a Lapins, Sweetheart y Santina de la primera temporada con una mayor área de hidroscape y, por lo tanto, una mayor área en donde los estomas puedan generar algún tipo de control en el potencial. Lo anterior se asocia a un comportamiento más del tipo anisohídrico que ‘Lapins’, ‘Sweetheart’ y ‘Santina’ de la segunda temporada, y ‘Regina’ de la primera temporada de medición, mostrando un comportamiento más del tipo isohídrico.

En el segundo método de cálculo del área de hidroscape se utilizaron los datos del Cuadro 1 en donde se señala el potencial hídrico foliar cuando la conductancia estomática fuera nula, se realizó una recta específica para cada variedad y temporada que reemplazó a la recta 1:1 y determinando con ello diferentes áreas basadas en valores obtenidos en campo. La segmentación obtenida fue diferente a lo obtenido por el método empírico, a pesar de mantener una clara diferenciación entre temporadas de medición en las variedades estudiadas. Las variedades Santina y Sweetheart en la primera temporada, se asociaron a la ‘Lapins’ de la segunda temporada y a ‘Regina’, con un comportamiento más isohídrico que sus pares de las temporadas opuestas. Dado que este método considera valores reales estudiados en campo, la clasificación obtenida por este método es más representativa a la obtenida por el método empírico. No obstante, la alta dispersión de datos obtenidos en ‘Sweetheart’ de la segunda temporada, generó una recta lineal significativa, pero con una

pendiente mucho más baja de lo esperado y por ende un área de hidroscape mayor y poco representativa (Figura 20).

Aunque sea mínima, la diferenciación de comportamiento entre temporadas de medición de ‘Lapins’ y ‘Santina’ puede ser explicado por múltiples razones, entre ellas las distintas condiciones climáticas y fenológicas que se vieron enfrentadas los árboles de cerezo en el momento de medición (Li et al., 2019) y además, distintas condiciones de manejo y producción a la que se ven enfrentadas al ser distintos fundos productivos. Climáticamente existe una diferencia clara entre los dos huertos frutícolas estudiados, en donde Cauquenes (temporada 2) presenta una mayor demanda evapo-transpirativa, y por ende se esperaba un comportamiento más restrictivo por parte de los estomas (Buckley, 2005; Franks, 2004; Lange et al., 1971), a pesar de esto, en Cauquenes solo la variedad Lapins se comportó de una manera más iso-hídrica que su par en Requínoa. Sin embargo, no solo la demanda atmosférica modifica el comportamiento estomático, también la radiación, la cual durante las semanas de medición fue mayor en Cauquenes. Esto puede explicar el comportamiento de la variedad Santina, que a pesar de estar sometida a una condición de estrés, logró un comportamiento levemente más aniso-hídrico y con ello mantener la actividad fotosintética por un mayor tiempo (Anjum et al., 2011; Athar y Ashraf, 2005; Chavez 2009). Fenológicamente, todas las variedades fueron analizadas en el mes de enero, por ende, en un periodo de post-cosecha, en donde al ser eliminados los principales sumideros la demanda fotosintética de los frutales disminuye (Quentin et al., 2013; Roper et al., 1988) y con ello la necesidad de mantener una conductancia estomática alta. Esto pudo haber afectado el comportamiento de las variedades estudiada, llevando a estas a mantener un comportamiento Iso-hídrico dado las condiciones de estrés en las cuales se vieron involucradas. Sin embargo, es fundamental continuar estudiando estas variedades, y otras con importancia agronómica, en diferentes situaciones fenológicas y ambientales para poder comprender en su totalidad la respuesta a estrés hídrico y poder realizar manejos de riego adecuados y eficientes según corresponda.

Al comparar las tasas de fotosíntesis máximas alcanzadas por cada variedad estudiada se presenta una clara diferencia entre temporadas de medición, puesto que las variedades en Requínoa presentan en promedio más del doble de fotosíntesis instantánea que aquellas estudiadas en Cauquenes, a pesar de tener niveles similares de conductancia estomática. Esta diferencia reafirma como la variabilidad climática puede generar variaciones en los procesos fisiológico de las plantas, variables climáticas como la mayor demanda atmosférica del huerto frutal de Cauquenes, en donde está implícito las mayores temperaturas ambientales a las que fueron sometidos estos huertos frutales durante la mediciones, perjudicando con ello la capacidad fotosintética de los árboles estudiados (Ashraf y Harris, 2013). Esto solo puede haber incrementado la posibilidad de generar un grado de estrés oxidativo en las variedades de Cauquenes, que no solo se vieron afectados por una mayor demanda atmosférica que como se menciona anteriormente influye en la conductancia estomática, también fueron sometidos a una mayor radiación disponible y por ende, en conjunto una mayor posibilidad de generar ROS y afectar aún más la capacidad fotosintética de los frutales en la segunda temporada de medición (Anjum *et al.*, 2011; Athar y Ashraf, 2005; Chavez 2009).

Adicionalmente, se estudió la vulnerabilidad a la falla hidráulica en las distintas variedades, mediante el análisis de curvas de vulnerabilidad del xilema y sus componentes (Cuadro 2).

Al comparar los resultados con los obtenidos por Cochard et al. (2008) estudiando distintas especies del género *Prunus* se observan ciertas diferencias. Por ejemplo, en el citado trabajo, *P. avium* y *P. cerasus* poseían valores de  $P_{50}$  cercanos a -4,5 MPa, mientras que en las 3 variedades del presente estudio, estas varían desde -2 a 3 MPa. Cochard et al. (2008) clasificaron las diferentes especies del género *Prunus* como vulnerables a la cavitación con valores de  $P_{50}$  mayores a -5 MPa y por ende menos resistentes a condiciones de sequía que otras especies, tales como el almendro (*P. dulcis*), damasco (*P. armeniaca*) o ciruelo (*P. cerasifera*) las cuales fueron clasificadas como resistentes a la cavitación.

En ambas temporadas de medición ‘Lapins’ y ‘Santina’ tuvieron potenciales xilemáticos menores a -2 MPa en el tratamiento con déficit hídrico progresivo, valor que según las curvas realizadas, se induce al menos un cincuenta por ciento de pérdida de conductividad hidráulica. Sin embargo, en la segunda, al comparar la pérdida de conductividad de ramillas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos situaciones hídricas. Esto puede resultar de una recuperación en la conductividad hidráulica, dado que no sé llegó a generar una cavitación total y una vez que se retomó el riego, el aumento del flujo de agua pudo revertir el daño causado (McDowell et al., 2008; West et al, 2007). En ‘Sweetheart’, en ningún tratamiento y temporada se llegaron a valores menores a -2,7 MPa, valor en el cual teóricamente se pierde el cincuenta por ciento de conductividad hidráulica.

Las curvas de presión volumen (Cuadro 4) entregaron diversos valores de las relaciones hídricas foliares de cada variedad, entre ellas el potencial hídrico foliar a pérdida de turgor celular. En ‘Lapins’, durante la primera temporada, ambos tratamientos se mantuvieron bajo este potencial y, en la segunda, a partir del tercer día, el tratamiento con déficit hídrico mantuvo potenciales menores al potencial de pérdida de turgor celular estimado. El tratamiento testigo a pesar de aumentar tras el riego, no fue suficiente para llegar a potenciales adecuados (Figura 1). La variedad Santina es la que posee una mayor resistencia a la pérdida de turgor. En ambas temporadas, el tratamiento testigo mantuvo durante toda la medición sus potenciales hídricos mayores al punto de pérdida de turgor, y el tratamiento con déficit solo en las últimas dos mediciones presento valores inferiores (Figura 4). ‘Sweetheart’ y ‘Regina’ obtuvieron valores menores al punto de pérdida de turgor, durante todo el periodo de medición en ambos tratamientos (Figura 7 y 10). Lo cual conlleva a cuestionarse nuevamente la calidad y cantidad del riego aplicado en ambos huerto.

Al analizar la alta elasticidad que poseen las membranas celulares estimadas para cada variedad, se puede inferir una alta osmorregulación en las células vegetales del cerezo, lo cual corresponde a un mecanismo de resistencia al estrés hídrico en donde las células pierden turgencia celular para con ello aumentar el potencial osmótico y continuar la extracción de agua en condicione de déficit hídrico (Leuschner et al., 2019). Esto pudo ser observado en campo en donde al final de las mediciones en campo, las hojas de los árboles perdían turgencia.

## CONCLUSIONES

Dado al comportamiento observado por las variedades de cerezo Lapins, Santana, Sweetheart y Regina, en lo relacionado a su variación de conductancia estomática y fotosintética según la disponibilidad hídrica, se puede concluir que dichas variedades tienen un comportamiento del tipo iso-hídrico. Lo cual está relacionado con la respuesta obtenida en cuanto la vulnerabilidad a la falla hidráulica, en donde las cuatro variedades fueron consideradas como sensibles a la cavitación. Por estas razones, se debe rechazar la hipótesis presentada al inicio del presente estudio.

En lo relacionado a las mediciones en campo realizadas en huertos frutícolas comerciales, a pesar de ser una gran medida de obtener datos en condiciones realistas, existen diversos factores externos que entorpecen los resultados finales, se recomienda que en futuros estudios se tomen en cuenta aquellos factores que sean posible manipular para lograr un estudio mucho más adecuado y comparable, tales como, asegurar un riego óptimo para los árboles estudiados como tratamiento testigo.

## LITERATURA CITADA

- Anjum S. A., X. Xie<sup>1</sup>, L. Wang, M. F. Saleem, C. Man and W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.
- Ashraf M. and P. Harris. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51 (2): 163-190.
- Athar, H. R. and Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under Drought Stress. Pp. 793-809. In: M. Pessarakli, Marcel and Dekker (Eds.) Handbook of Photosynthesis. 2nd Ed. Taylor and Francis, Inc., New York, U.S.A.
- Bartlett, M.K., Scoffoni, C. & Sack, L. (2012). The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. *Ecology Letters*, 15, 393–405.
- Breda N, Granier A, Barataud F, Moyne C (1995) Soil water dynamics in an oak stand. I. Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil* 172, 17–27.
- Buckley T. 2005. The control of stomata by water balance. *New Phytologist*, 168: 275–292.
- Canny, M. J. 1998. Transporting Water in Plants: Evaporation from the leaves pulls water to the top of a tree, but living cells make that possible by protecting the stretched water and repairing it when it breaks. *American Scientist*, 86(2):152-159.
- Chaves M. M., J. Flexas, C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4): 551-560.
- Choat, B., M. Ball, J. Luy and J. Holtum. 2003. Pit Membrane Porosity and Water Stress-Induced Cavitation in Four Co-Existing Dry Rainforest Tree Species. *Plant Physiology*, 131: 41- 48.
- CONICYT. 2007. Sector frutícola en Chile: capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico. Santiago. Chile.
- Cochard H., E. Casella and M. Mencuccini. 2007. Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield. *Tree Physiology*, 27: 1761-1767.
- Cochard E., S. Tete Barigah, M. Kleinhentz and A. Eshelc. 2008. Is xylem cavitation resistance a relevant criterion for screening drought resistance among Prunus species?. *Journal of Plant Physiology*, 165 (9): 976-998.

Comisión Nacional de Riego y Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. 2009. CNR y CITRA: Cartilla de divulgación: Uso de cámara de presión para el monitoreo de estado hídrico de plantas. Proyecto SEPOC, Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego. Disponible en [http://www.sepor.cl/informacion\\_cartillas\\_s1.php](http://www.sepor.cl/informacion_cartillas_s1.php) (Consultado en mayo 2018).

Donoso, G., J.P. Montero, F. Meza y S. Vicuña. 2009. Adaptación a los impactos del cambio climático en la agricultura de riego en Chile central. p. 23-47. *In: Camino al Bicentenario, Propuestas para Chile*. Santiago. Chile.

Franks, P. 2004. Stomatal control and hydraulic conductance, with special reference to tall trees. *Tree Physiology*, 24: 865– 878.

Franks, P., P. Drake and R. Froend. 2007. Anisohydric but Isohydrodynamic: seasonally constant plant water potential gradient explained by a stomatal control mechanism incorporating variable plant hydraulic conductance. *Plant, Cell & Environment*, 30:19-30.

Hacke, U., V. Stiller, J. Sperry, J. Pittermann and K. McCulloh. 2001. Cavitation Fatigue. Embolism and Refilling Cycles Can Weaken the Cavitation Resistance of Xylem. *Plant Physiology* 125(2): 779-786.

Hugalde, I.P. y H. F. Vila. 2014. Comportamiento isohídrico o anisohídrico en vides.... ¿Una controversia sin fin?. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 40: 75-82.

Lange D., R. Lösch, E Schulze and L. Kappen 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* 100,: 76–86.

Lenz, T.I., Wright, I.J. & Westoby, M. (2006). Interrelations among pressure-volume curve traits across species and water availability gradients. *Plant Physiology*, 127, 423–433.

Li X., C. J. Blackman, B. Choat, R. A. Duursma, P. D. Rymer, B. E. Medlyn and D. T. Tissue. 2018. Tree hydraulic traits are coordinated and strongly linked to climate-of-origin across a rainfall gradient. *Plant, Cells & Environment*, 41(3): 646 – 660.

Li, X., C. J. Blackman, J. M. R. Peters, B. Choat, P. D. Rymer, B. E. Medlyn and D. T. Tissue. 2019. More than iso/anisohydry: Hydroscares integrate plant water use and drought tolerance traits in 10 eucalypt species from contrasting climates. *Functional Ecology*, 33: 1035-1049.

Leuschner C., P. Wedde and T. Lübbe. 2019. The relation between pressure–volume curve traits and stomatal regulation of water potential in five temperate broadleaf tree species. *Annals of Forest Science*, 76(2).

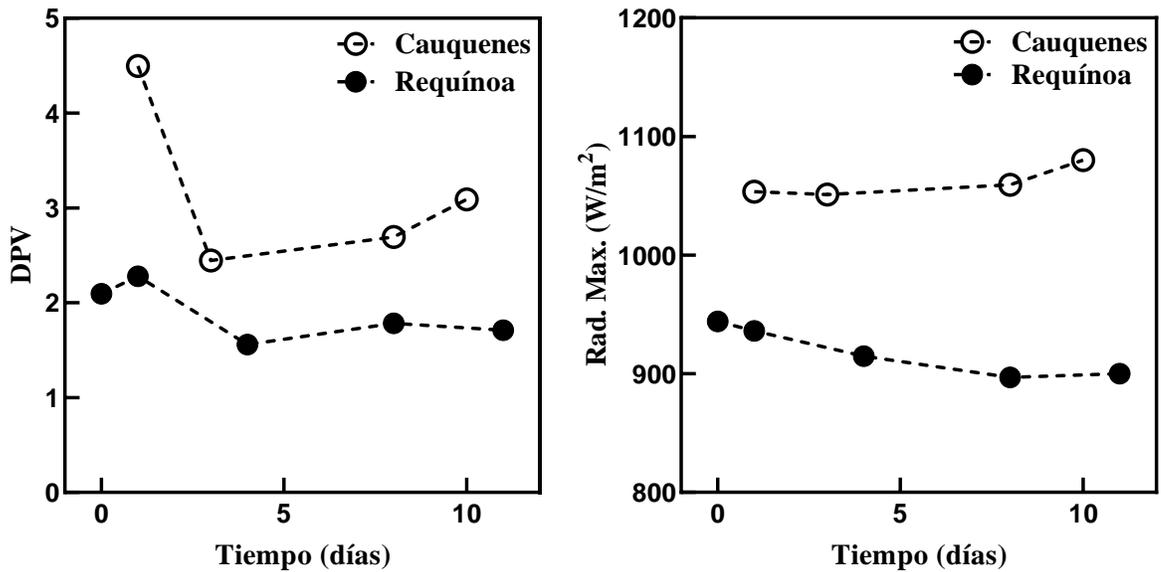
McDowell, N., W. Pockman, C. Allen, D. Breshears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D. Williams, E. Yezpez. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?, *New Phytologist*, 178(4): 719-739.

- McAdam, S. and T. Brodribb. 2012. Stomatal innovation and the rise of seed plants. *Ecology Letters*, 15:1-8.
- Meinzer F. C., D. R. Woodruff, D. E. Marias, D. D. Smith, K. A. McCulloh, A. R. Howard and A. L. Magedman. 2016. Mapping 'hydroscares' along the iso- to anisohydric continuum of stomatal regulation of plant water status. *Ecology Letters*, 19 (11): 1343-1352.
- ODEPA, 2015. Cerezas: frutas en expansion. Santiago. Chile. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2015/08/Cerezas2015.pdf>. (consultado en abril de 2018)
- ODEPA-CIRÉN, 2014. Superficie de frutales por región. Santiago. Chile. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/superficie-de-frutales-por-region-2> (consultado en julio de 2018)
- Ogasa, M., N. Miki, Y. Murakami and K. Yoshikawa. 2013. Recovery performance in xylem hydraulic conductivity is correlated with cavitation resistance for temperate deciduous tree species. *Tree Physiology*, 33: 335-344.
- Oyarzún, R., C. Stöckle and M. Whiting. 2010. Analysis of Hydraulic Conductance Components in Field Grown, Mature Sweet Cherry Tree. *Chilean journal of agricultural research* 70: 58-66.
- Pammenter, N.W., C. V. Willigen. 1998. A mathematical and statistical analysis of the curves illustrating vulnerability of xylem to cavitation. *Tree Physiology*, 18:589-593.
- Pantin F., F. Monnet, D. Jannaud, J.M. Costa, J. Renaud, B. Muller, T. Simonneau and B. Genty. 2012. The dual effect of abscisic acid on stomata. *New Phytologist* 197: 65-72.
- Potter, K., B. Crane and W. Hargrove. 2017. A United States national prioritization framework for tree species vulnerability to climate change. *New Forests* 48: 275-300.
- Prabhakar, M. 2004. Structure, Delimitation, Nomenclature and Classification of Stomata. *Acta Botanica Sinica* 46(2): 242-252.
- PROCHILE. 2018. Anuario de exportaciones chilenas 2018. Disponible en: [https://www.prochile.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/anuario\\_servicios\\_capitulo1\\_bienes\\_2018.pdf](https://www.prochile.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/anuario_servicios_capitulo1_bienes_2018.pdf) (consultado en septiembre 2020).
- Quentin A., D. Close, L. Hennen and E. Pinkard. 2013. Down-regulation of photosynthesis following girdling, but contrasting effects on fruit set and retention, in two sweet cherry cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 73: 359-367.
- Romero P., J.M. Navarro, F. García and P. B. Ordaz. 2004. Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology*, 24: 303-312.

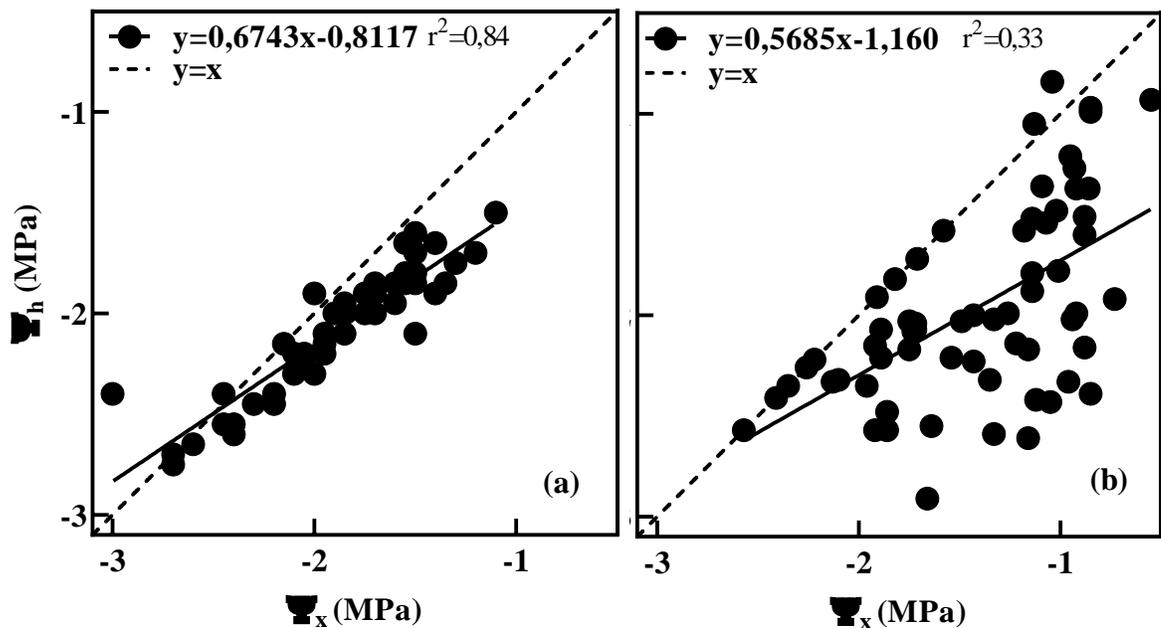
- Roper T, J. Keller, W. Loescher and C. Rom. 1988. Photosynthesis and carbohydrate partitioning in sweet cherry: Fruting effects. *Physiologia Plantarum* 72: 42-47.
- Rouhi V., R. Samson, R. Lemeur and P. Van Damme. 2007. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 117-129.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M. y Acevedo, E. 2015. Manual de estudios y ejercicios relacionados con el contenido de agua del suelo y su uso por los cultivos. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 85 p
- Tardieu F. and T. Simonneau. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* 49:419-432.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. 3rd ed. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. 690 p.
- U. Chile y Cepal. Seminario internacional del Cambio Climático: ¿Cuáles son las consecuencias para nuestro futuro? (26 y 27 de junio de 2007, Santiago, Chile). Cambio climático: recursos hídricos y glaciares, testigos y víctimas del cambio climático. Santiago, Chile: Aún creemos en los sueños. 98 p.
- West A., K. Hultine, T. Jackson and J. Ehleringer. 2007. Contrasting hydraulic strategies explain differential summer moisture use of *Pinus edulis* and *Juniperus osteosperma*. *Tree Physiology* 27: 1711–1720.
- Wortemann R., S. Herbette, T. S. Barigah, B. Fumana, R. Alia, A. Ducouso, D. Gomory, P. Roedel-Drevet and H. Cochard. 2011. Genotypic variability and phenotypic plasticity of cavitation resistance in *Fagus sylvatica* L. across Europe. *Tree Physiology*, 31: 1175- 1182.

## ANEXOS Y APÉNDICES

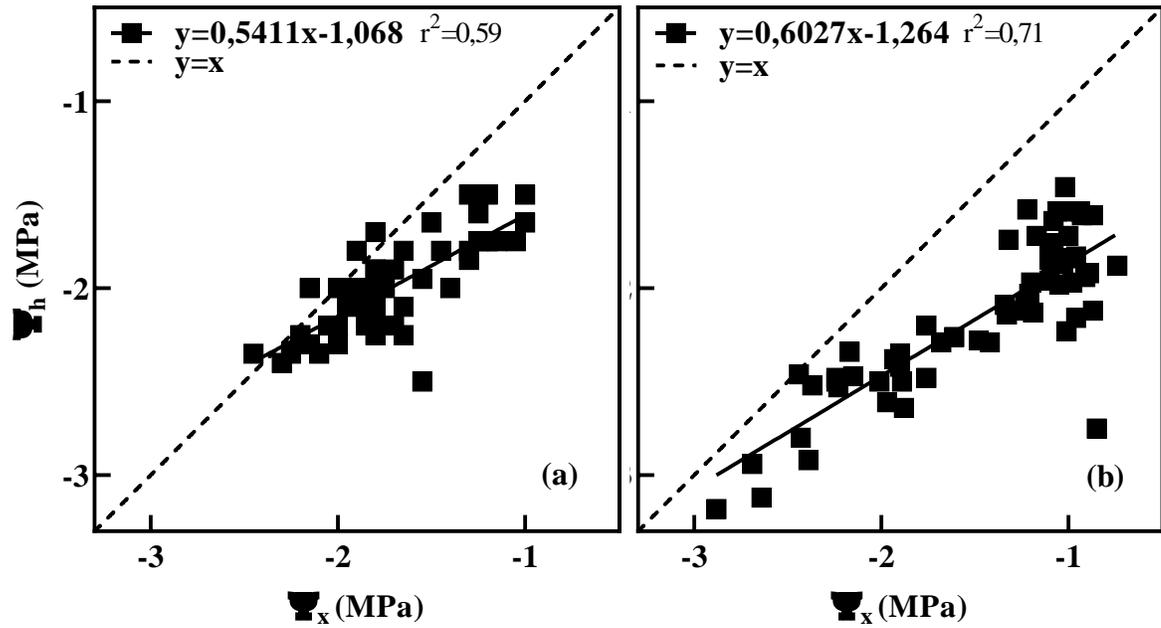
**Apéndice 1:** Variación ambiental entre dos sectores de medición, comparando ambas temporadas de medición, Requínoa (círculo negro, 2017-2018) y Cauquenes (círculo blanco, 2018-2019) para la primera y segunda temporada respectivamente, según su déficit de presión de vapor (DPV) y Radiación máxima (izquierda y derecha).



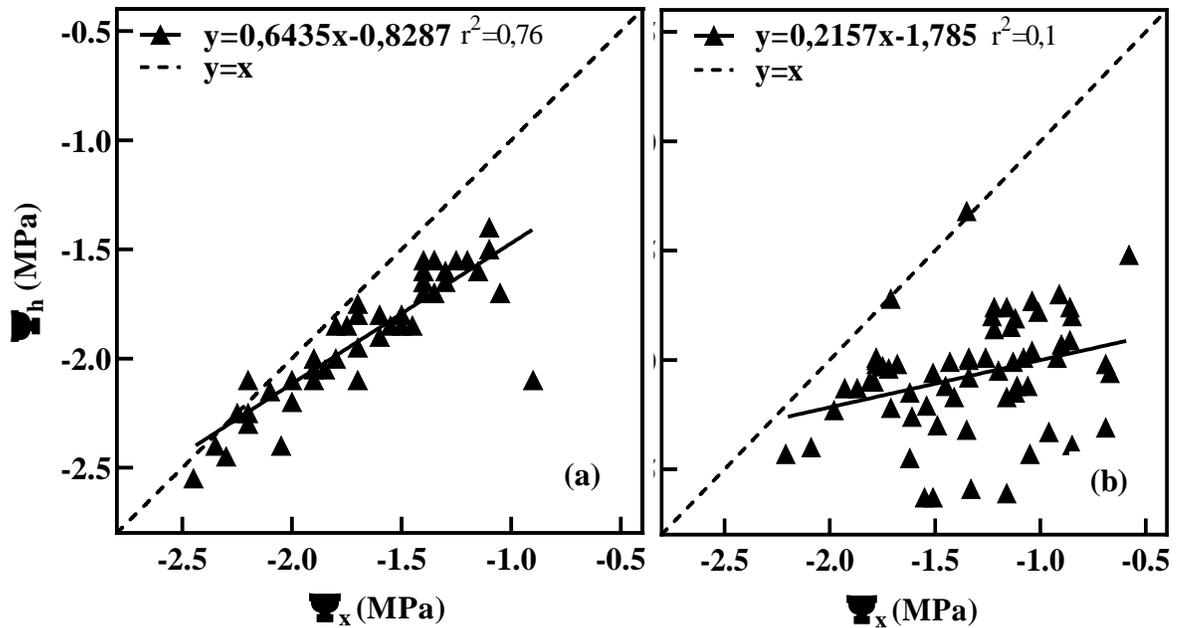
**Apéndice 2:** Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos para la variedad Lapins en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



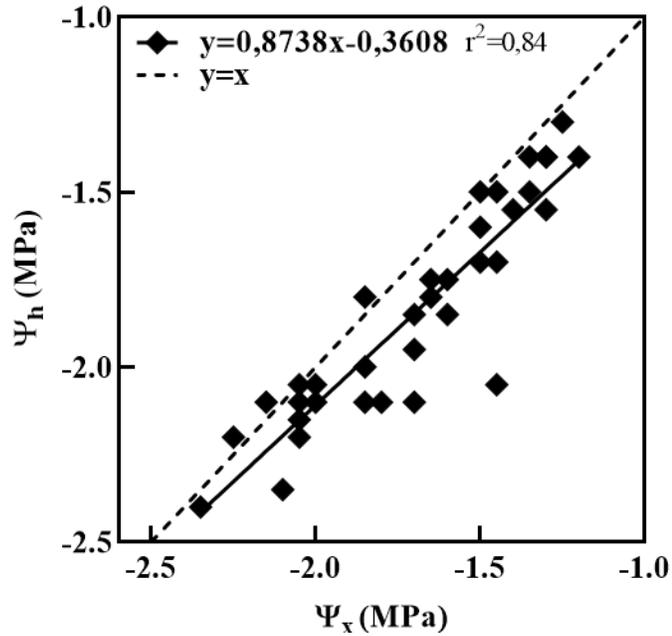
**Apéndice 3:** Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos para la variedad Santina en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



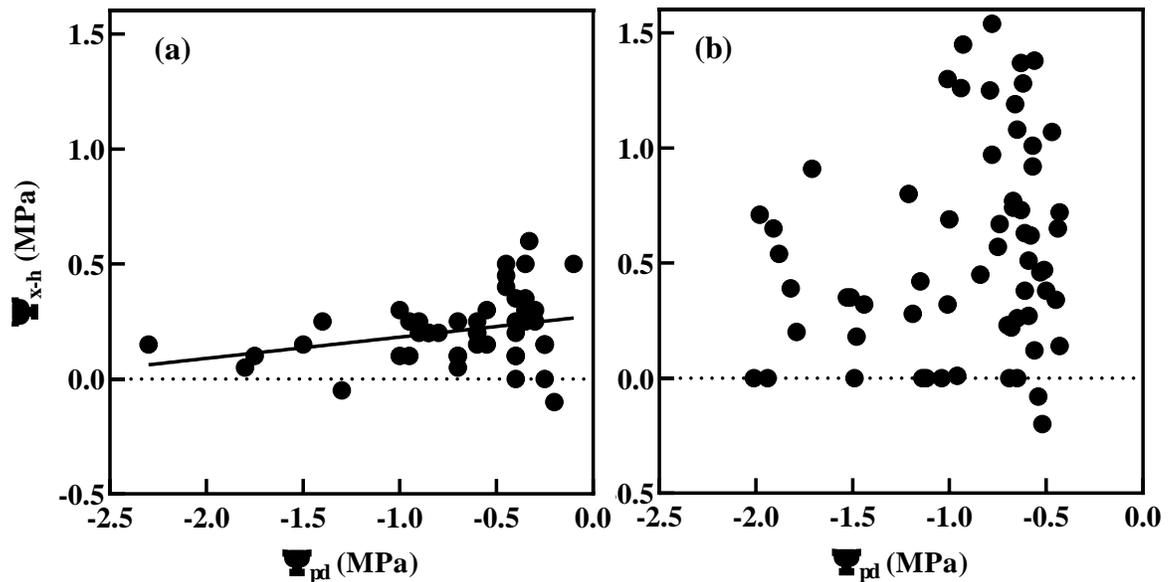
**Apéndice 4:** Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos para la variedad Sweetheart en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



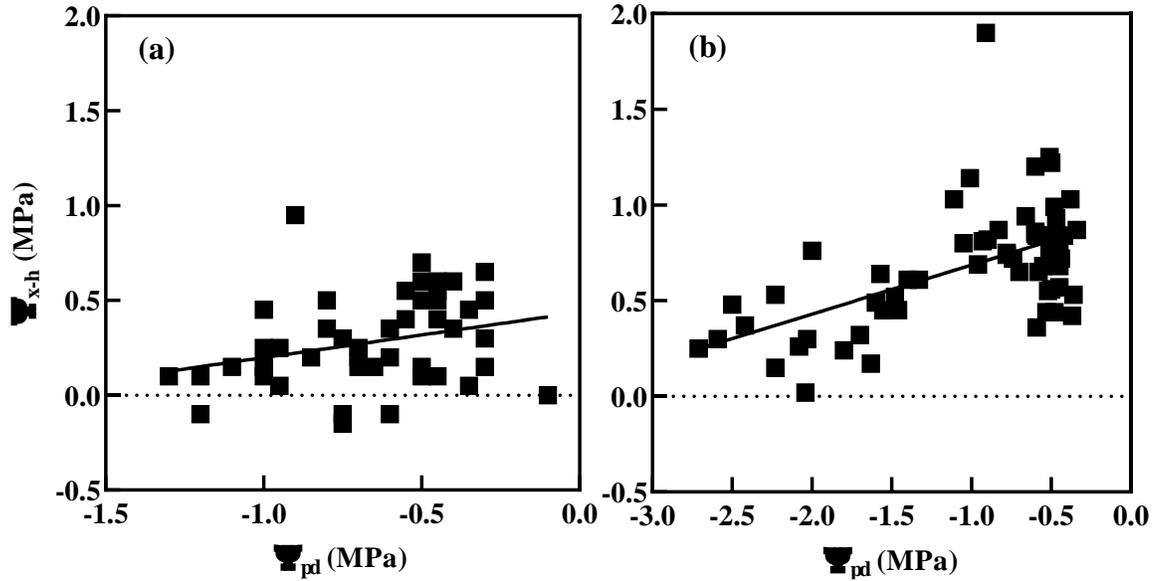
**Apéndice 5:** Regresión lineal entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos para la variedad Regina en la primera temporada de medición.



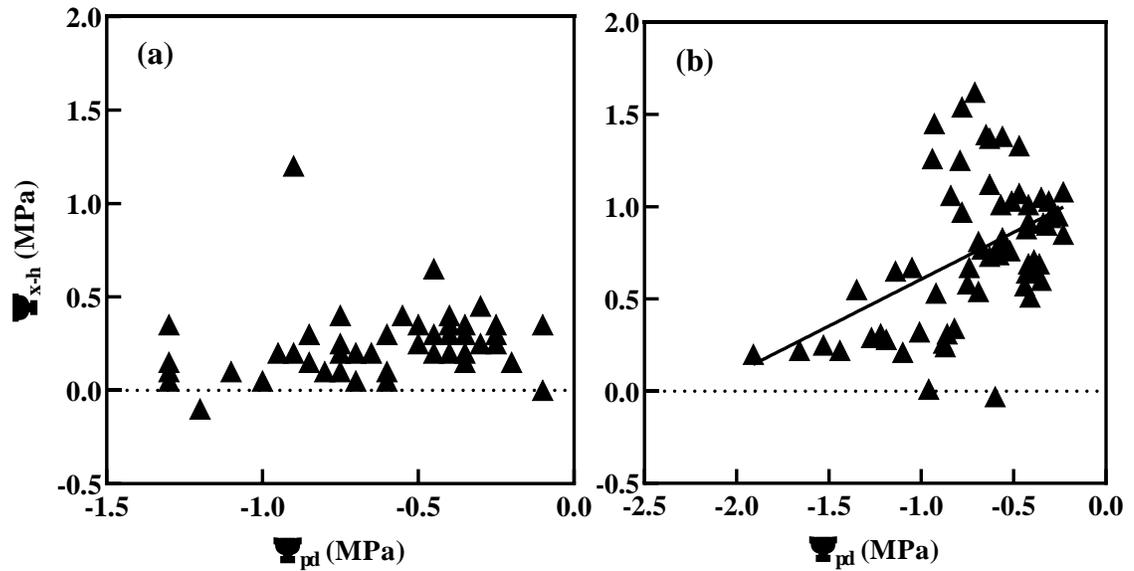
**Apéndice 6:** Diferencia entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos vs Potencial hídrico a pre alba para la variedad Lapins en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



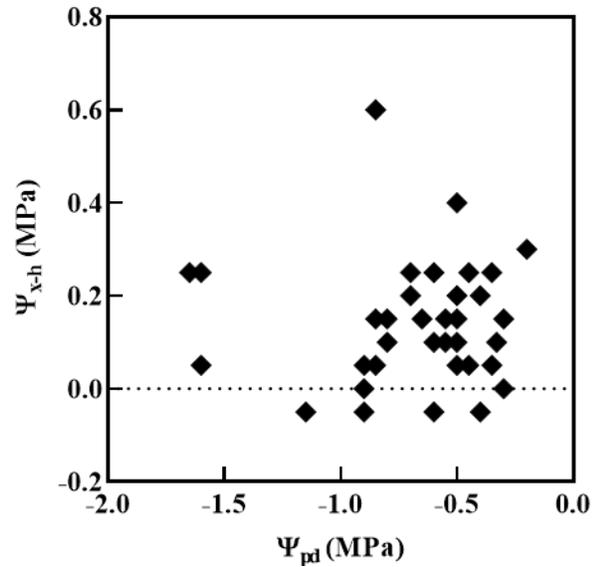
**Apéndice 7:** Diferencia entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos vs Potencial hídrico a pre alba para la variedad Santina en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



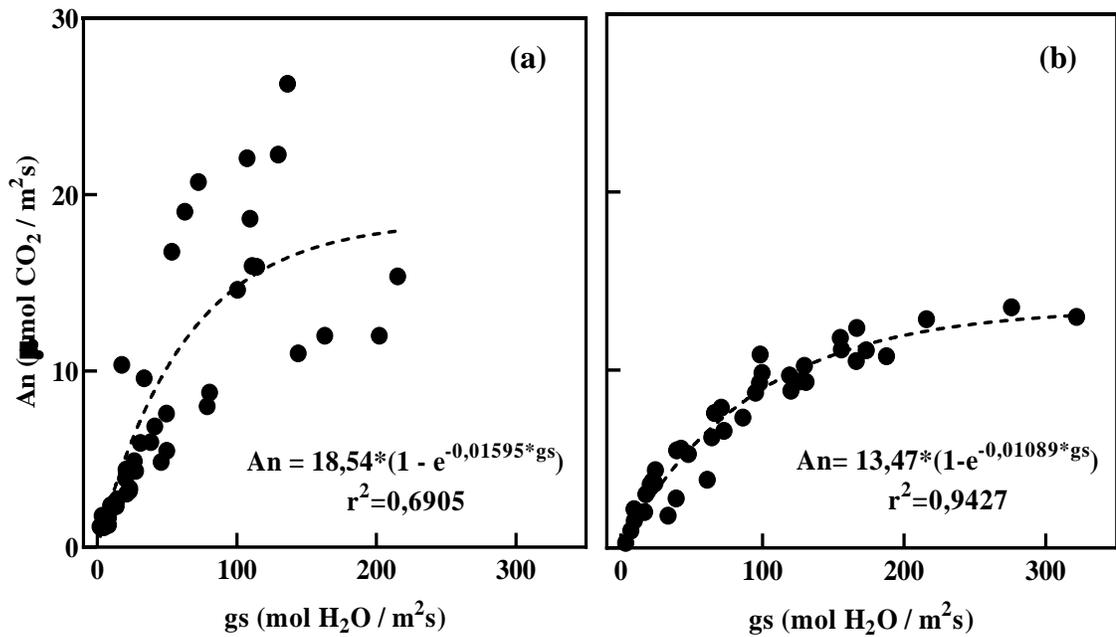
**Apéndice 8:** Diferencia entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos vs Potencial hídrico a pre alba para la variedad Sweetheart en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



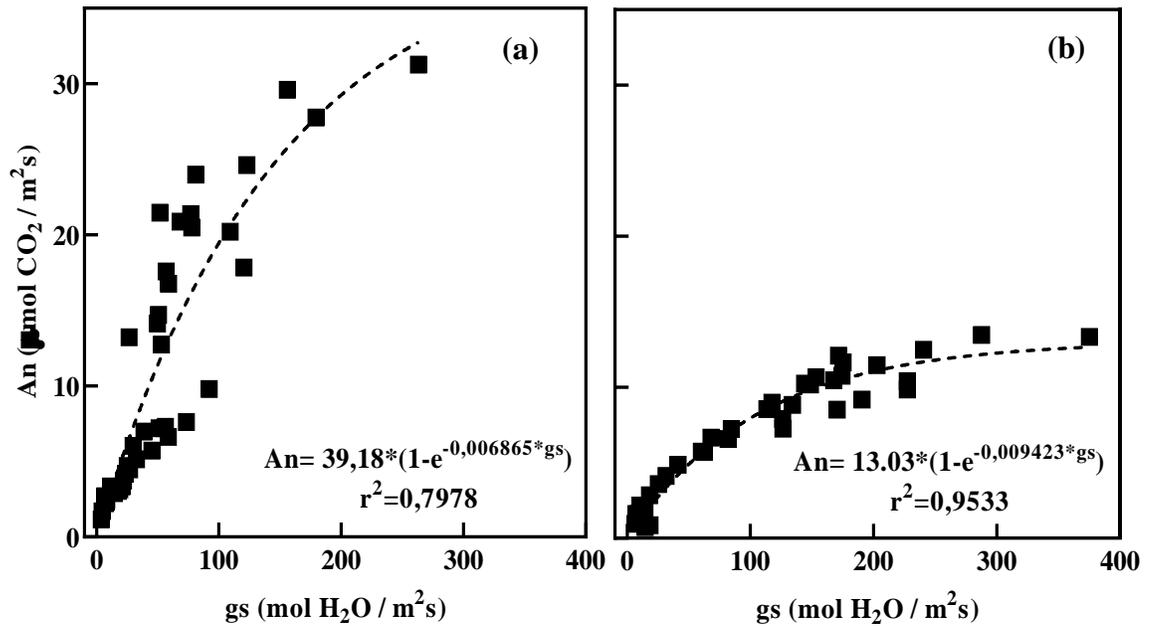
**Apéndice 9:** Diferencia entre potenciales hídricos foliares y xilemáticos vs Potencial hídrico a pre alba para la variedad Regina en la primera temporada de medición.



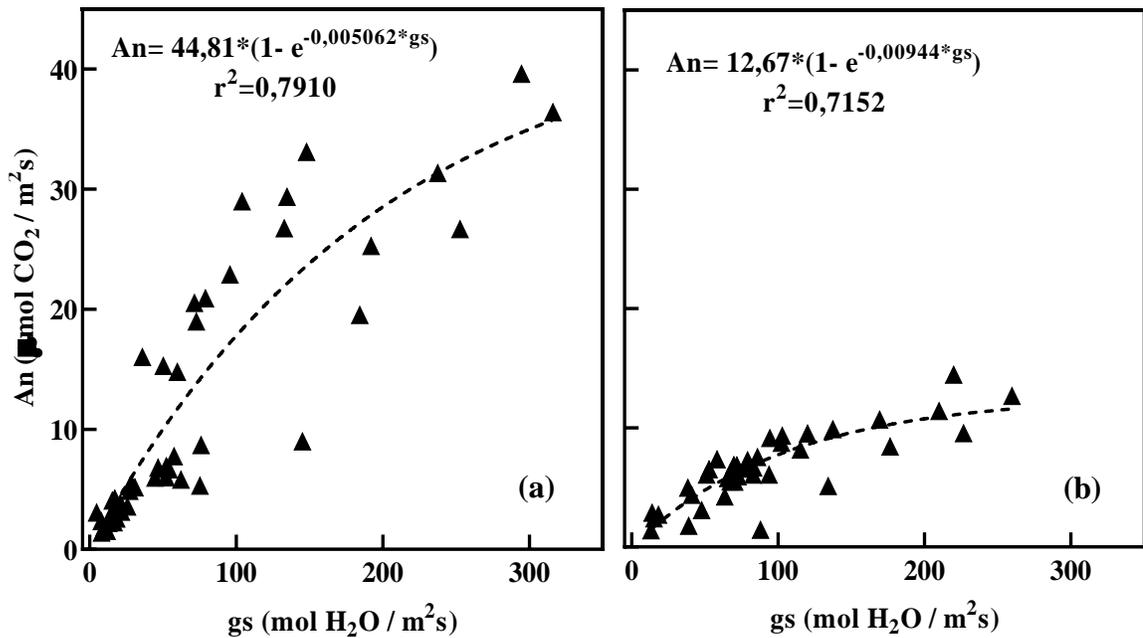
**Apéndice 10:** Regresión no lineal entre conductancia estomática y Fotosíntesis para la variedad Lapins en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



**Apéndice 11:** Regresión no lineal entre conductancia estomática y Fotosíntesis para la variedad Santina en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



**Apéndice 12:** Regresión no lineal entre conductancia estomática y Fotosíntesis para la variedad Sweetheart en la primera (a) y segunda (b) temporada de medición.



**Apéndice 13:** Regresión no lineal entre conductancia estomática y Fotosíntesis para la variedad Regina en la primera temporada de medición.

