

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO A MEDIODÍA
EN DIEZ ESPECIES FRUTALES**

HEINY ANDRÉS VALENZUELA SAUER

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO A MEDIODÍA
EN DIEZ ESPECIES FRUTALES**

**CHARACTERIZATION OF MIDDAY STEM WATER POTENTIAL IN TEN
FRUIT TREES SPECIES**

HEINY ANDRÉS VALENZUELA SAUER

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO A MEDIODÍA
EN DIEZ ESPECIES FRUTALES**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo
Mención: Fruticultura

HEINY ANDRÉS VALENZUELA SAUER

Profesores Guías	Calificaciones
Sr. Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,5
Sr. Cristian Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,4
Profesores Evaluadores	
Sr. Rodrigo Callejas R. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0
Sr. Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Mg.Sc.	4,0

Santiago, Chile

2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios por generar las condiciones para poder estudiar una carrera profesional, permitiéndome llegar hasta este momento tan importante en mi vida y lograr otra meta más en mi carrera.

A mis padres Andrés e Irene, quienes me han guiado por el camino de la educación y han sido mis pilares en la vida, sin importar que tan lejos estemos.

A mis hermanos Ingryth y Gabriel, quienes más que hermanos han sido mis amigos.

A mis tíos Santiago y Soraya, primos y familiares que han representado un apoyo incondicional durante toda mi carrera.

A mis compañeros y amigos de la universidad con quienes hemos compartido momentos inolvidables, en especial a Mauricio, quien me ha apoyado para la realización de la presente memoria y durante la carrera.

A mi polola Catalina, quien ha sido un apoyo fundamental durante la finalización de mi memoria.

A mis profesores guías por sus consejos, múltiples revisiones, paciencia y toda la ayuda brindada.

Finalmente a todas las personas que han sido parte de mi formación educacional, desde el colegio Adventista (educación básica), Instituto Nacional (educación media) y la Universidad de Chile.

Dedicado a mi familia

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Materiales	6
Método	6
Determinación del potencial hídrico xilemático en frutales bien hidratados	6
Efecto de la posición de la hoja en el árbol en el potencial hídrico xilemático	7
Determinación del tiempo mínimo de equilibrio entre Ψ_h y Ψ_x	8
Análisis estadístico	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
Potencial hídrico xilemático en frutales bien hidratados	9
Posición de la hoja en el árbol	18
Tiempo de equilibrio para la determinación del potencial hídrico xilemático	19
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27
APÉNDICE I	29

RESUMEN

La presente investigación se realizó durante las temporadas 2007/2008 y 2008/2009 en el huerto experimental del Campus Antumapu de la Universidad de Chile (33° 40' de latitud Sur, 70° 38' de longitud Oeste y 420 m.s.n.m.), en 10 especies frutales (*Malus x domestica* var. Gala, *Prunus armeniaca* var. Dina, Modesto y Patterson, *Pyrus communis* var. Beurré Hardy, *Prunus dulcis* var. Price, Nonpareil y Carmel, *Prunus persica* var. Pomona, Kakamas y Phillips Cling, *Prunus persica* var. Nectarina 'Rio Oso', *Prunus avium* var. Brooks y Lapins, *Prunus domestica* var. D'Agen, *Prunus salicina* var. Santa Rosa y Black amber, *Juglans regia* var. Serr, Chandler y Sunland), con el objeto de caracterizar el potencial hídrico xilemático (Ψ_x) a mediodía (entre las 12:00 y 16:00 horas) en condiciones de no limitación hídrica, con una bomba Schollander. Se evaluó el Ψ_x en árboles recientemente regados bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad ambiental. Adicionalmente, se determinó el efecto de la ubicación de las hojas dentro del árbol sobre el Ψ_x y el tiempo requerido, en cada especie frutal, para alcanzar el equilibrio del Ψ_h (potencial hídrico de la hoja) con el Ψ_x . El Ψ_x de cada especie frutal fue singular, difiriendo entre especies; la lectura en hojas de la zona baja y media del árbol, y expuestas a la sombra son más homogéneas; el tiempo mínimo de equilibrio para medir el Ψ_x varía desde 15 minutos (peral, almendro, manzano y damasco) hasta 60 minutos (cerezo, nectarina, duraznero, nogal, ciruelo europeo y ciruelo japonés), luego de bloqueada la transpiración de las hojas expuestas a la sombra.

Palabras clave: Estado hídrico de la planta, bomba Schollander, peral, almendro, manzano, damasco, cerezo, nectarina, duraznero, nogal, ciruelo europeo, ciruelo japonés.

ABSTRACT

A research was performed during seasons 2007/2008 and 2008/2009 in an experimental orchard located in Campus Antumapu, Universidad de Chile (33 ° 40 ' S, 70 ° 38 ' W; 420 m.a.s.l.). Ten fruits species in the orchard were used (*Malus x domestica* var. Gala, *Prunus armeniaca* var. Dina, Modesto y Patterson, *Pyrus communis* var. Beurré Hardy, *Prunus dulcis* var. Price, Nonpareil y Carmel, *Prunus persica* var. Pomona, Kakamas y Phillips Cling, *Prunus persica* var. nectarine 'Rio Oso', *Prunus avium* var. Brooks y Lapins, *Prunus domestica* var. D'Agen, *Prunus salicina* var. Santa Rosa y Black amber, *Juglans regia* var. Serr, Chandler y Sunland), with the aim of characterizing midday stem water potential (between 12:00 and 16:00 hours) of recently irrigated plants using the pressure chamber (PMS, instrument model Pump up). Water potential was measured under different temperature and humidity conditions (also recorded). In addition, the effect of leaf location on the tree and the time needed to achieve the balance between Ψ_l (leaf water potential) and Ψ_x (xylem water potential) were determined. Results showed that stem water potential differs according to fruit tree species; leaves located in the low and a middle zone of the tree and exposed to the shade were better to measure Ψ_x ; the time required to balance Ψ varies from 15 minutes (pear, almond, apple and apricot tree) to 60 minutes (cherry, nectarina, peach, walnut, european and japanese plum tree), after blocked the transpiration in leaves exposed to shade.

Keywords: Plant water status, Schollander pressure chamber, pear, almond, apple, apricot, cherry, nectarine, peach, walnut, european and japanese plum.

INTRODUCCIÓN

El manejo del riego es prioritario para la producción en zonas donde las lluvias son escasas o insuficientes. Para regar con eficiencia, y asegurar un buen rendimiento en un huerto, se debe seleccionar él o los métodos más adecuados y decidir el tiempo y la frecuencia óptima del riego. El tomar decisiones basadas en apreciaciones visuales, o dependientes de la dotación de agua que se disponga, hace que se faciliten las condiciones de exceso o falta de agua, provocando un estrés a la planta, lo que repercutiría en bajos rendimientos y mayores costos por la ineficiencia del riego (Ferreya y Sellés, 2000).

Entre las formas de solucionar los problemas generados por una inadecuada relación entre el agua y el aire de la zona de la rizósfera, deben buscarse alternativas de manejo que permitan disminuir la incidencia de este inconveniente. Una forma de lograr esto es mantener los suelos con contenidos de humedad inferiores a capacidad de campo, lo que permitiría una mejor relación aire:agua en el suelo. Sin embargo, esto obliga a un adecuado control del riego, de manera de evitar períodos de déficit hídrico (Ferreya *et al.*, 2007).

El riego se puede controlar definiendo el momento oportuno de aplicación de agua, a través de mediciones del estado hídrico de las plantas, como es el potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) (Boyer, 1995), pero su valor como indicador del estado hídrico de la planta ha sido cuestionada por su variabilidad, dada la influencia de factores microambientales, tales como, la exposición de la luz solar directa que presentan las hojas al medir (Shackel *et al.*, 1997). Debido a lo anterior, algunos autores miden el potencial hídrico temprano en la mañana, antes de la salida del sol (Williams y Araujo, 2002). Sin embargo, esta medición es poco sensible a la disponibilidad de agua en el suelo, ya que el potencial hídrico de la planta tiende a equilibrarse con las zonas más húmedas del suelo (Ameglio *et al.*, 1999).

Es posible eliminar los factores microambientales que afectan las mediciones del Ψ_h , indicados anteriormente, al bloquear la transpiración de la hoja, antes de ser cortada de la planta (Shackel *et al.*, 1997). La metodología para lograr lo anterior consiste en, previo a la medición, poner las hojas que se van a medir en una bolsa plástica, y luego envolverlas en papel aluminio, para impedir el paso de la luz, bloqueando, de esta forma, la transpiración de la hoja. En estas condiciones, el potencial hídrico representa el potencial promedio de la ramilla que sostiene la hoja. Previo a la medición, las hojas deben permanecer envueltas por un período de 2 horas, para que el Ψ_h se equilibre con el potencial hídrico xilemático del brote (Ψ_x) (McCutchan y Shackel, 1992). Sin embargo, Fulton *et al.* (2001a) indican que en nogales (*Juglans regia* L.), almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) y ciruelos (*Prunus domestica* L.) este equilibrio se logra después de 10 minutos de colocada la hoja en una bolsa, cuyo interior es de plástico y exterior de papel aluminio. En hojas de palto (*Persea americana* Mill.) el equilibrio del Ψ_x se logra a los 15 minutos (Ferreya *et al.*, 2007). De esta forma, el Ψ_x es menos influenciado por cambios microambientales de corto plazo que afectan la transpiración de la hoja y, por lo tanto, al Ψ_h . En consecuencia, el Ψ_x es una medida más apropiada del estado de hídrico de la planta (McCutchan y Shackel, 1992).

Diferentes estudios han demostrado que el Ψ_x medido con cámara de presión es un buen indicador del estrés hídrico en árboles frutales. Naor *et al.* (1995) encontraron una buena correlación entre Ψ_x , el rendimiento y calibre en manzanos. Datos similares encontraron Ferreyra *et al.* (2002) y Ferreyra *et al.* (2004) en duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) y vides viníferas (*Vitis vinifera* L.). Adicionalmente, Ferreyra *et al.* (2002) comprobó que la conductancia estomática en nectarinas (*Prunus persica* var *Nectarina* (Aiton) Maxim.) está altamente correlacionada con el Ψ_x . El Ψ_x mínimo o de mediodía ($\Psi_{x\min}$), ha sido propuesto por varios autores como un indicador estándar para determinar el estado hídrico de la planta con fines de riego (Shackel *et al.*, 1997; Naor y Peres, 2001; Ferreyra *et al.*, 2002).

En condiciones de campo, el potencial hídrico debe ser medido en un lapso no superior a 1 minuto después de cortada la hoja (Ferreyra *et al.*, 2007), aunque el tiempo que transcurre entre el corte de la hoja y la medición del potencial hídrico en la cámara de presión puede ser aumentado hasta 60 minutos al mantener las hojas en una caja aislada térmicamente y con alta humedad relativa (Ferreyra *et al.*, 2007).

Otro punto relevante, al momento de hacer estas mediciones, es la elección de las hojas, ya que aquellas que presentan la menor variabilidad son las de 10 a 12 meses de edad, expuestas a la sombra. Las hojas expuestas al sol presentan valores de Ψ_x más negativos que las hojas de la cara expuesta a la sombra, aun cuando se haya bloqueado su transpiración (Ferreyra *et al.*, 2007). Al respecto, Shackel (2003a) propone hacer las mediciones en hojas ubicadas en la parte baja al interior de la copa, cercanas al tronco o a las ramas madres.

El seguimiento del Ψ_x a mediodía, como una estrategia para definir criterios de riego, ha sido ampliamente aceptado. Sin embargo, la variabilidad entre especies hace necesario establecer los parámetros que permitan desarrollar protocolos correctos y sobretodo una clara interpretación de los valores obtenidos por especie.

Hipótesis

El potencial hídrico xilemático bajo condiciones de no limitación hídrica presenta valores diferentes entre especies frutales, durante el periodo estival en la zona central de Chile.

Objetivo general

Describir el potencial hídrico xilemático en diez especies frutales, bajo condiciones hídricas no limitantes, durante el verano de la zona central de Chile. Evaluando metodología a utilizar.

Objetivos específicos

- 1- Evaluación de las diferencias existentes entre hojas ubicadas en distintas posiciones dentro del mismo árbol.
- 2- Determinar el tiempo de estabilización de las diferentes especies frutales en estudio.

MATERIALES Y MÉTODO

Materiales

El ensayo se realizó en el Campo Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana (33° 40' de latitud sur, 70° 38' de longitud oeste y 420 m.s.n.m.), en un huerto regado por surcos. El suelo pertenece a la serie Maipo, de origen aluvial, profundo, que se presentan en una topografía plana, con o sin microrelieve (CIREN, 1996).

La cámara de presión utilizada fue una bomba Schollander (modelo Pump up, PMS Instrument Company, Oregon, EE.UU.), en la cual se aplica aire para igualar la tensión de la planta hasta la salida de la primera gota de agua por el pecíolo.

Se trabajó con diez especies frutales: *Malus x domestica* var. Gala (manzano), *Prunus armeniaca* var. Dina, Modesto y Patterson (damasco), *Pyrus communis* var. Beurré Hardy (peral), *Prunus dulcis* var. Price, Nonpareil y Carmel (almendro), *Prunus persica* var. Pomona, Kakamas y Phillips Cling (duraznero), *Prunus persica* var. Nectarina 'Rio Oso', *Prunus avium* var. Brooks y Lapins (cerezo), *Prunus domestica* var. D'Agen (ciruelo europeo), *Prunus salicina* var. Santa Rosa y Black amber (ciruelo japonés), *Juglans regia* var. Serr, Chandler y Sunland (nogal). El damasco, duraznero y nectarina tienen como patrón a Nemaguard; el ciruelo europeo y ciruelo japonés a Marianna 2624; el manzano a MM106; el cerezo a Maxma, Mahaleb y Mazzard; y el nogal está en franco.

Método

Determinación del potencial hídrico xilemático en frutales bien hidratados

Las mediciones de Ψ_x fueron realizadas entre las 12:00 y las 16:00 horas; el mediodía solar para la época estival corresponde a las 13:45, por lo tanto, se consideró dos horas antes y dos horas después del mediodía como el momento óptimo para la medición del $\Psi_{x\min}$.

La determinación del Ψ_x se realizó de acuerdo a la metodología descrita por McCutchan y Shackel (1992), teniendo en cuenta los principios de operación descritos por Shackel (2003a y 2003b).

Para cada especie frutal se seleccionaron árboles similares en cuanto a su edad y condición fitosanitaria, sin discriminar la variedad, tan solo la especie.

Las hojas seleccionadas fueron aquellas características del árbol, que se encontraban

cercanas al tronco principal o ramas madres (entre 5 y 30 cm), las cuales presentaron una buena condición y, además, estaban sobre brotes similares en cuanto a exposición al sol, edad y altura.

De cada especie frutal se consideraron 8 árboles y se determinó el Ψ_x a una hoja por árbol (cerezo, peral, ciruelo europeo, nectarina y duraznero); para las especies que presentaban un número menor de árboles en el huerto se efectuaron 2 a 3 mediciones por árbol, para así conseguir las 8 hojas necesarias por día de medición (damasco, manzano, almendro y nogal). Las hojas fueron envueltas durante 10 minutos, como mínimo, en una bolsa cuyo interior fue plástico y exterior de papel aluminio, bloqueando así la transpiración de la hoja; luego se cortaron y se les determinó el potencial hídrico, con la cámara de presión, en un lapso no mayor a 1 minuto después de cortada.

Las mediciones se hicieron luego de 24 y 48 horas después de realizado un riego, de manera de describir el Ψ_x en condiciones de capacidad de campo, en plantas recientemente regadas, suponiendo condiciones de hidratación.

Paralelo a estas mediciones, se registró la temperatura (T°) y humedad relativa (HR) en la estación meteorológica de Agrimed, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, con el fin de determinar el déficit de presión de vapor (DPV) y su efecto sobre el Ψ_x , debido a que ningún otro factor microambiental, como humedad relativa, radiación solar, temperatura ambiente, viento, está tan correlacionado con el Ψ_x como el DPV (McCutchan y Shackel, 1992).

Para la determinación del $\Psi_{x\min}$, se realizaron mediciones en 3 fechas durante la temporada 2007/2008 (14 de diciembre del 2007; 29 de enero y 3 de febrero del 2008) y 10 fechas para la temporada 2008/2009 (18 y 31 de octubre, 14 de noviembre, 12 y 27 de diciembre del 2008; 3, 4 y 25 de enero, 7 de febrero y 4 de abril del 2009).

Efecto de la posición de la hoja en el árbol sobre el potencial hídrico xilemático

Para la determinación del efecto de la ubicación de la hoja en el árbol sobre el Ψ_x , se seleccionaron 2 árboles por especie y se midió el Ψ_x en la parte del follaje expuesto a la radiación solar directa y en la parte sombreada al momento de realizar la medición; además se evaluó a diferentes alturas; zona alta (mayor a 1,8 m), media (entre 1,8 y 1 m) y baja (inferior a 1 m) de cada árbol, realizando tres repeticiones para cada condición, baja-expuesta, baja-no expuesta, media-expuesta, media-no expuesta, alta-expuesta y alta-no expuesta en cada árbol.

Este ensayo se realizó entre las 12:00 y las 16:00 horas. Para los casos del damasco y almendro, estas mediciones se realizaron en las zonas media y alta ya que no presentaron follaje en la zona baja del árbol.

El tiempo mínimo utilizado para la estabilización entre el Ψ_h y el Ψ_x fue de 15 minutos.

Las mediciones se efectuaron durante las temporadas 2007/2008 y 2008/2009 (10 de febrero del 2008; 17, 18 y 31 de enero del 2009).

Determinación del tiempo mínimo de equilibrio entre Ψ_h y Ψ_x

Se efectuaron, mediciones durante las temporadas 2008/2009 (25 y 29 de marzo, y 1 de abril del 2009) para obtener el tiempo mínimo de equilibrio entre el potencial hídrico de la hoja y el potencial hídrico del xilema. Para ello, se determinó el potencial hídrico (Ψ) después de 1; 5; 10; 15; 30 y 60 minutos de puesta la hoja en una bolsa, cuyo interior fue de plástico y exterior de papel aluminio. Las mediciones se realizaron en 24 hojas provenientes de, a lo más, 2 árboles por especie. Tales mediciones se llevaron a cabo entre 24 y 48 horas luego del último riego, dentro de las horas del mediodía para la zona en estudio (entre las 12:00 y 16:00 horas), sobre hojas cercanas al tronco principal o a las ramas madres del árbol y que no se encontraban expuestas a la radiación solar directa.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de regresión para relacionar los valores de potencial hídrico xilemático y el DPV; además se analizó de manera descriptiva los datos obtenidos para los diferentes objetivos determinando su desviación estándar y promedio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial hídrico xilemático en frutales bien hidratados

Basándose en la metodología antes expuesta, se encontró, en las diferentes especies, una gran dispersión de Ψ_x , lo que puede ser atribuible a un insuficiente tiempo de estabilización entre Ψ_h y Ψ_x , tiempo que autores como Fulton *et al.* (2001b) y Ferreyra *et al.* (2007) determinaron como suficiente 10 a 15 minutos, para ciruelo, nogal, almendro y palto (tiempo utilizado en este estudio, que será revisado con mayor detalle para cada especie). Sin embargo, la dispersión también puede ser producto de un mal manejo del riego (tiempo de riego), ya que, al momento de las lecturas (24 a 48 horas después del último riego), las plantas se pudieron encontrar con algún nivel de deficiencia hídrica, lo cual queda expresado más adelante en datos muy por debajo de la línea base (término introducido por Shackel (2003c), que indica el potencial hídrico xilemático normal de mediodía para un árbol bien hidratado); además, un mal estado de la raíz puede generar datos más negativos que la línea base.

Debido a lo anterior, y buscando que los resultados representen los árboles de mayor hidratación, se seleccionó el 25% superior de los datos obtenidos, estableciendo una línea para cada especie frutal con ellos, como se observa de la Figura 1 a la Figura 9.

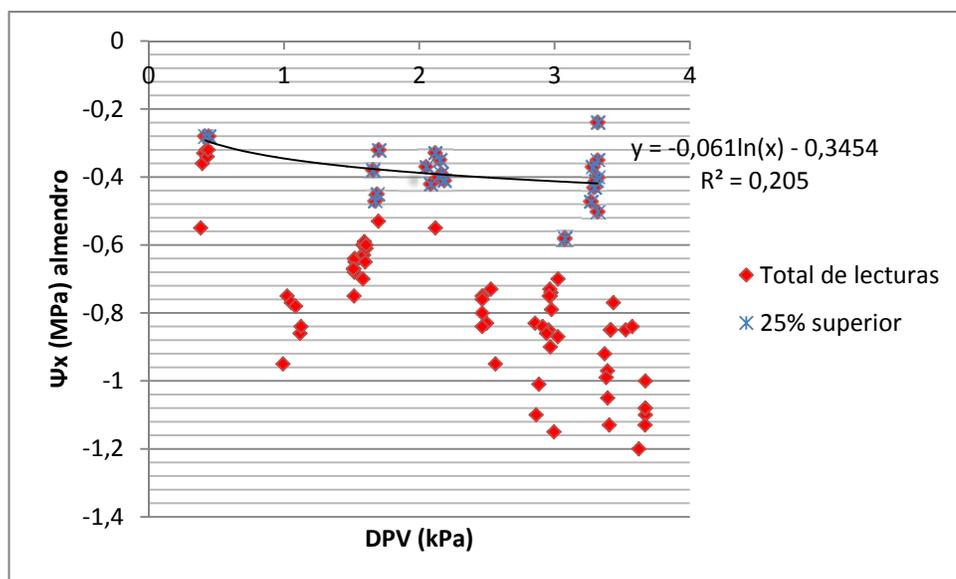


Figura 1. Potencial hídrico xilemático a mediodía en almendro como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

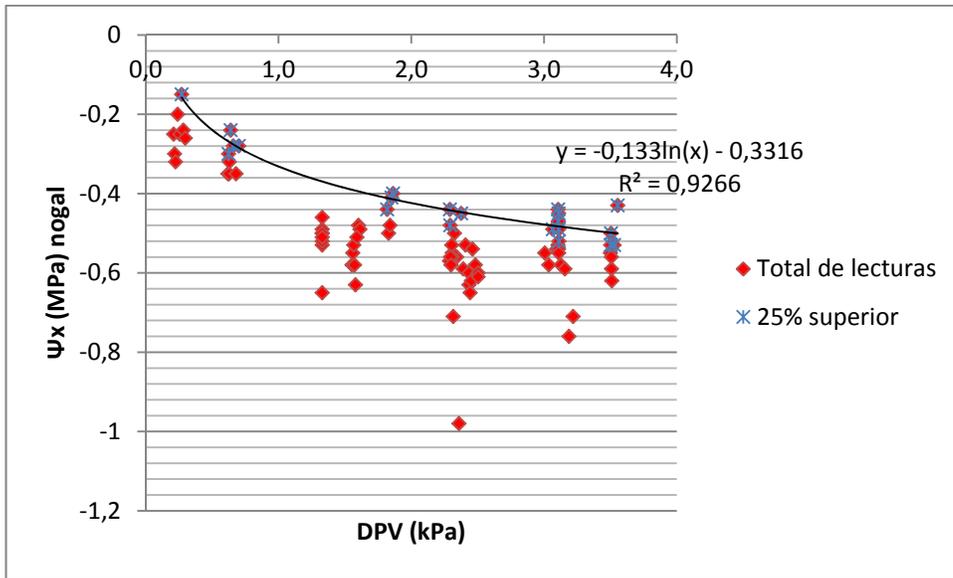


Figura 2. Potencial hídrico xilemático a mediodía en nogal como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

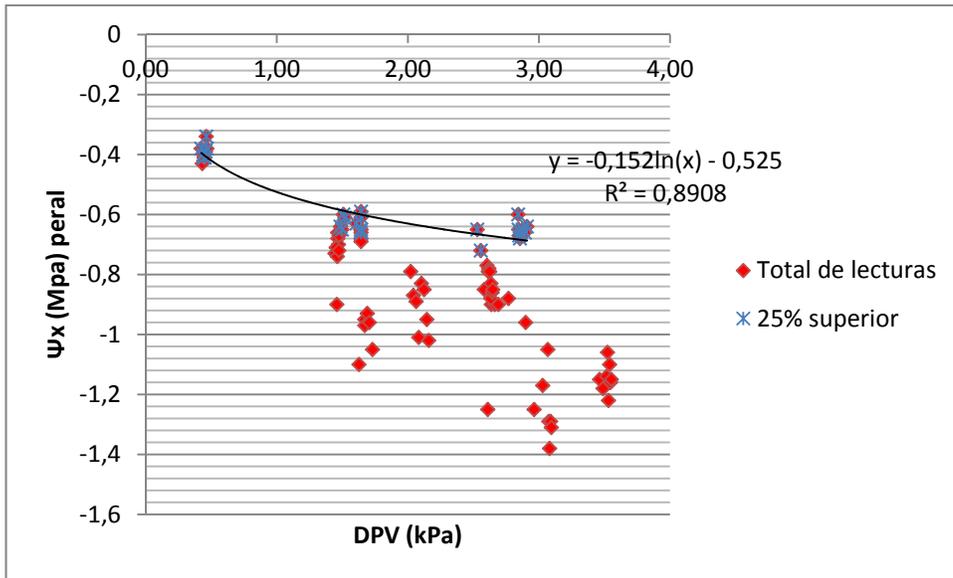


Figura 3. Potencial hídrico xilemático a mediodía en peral como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

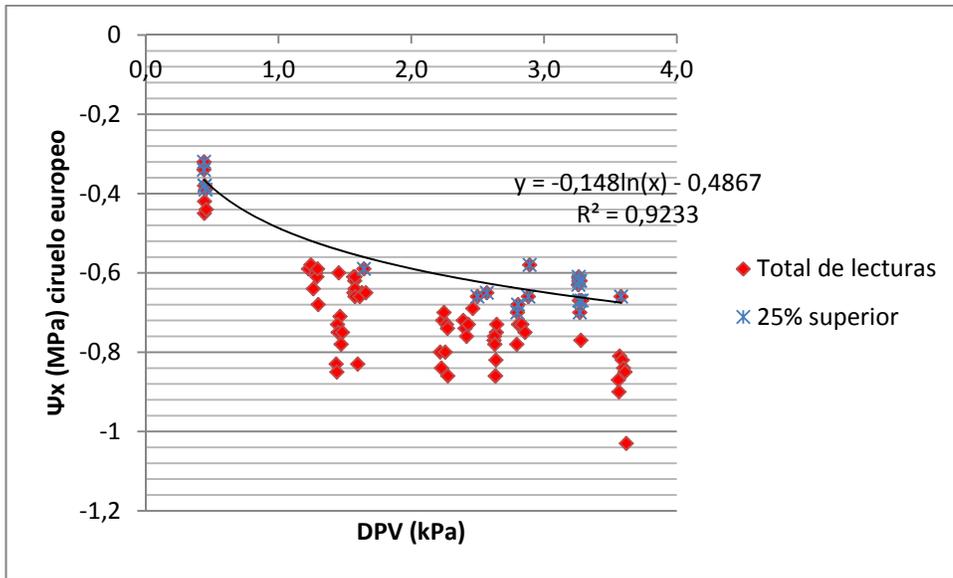


Figura 4. Potencial hídrico xilemático a mediodía en ciruelo europeo como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

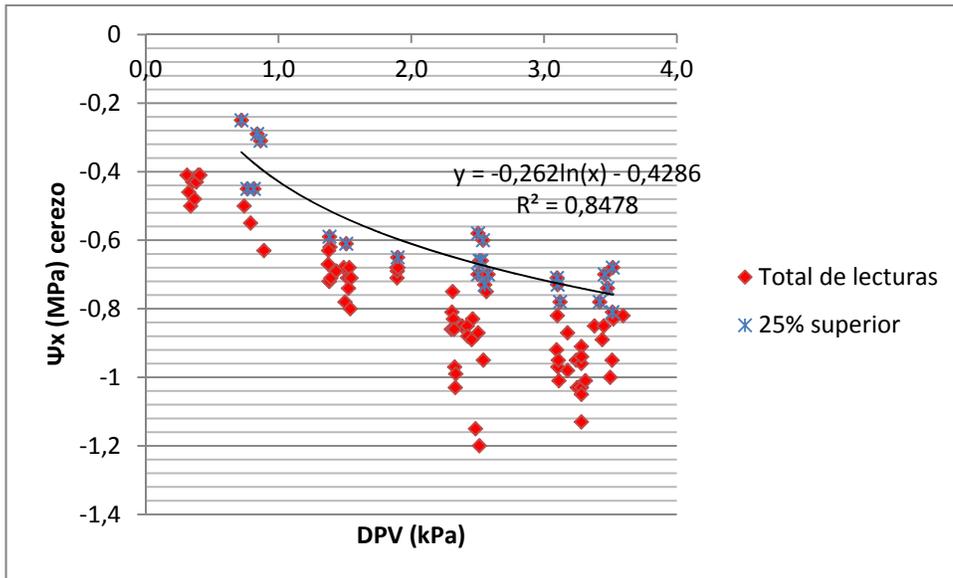


Figura 5. Potencial hídrico xilemático a mediodía en cerezo como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

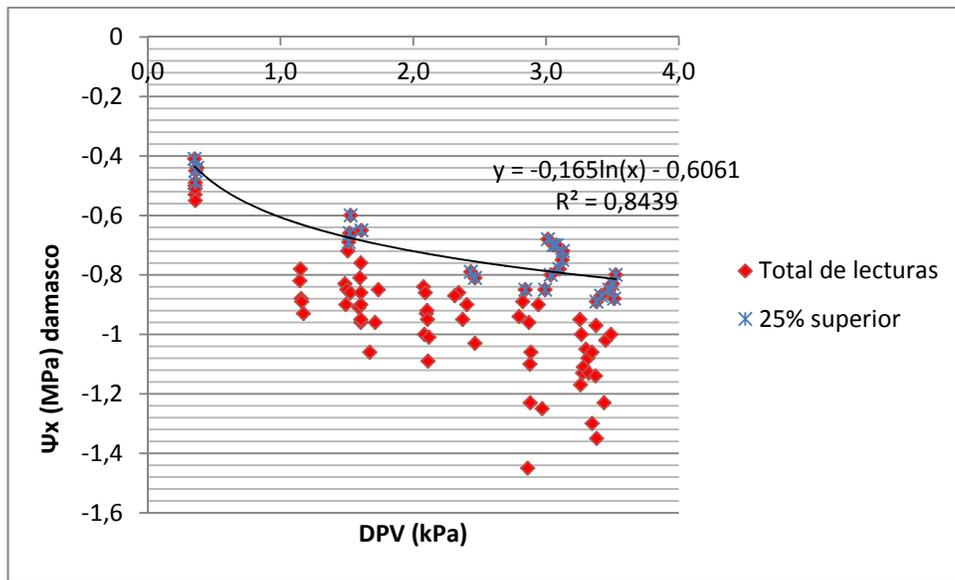


Figura 6. Potencial hídrico xilemático a mediodía en damasco como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

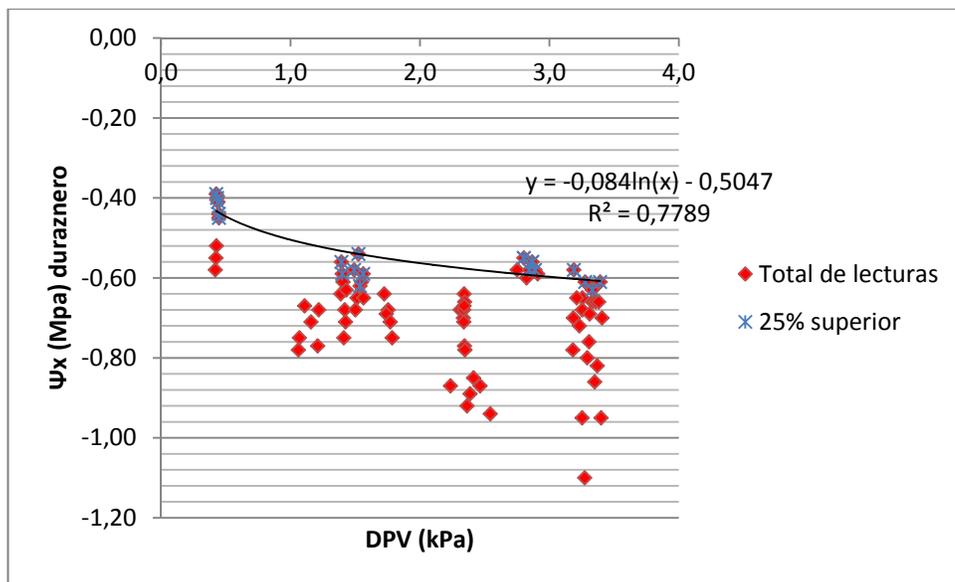


Figura 7. Potencial hídrico xilemático a mediodía en duraznero como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

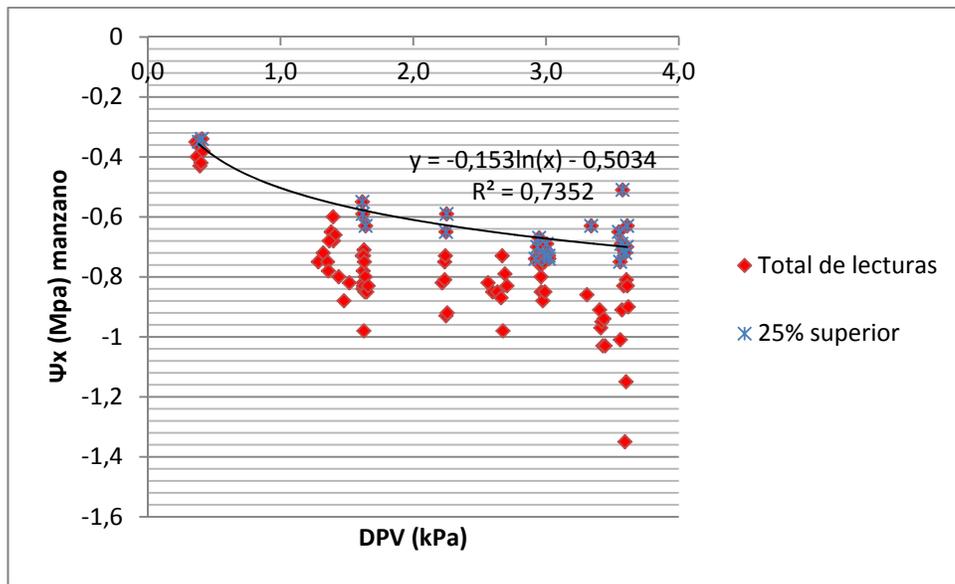


Figura 8. Potencial hídrico xilemático a mediodía en manzano como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

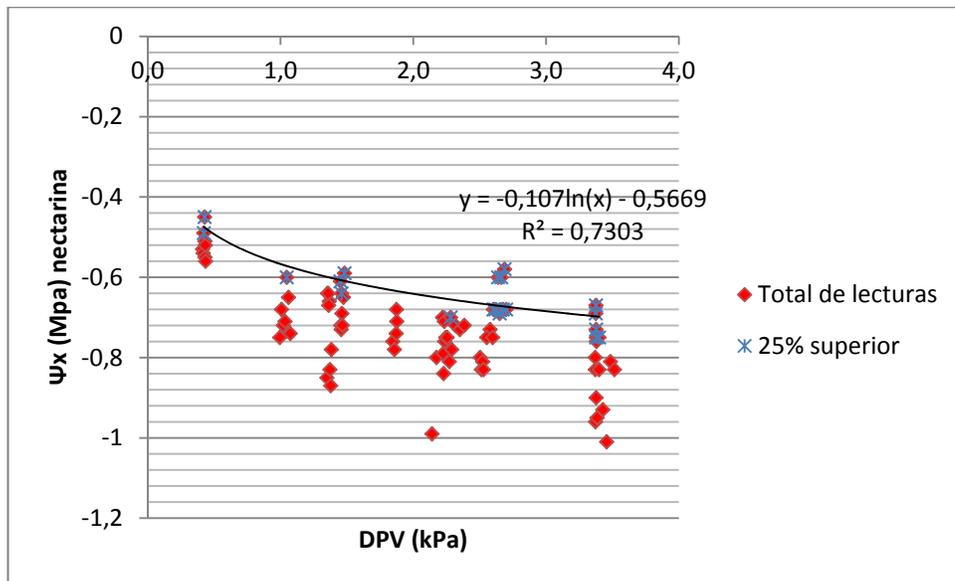


Figura 9. Potencial hídrico xilemático a mediodía en nectarina como función del DPV, para las condiciones de Antumapu; (♦) Total de lecturas y (*) 25% superior.

En el caso de ciruelo japonés, los datos fueron insuficientes para generar una línea de tendencia similar a las otras especies.

Para observar de mejor manera el comportamiento y diferencias entre especies, la respuesta del Ψ_x de éstas se agrupó y contrastó en figuras (Figuras 10; 11 y 12).

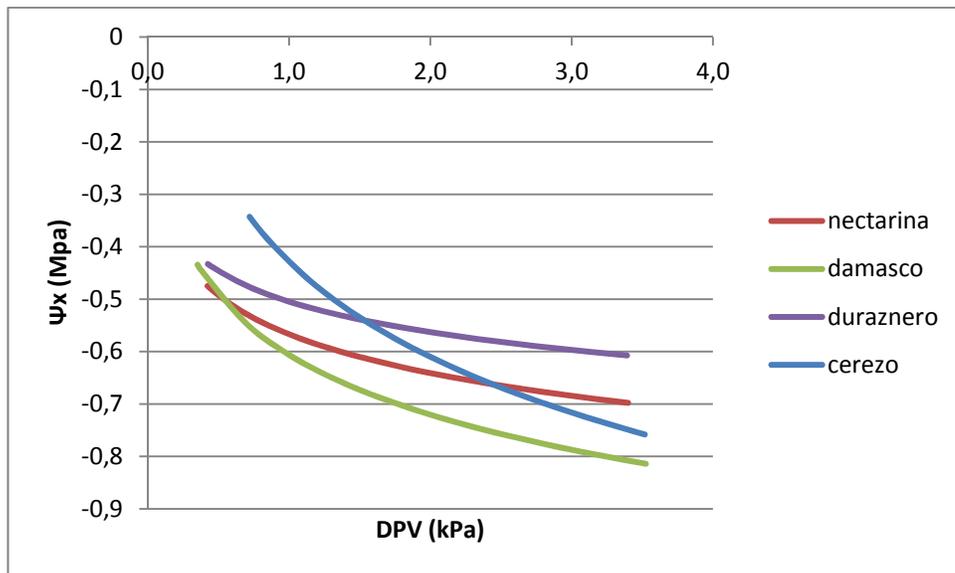


Figura 10. Potencial hídrico xilemático de plantas bien hidratadas (línea base obtenida por el presente estudio) para cerezo, duraznero, nectarina y damasco.

En la Figura 10 se aprecia que el damasco, para similares condiciones de humedad y temperatura, muestra un potencial hídrico menor al de las otras especies (valores con tendencias más negativas). Por su parte, para duraznero y nectarina se observaron curvas semejantes, pero siempre con valores levemente mayores en árboles de duraznero, para cualquier DPV observado. El cerezo, para bajos valores de DPV presentó valores menos negativos que las anteriores especies, pero con alto DPV muestra valores cercanos al damasco.

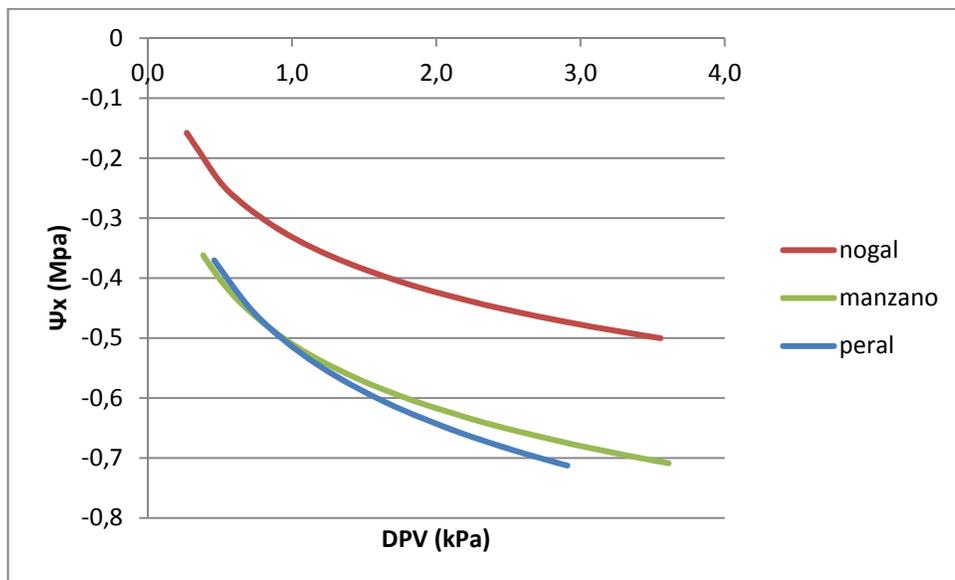


Figura 11. Potencial hídrico xilemático de plantas bien hidratadas (línea base obtenida por el presente estudio) para manzano, peral y nogal.

Al comparar manzano, nogal y peral, se observa que el nogal, para las diferentes condiciones de humedad y temperatura, muestra un potencial hídrico mayor al de todas las especies en estudio. Por su parte, ambas pomáceas presentan valores similares para el rango de bajo DPV, mientras que para un alto DPV los valores fueron levemente mayores para manzano.

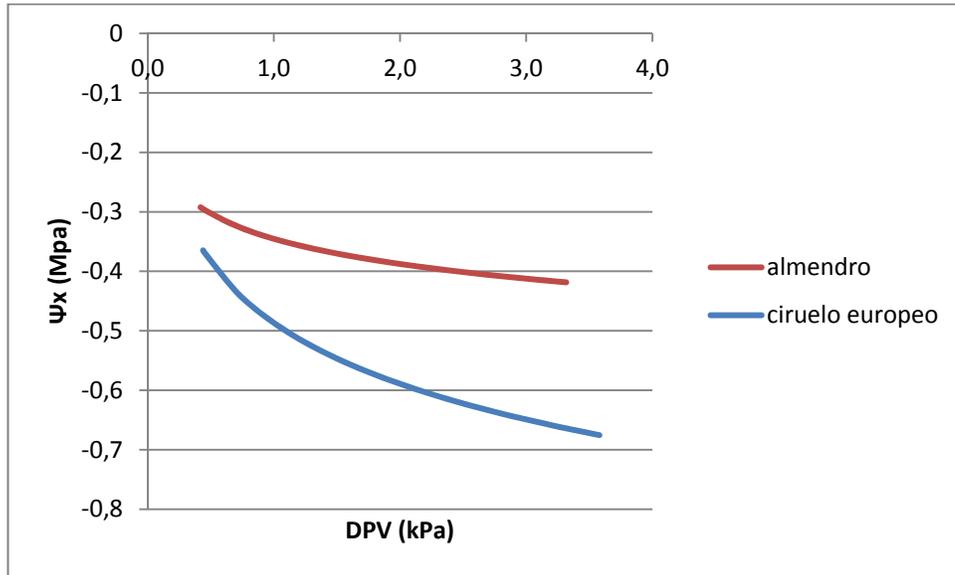


Figura 12. Potencial hídrico xilemático de plantas bien hidratadas (línea base obtenida por el presente estudio) para almendro y ciruelo.

No se observó alguna similitud entre los potenciales de almendro y ciruelo europeo, siendo la curva del almendro siempre mayor en sus valores para cualquier DPV existente. Respecto a esto, Shackel *et al.* (1997) indican que ambas especies presentan la misma respuesta.

Al comparar las curvas de potencial hídrico xilemático obtenidas para ciruelo europeo y nogal, con las propuestas por McCutchan y Shackel (1992), Shackel *et al.* (1997) y Shackel (2003d) (Figuras 13 y 14, respectivamente). Se aprecia que aquellos valores obtenidos para condiciones de día nublado, con precipitaciones (14 de noviembre del 2008), favorecieron el ajuste a una curva de tipo logarítmica, para las especies frutales en este estudio y no lineal como la obtenida por Shackel *et al.* (1997). Al respecto Fulton *et al.* (2001b) dicen, sin embargo, que las mediciones hechas en días anormalmente helados, cubiertos, extremadamente calurosos o con demasiado viento deben ser evitados, ya que subestiman los niveles de Ψ_x en plantas bien hidratadas. Pese a ello, el presente estudio describió y registró los datos de ese día, debido a que en las proyecciones hechas por Shackel *et al.* (1997), Shackel (2003d) y Mitchan (2007) incluyen estos rangos de DPV.

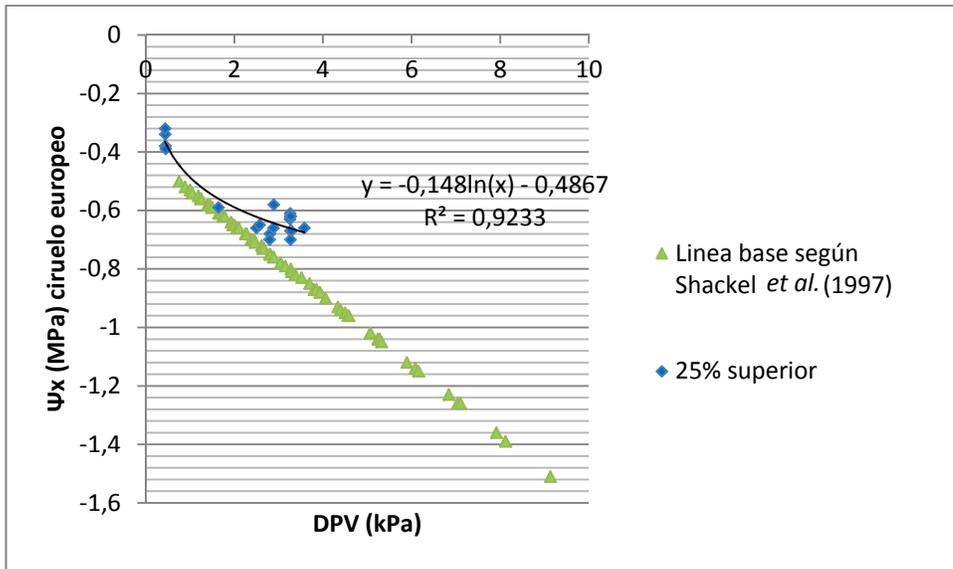


Figura 13. Potencial hídrico xilemático del 25% superior de las observaciones, en comparación con línea base propuesta por Shackel *et al.* (1997), en ciruelo europeo.

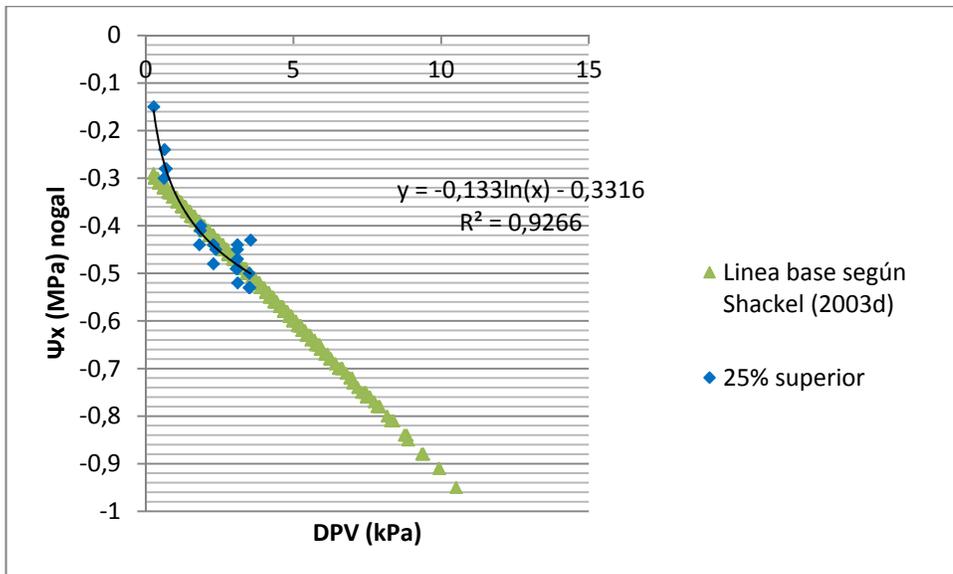


Figura 14. Potencial hídrico xilemático del 25% superior de las observaciones en comparación con línea base propuesta por Shackel (2003d), en nogal.

En peral, los Ψ_x obtenidos para un bajo DPV muestran valores mayores a los proyectados por Mitchan (2007), hasta valores de DPV de 1,6 kPa, luego del cual se observó una curva similar (Figura 15).

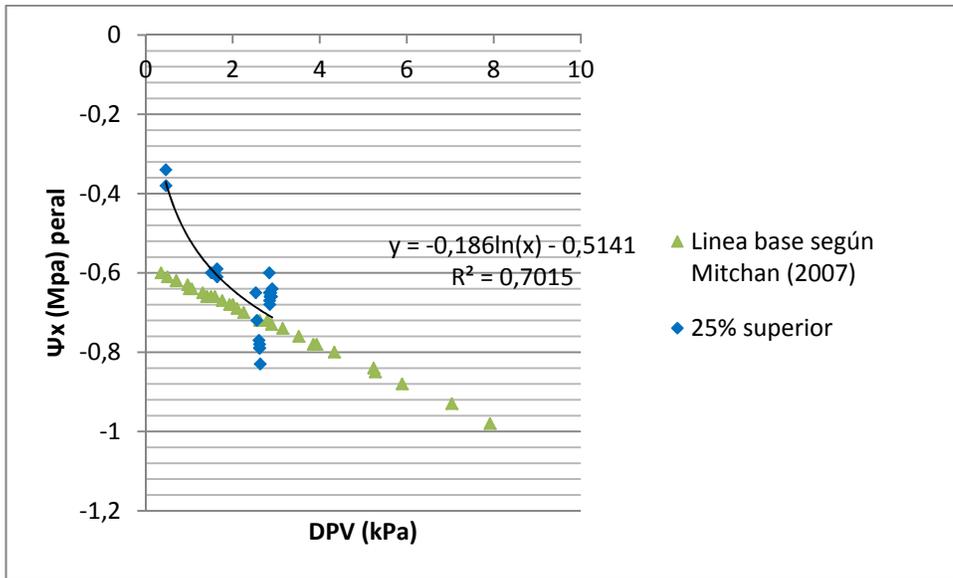


Figura 15. Potencial hídrico xilemático del 25% superior de las observaciones en comparación con línea base propuesta por Mitchan (2007), en peral.

Los Ψ_x para el almendro no coinciden con los descritos por Shackel *et al.* (1997), mostrándose siempre valores mayores de Ψ_x para cualquier DPV (Figura 16). Estos valores encontrados por arriba de la curva pueden ser producto de posibles errores de medición, por mala ejecución al medir, eligiendo el burbujeo en vez de la salida de una gota de agua, como lo ejemplifica Shackel (2003a).

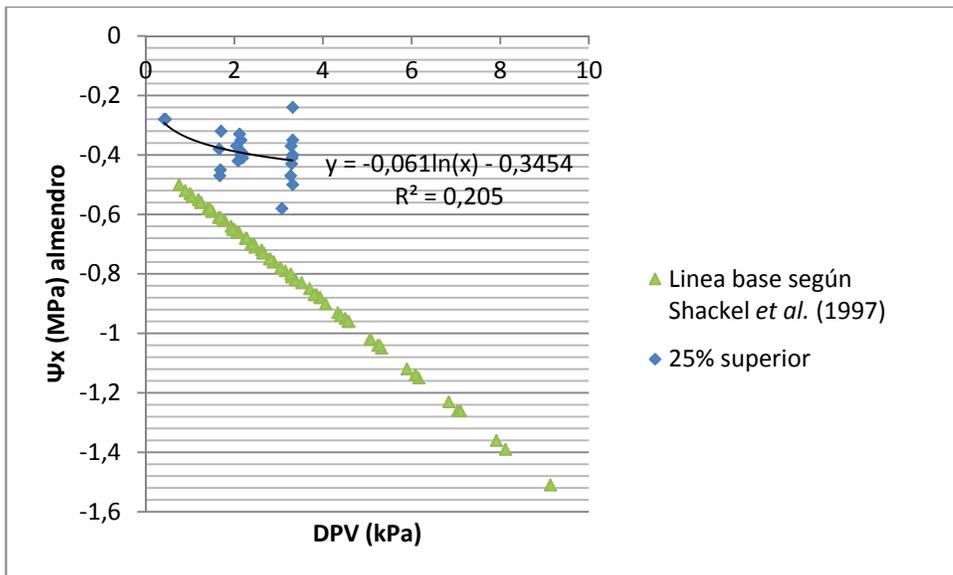


Figura 16. Potencial hídrico xilemático del 25% superior de las observaciones en comparación con línea base propuesta por Shackel *et al.* (1997), en almendro.

Posición de la hoja en el árbol

Las hojas de nogales, almendros, cerezos, ciruelo europeo, ciruelo japonés, manzano, nectarinas y durazneros expuestas al sol presentaron una tensión mayor que las hojas expuestas a la sombra, dentro de un mismo árbol. Además, las hojas más lejanas a las ramas madres y/o tronco principal muestran un promedio más negativo que las que se encuentran cerca de éstos. Adicionalmente, la desviación estándar (DS) fue menor en las hojas que se encuentran expuestas a la sombra y en la zona baja y media de los árboles (Figura 17).

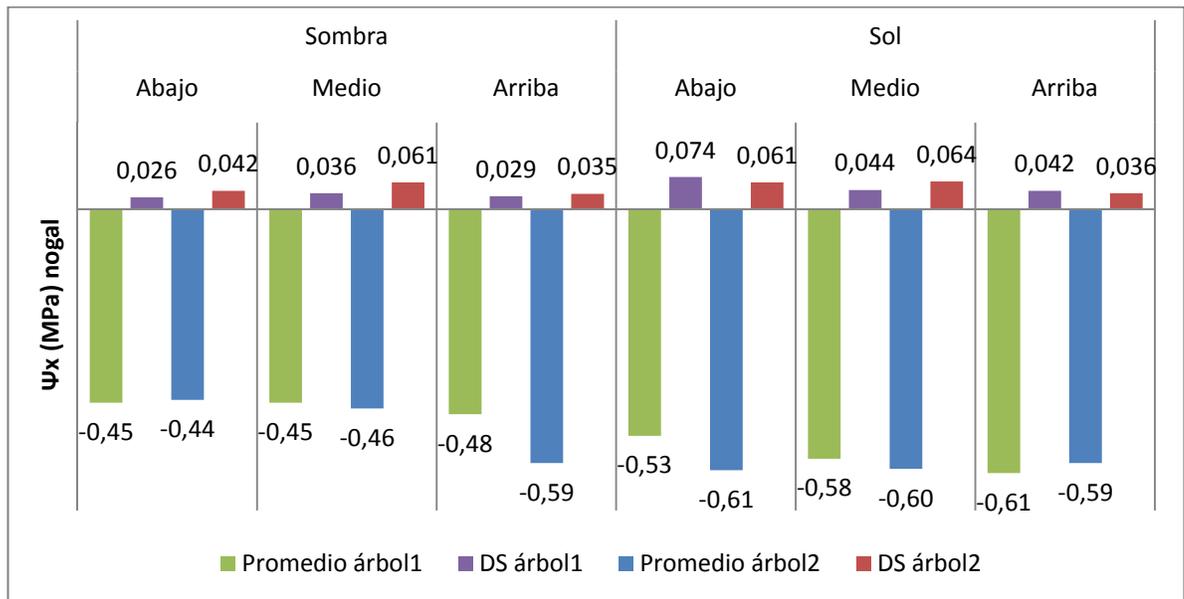


Figura 17. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de nogal.

Estas mediciones corroboraron la proposición de Shackel (2003a), en el sentido que las hojas seleccionadas para la medición de Ψ_x deben ser aquellas que se encuentren más cercanas al tronco principal y en la zona media a baja del árbol; tal situación se reproduce en cerezo, almendro, nectarina, duraznero, manzano, ciruelo europeo y ciruelo japonés (Apéndice I).

En peral, la situación fue diferente a los casos anteriores; aunque los datos mostraron una tendencia similar, en cuanto al promedio y DS, los que fueron menos negativos para la zona media y baja en comparación con la zona de arriba, que presenta un menor promedio (más negativo) y una baja DS. Sin embargo, se observa un promedio muy distinto entre árboles para similares zonas (Figura 18). Tal diferencia se atribuye a una deficiencia hídrica existente al momento de la medición para el árbol 1.

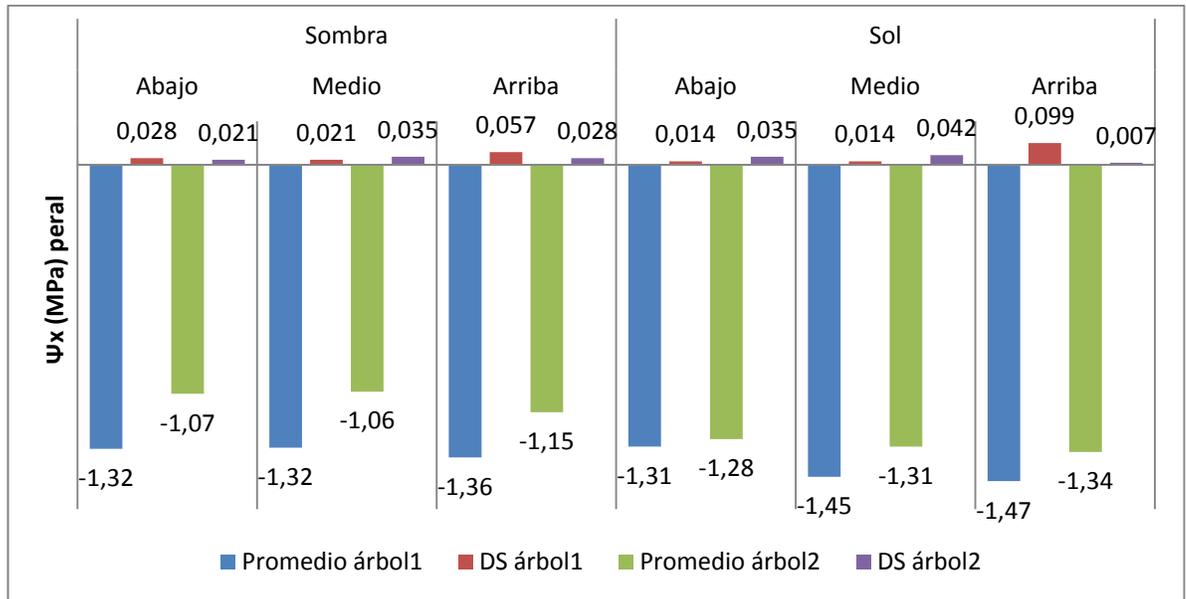


Figura 18. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de peral.

Para los frutales en estudio se observa que, en general, el promedio de las hojas expuestas al sol son más negativas que sus similares expuestas a la sombra, esto debido a que el tiempo de estabilización que necesitan las hojas expuestas a la radiación directa debe ser mayor para lograr estabilizar el Ψ_h con el Ψ_x .

Tiempo de equilibrio para la determinación del potencial hídrico xilemático

El potencial hídrico de la hoja se equilibró con el potencial hídrico del xilema después de 15 a 60 minutos, dependiendo de la especie frutal. En cerezo se equilibró mayoritariamente en los primeros 15 minutos, mostrando una desviación estándar (DS) de 0,029 MPa, aunque la total estabilización de la medición se obtiene a los 60 minutos, donde su DS disminuye a 0,014 MPa (Figura 19).

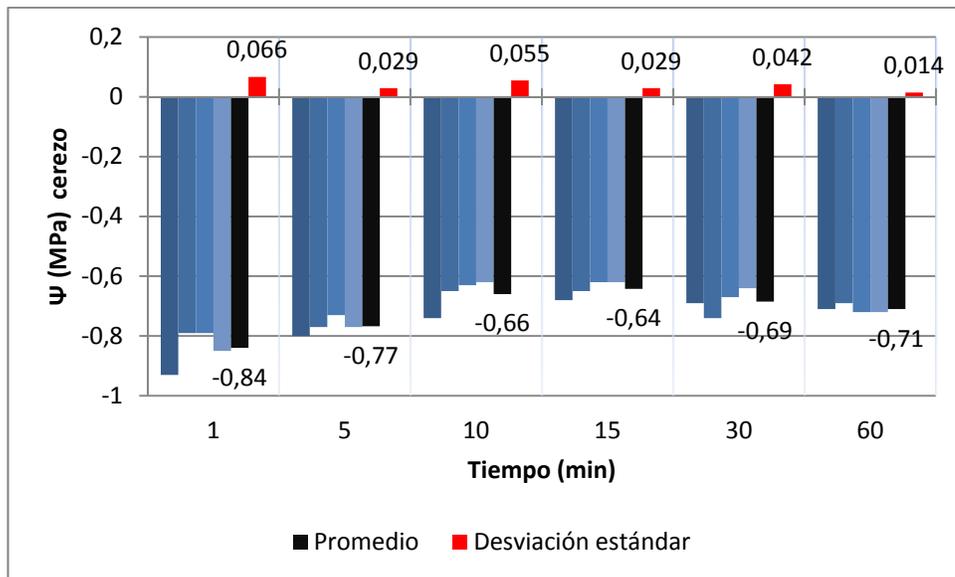


Figura 19. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de cerezos, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El duraznero (nectarina) presentó una baja DS (0,026 MPa) a partir de los 10 minutos de bloqueada la transpiración de las hojas, sin embargo, el Ψ disminuye a medida que aumenta el tiempo de cobertura, por lo que se estima una cifra confiable a partir de los 60 minutos (Figura 20).

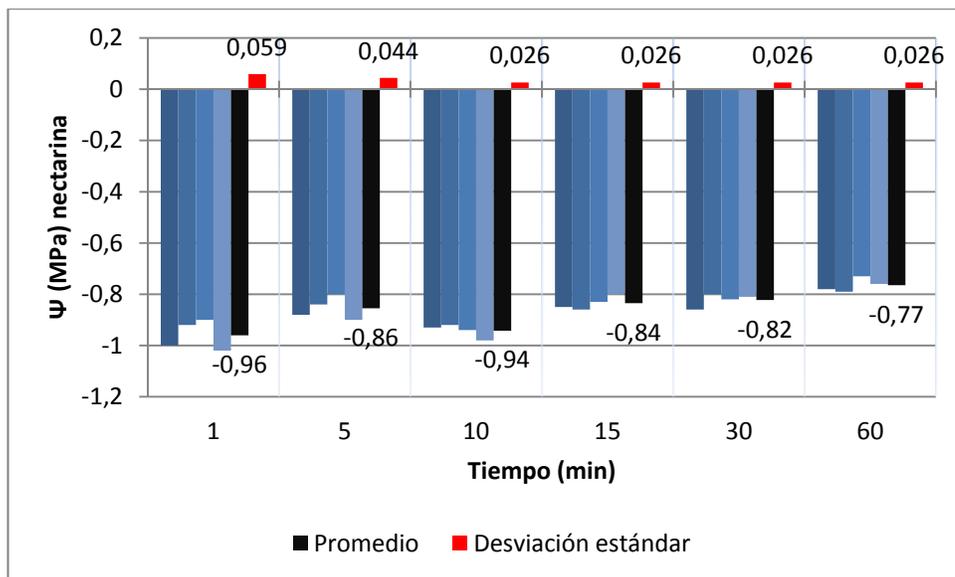


Figura 20. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de nectarinas, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

Lo mismo ocurrió en durazneros, con una baja DS (0,029 MPa) a partir de los 10 minutos

luego de bloqueada la transpiración, pero el Ψ disminuye al aumentar el tiempo de estabilización, lográndose valores más altos y con menor DS a partir de los 30 minutos de puesta la hoja en la bolsa (Figura 21).

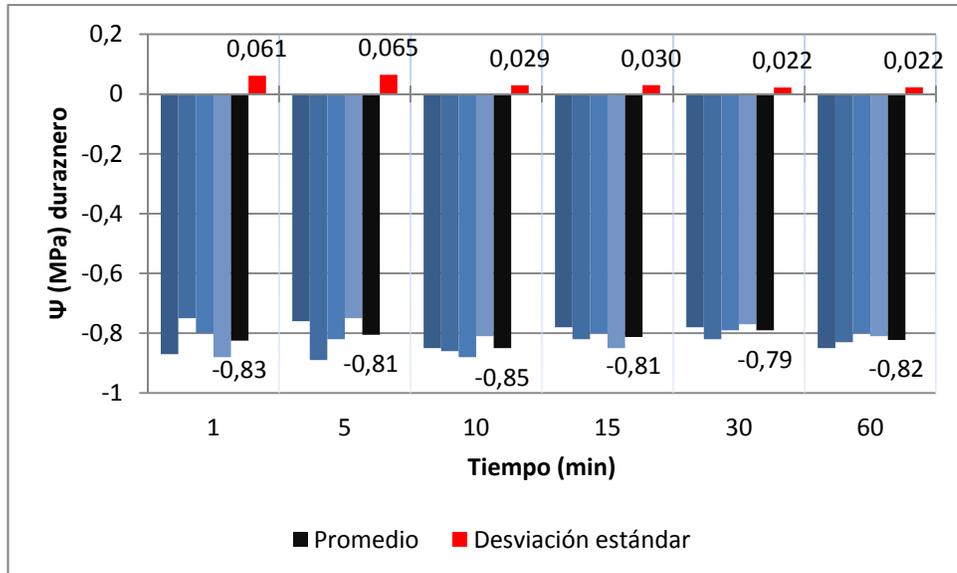


Figura 21. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de durazneros, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El nogal (Figura 22) presentó un Ψ estabilizado a los 10 minutos de bloqueada la transpiración, manteniéndose el promedio con una baja DS, demostrándose estable a partir de ese tiempo.

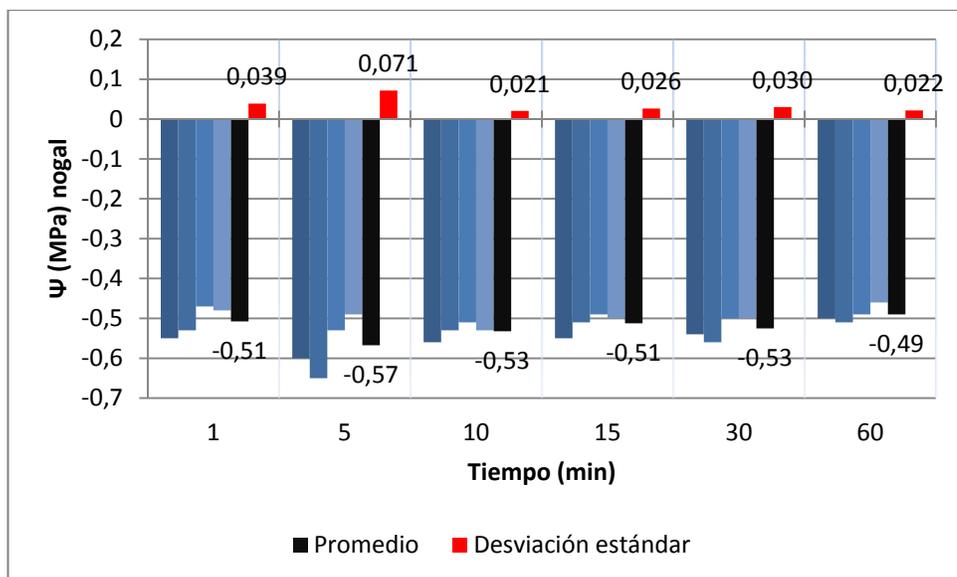


Figura 22. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de nogales, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El ciruelo japonés presenta una baja DS a partir de los 10 minutos de bloqueada la transpiración (Figura 23), aunque el promedio permanece inestable hasta los 60 minutos.

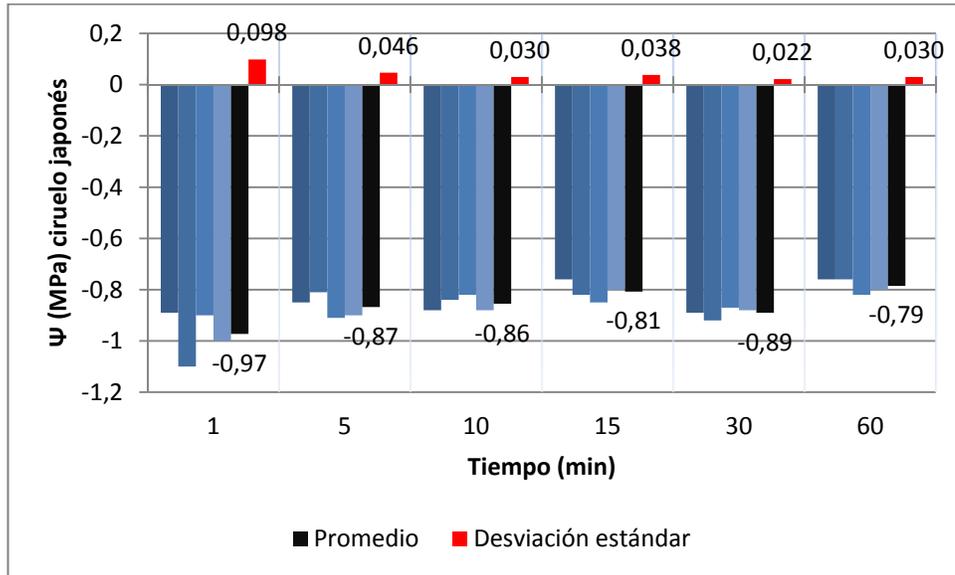


Figura 23. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de ciruelos japoneses, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El ciruelo europeo presentó una baja DS a partir de los 10 minutos de bloqueada la transpiración (Figura 24), pero su promedio es inestable mas allá de los 30 minutos; alcanzándose a los 60 minutos la más baja DS (0,025 MPa) y el menor valor promedio de Ψ .

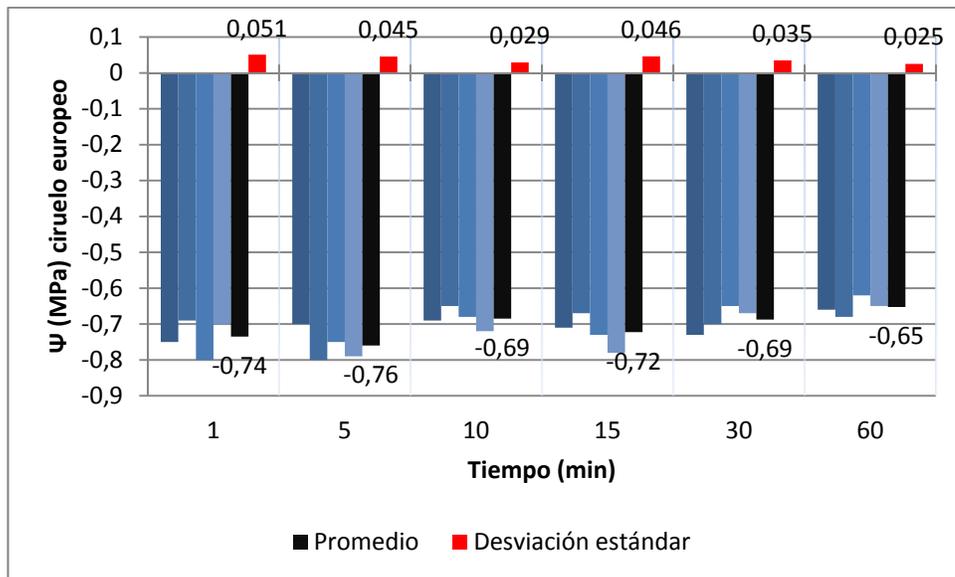


Figura 24. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de ciruelos europeos, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El peral presentó una baja DS a partir de los 15 minutos de bloqueada la transpiración (Figura 25); de la misma manera, el valor fue constante a partir de los 15 minutos.

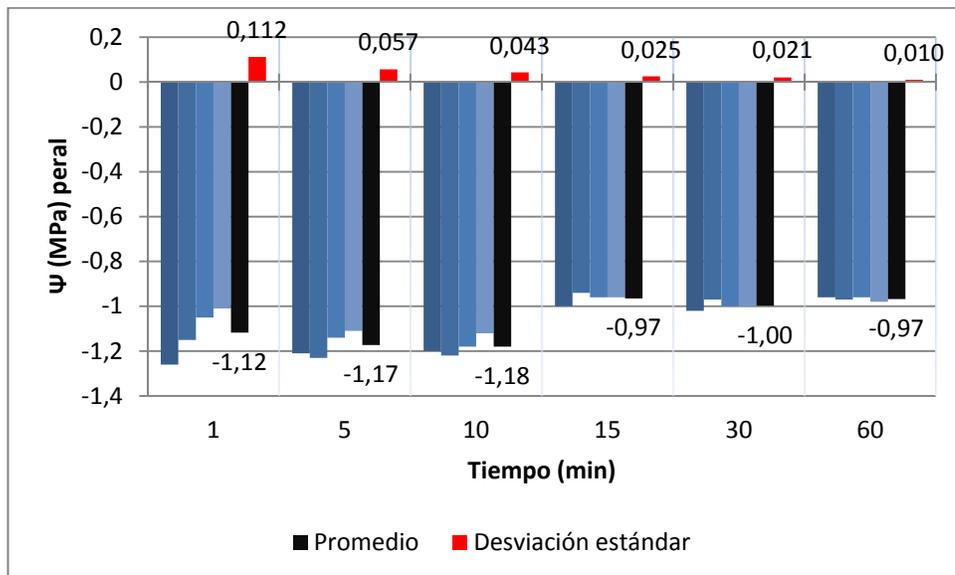


Figura 25. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de perales, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

Similar a lo encontrado en peral, el almendro presentó una baja DS a partir de los 15 minutos de bloqueada la transpiración (Figura 26), con un promedio estable que se mantuvo a través del tiempo.

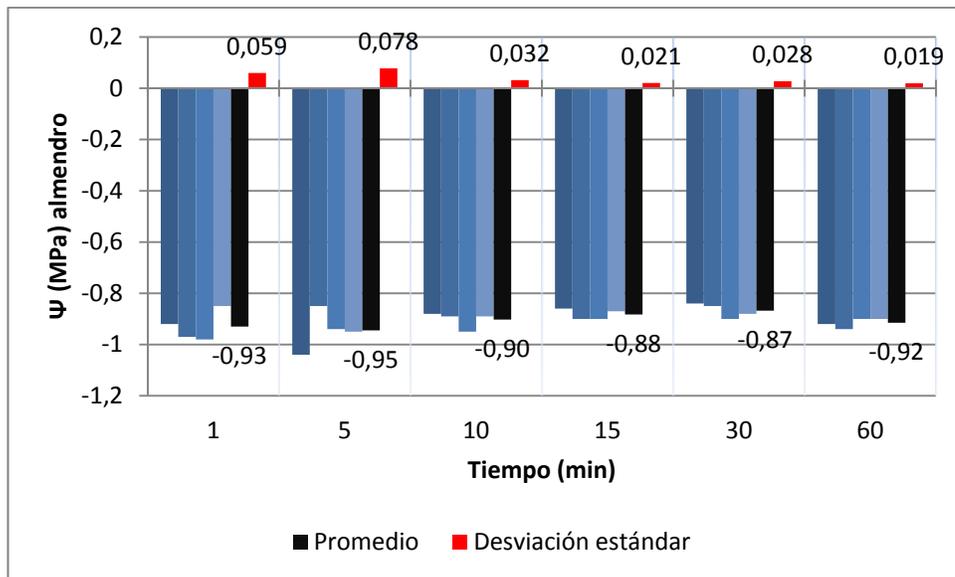


Figura 26. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de almendros, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El manzano presentó una baja DS a partir de los 15 minutos de bloqueada la transpiración, (Figura 27), con un promedio estable a partir de esa medición, el cual se mantuvo en el tiempo.

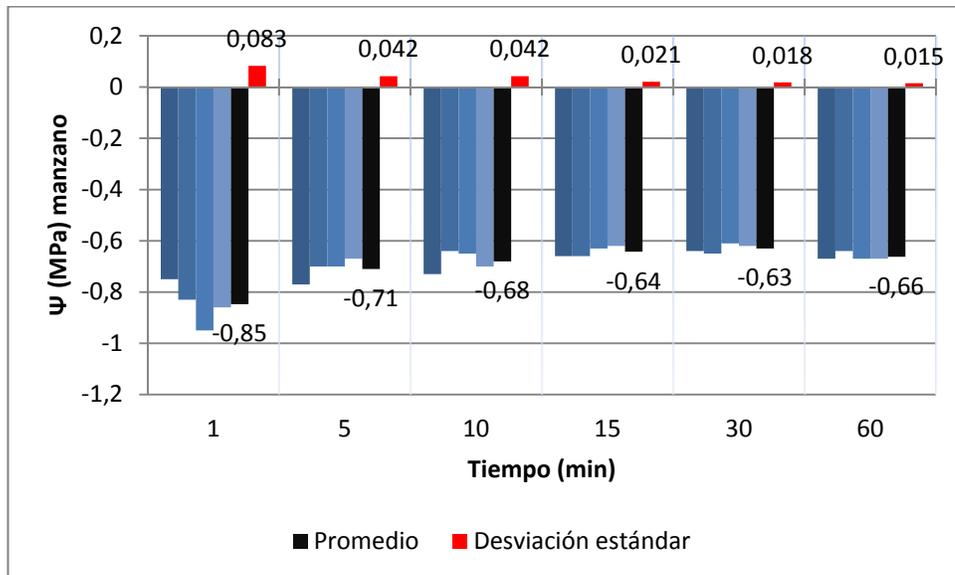


Figura 27. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de manzanos, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

El damasco presentó una baja DS a partir de los 10 minutos de bloqueada la transpiración (Figura 28), aunque el promedio se hace más estable a partir de los 15 minutos, con una aún menor dispersión a partir de este momento.

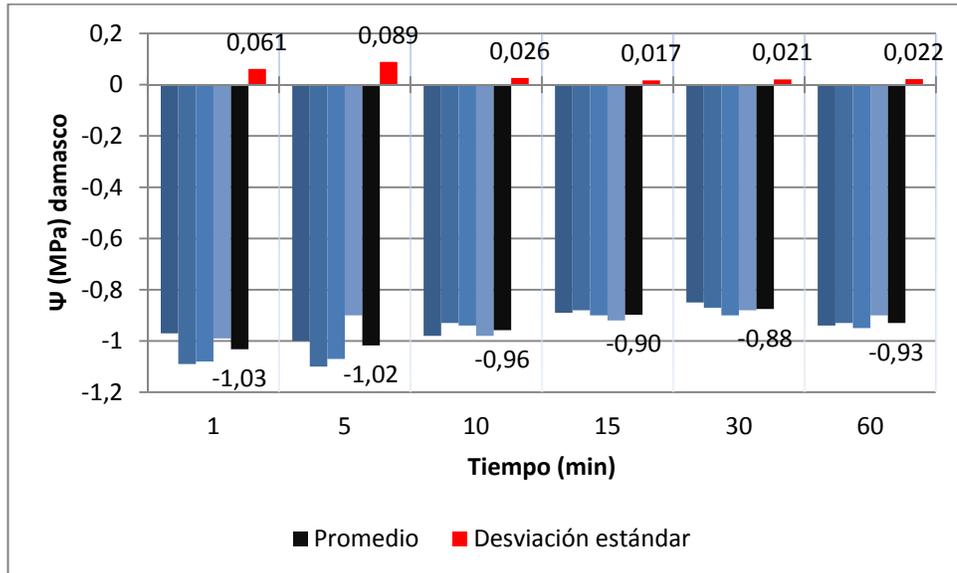


Figura 28. Potencial hídrico a mediodía (Ψ) de damascos, para diferentes tiempos de cobertura de las hojas, bajo condiciones de campo, en Antumapu.

Las mediciones descritas a partir de los 15 minutos de bloqueada la transpiración validan la curva de Ψ respecto de DPV obtenida para nogal, peral, almendro, manzano y damasco en el ensayo de potencial hídrico máximo en frutales bien hidratados, como confiable por la poca variación existente.

Por el contrario para generar información más confiable en cerezo, nectarina, duraznero y ciruelo, se necesita un tiempo de estabilización mayor, para lograr el equilibrio en la lectura del Ψ (desde 30 a 60 minutos según la especie).

CONCLUSIONES

Mediante la metodología utilizada en este estudio los resultados permiten concluir que:

- La respuesta del Ψ_x al DPV es diferente según la especie frutal observada, mostrando cierta similitud solo manzano con peral y duraznero con nectarina.
- Las hojas cuyo Ψ_x es más estable son aquellas que se encuentran en la zona baja a media del árbol, cercanas al tronco o ramas principales, por lo tanto, son éstas las indicadas para hacer las mediciones de potencial hídrico de la planta.
- El tiempo mínimo para obtener datos confiables en peral, almendro, manzano y damasco es de 15 minutos, para hojas expuestas a la sombra y cercanas al tronco o ramas principales.
- El tiempo mínimo para la estabilización en cerezo, nectarina, duraznero, ciruelo europeo y japonés es de 60 minutos luego de bloqueada la transpiración, para hojas expuestas a la sombra y cercanas al tronco o ramas principales.
- El tiempo mínimo para el nogal es de 10 minutos después de bloqueada la transpiración de la hoja, para hojas expuestas a la sombra y cercanas al tronco o ramas principales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ameglio, T., P. Archer, M. Cohen, C. Valancogne, F. Daudet, and P. Cruiziat. 1999. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant Soil* 207: 155-167.
- Boyer, J.S. 1995. Measuring the water status of plants and soils. Academic Press, San Diego, California, USA. 178 p.
- CIREN. CORFO. 1996. Estudio agrológico Región Metropolitana. 431 p.
- Ferreyra, R y G. Sellés. 2000. Especial riego y drenaje; manejo del riego; cuando el agua escasea. *Tierra Adentro* 34: 32-35.
- Ferreyra, R., V. Selles, y G. Lemus. 2002. Efecto del estrés hídrico durante la fase II del crecimiento del fruto del duraznero cv. Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. *Agric. Técnica (Chile)* 62: 565-573.
- Ferreyra, R., V. Selles, J. Peralta, and J. Valenzuela. 2004. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Hort.* 646: 27-33.
- Ferreyra, R., G. Sellés, P. Maldonado, J. Celedón y P. Gil. 2007. Efecto del clima, de las características de la hoja y de la metodología de medición en el potencial hídrico xilemático en palto (*Persea americana* Mill.). *Agricultura Técnica* 67: 182-188.
- Fulton, A., R. Buchner, B. Olson, L. Schwankl, C. Gilles and N. Betagna. 2001a. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *HortTechnology* 11: 609-615.
- Fulton, A., R. Buchner and C. Little. 2001b. Field experience with interpreting midday stem water potential levels for walnut. *Walnut Research Reports*: 143-149.
- Mitchan, E. 2007. Pressure bomb use in pears. [en línea] <<http://ucmanagedrought.ucdavis.edu/PDF/PEAR%20PRESSURE%20BOMB.pdf>> [consulta: 10 octubre 2010].
- McCutchan, H., and K.A. Shackel. 1992. SWP as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 607-611.
- Naor, A., I. Klein, and I. Doron. 1995. Stem water potential and apple fruit size. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 577-582.

Naor, A., and M. Peres. 2001. Pressure increase rate affects the accuracy of stem water potential measurements in deciduous trees using the pressure chamber technique. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76: 661-663.

Shackel, K.A., H. Ahmadi, W. Biasi, R. Buchner, D. Goldhamer and S. Gurusinghe. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7: 23-29.

Shackel, K. 2003a. Using the pressure chamber [en línea] <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure_chamber_operation/> [consulta: 10 noviembre 2007].

Shackel, K. 2003b. The pressure chamber (the bomb) [en línea] <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure_chamber/> [consulta: 10 noviembre 2007].

Shackel, K. 2003c. Using the pressure chamber in prunes. [en línea] <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure_chamber_prunes/> [consulta: 10 noviembre 2007].

Shackel, K. 2003d. Values of midday stem water potential (SWP in bars tension) to expect for fully irrigated walnut trees under different conditions of air temperature and relative humidity. [en línea] <<http://pmsinstrument.com/UCCE%233.pdf>> [consulta: 10 noviembre 2007].

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

APÉNDICE I

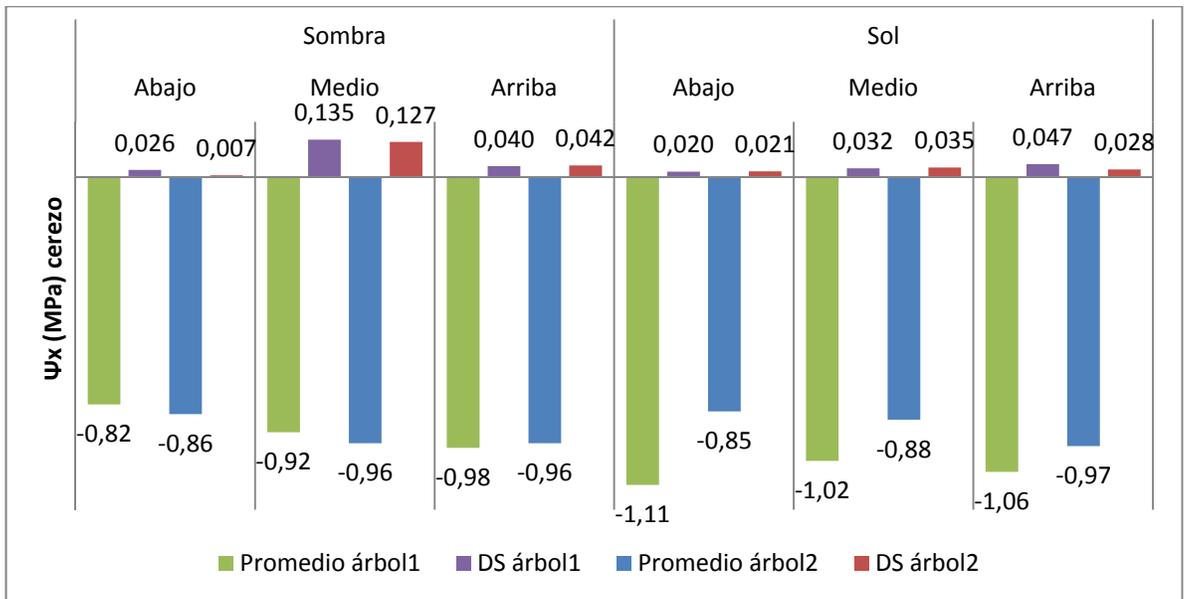


Figura 1. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de cerezo.

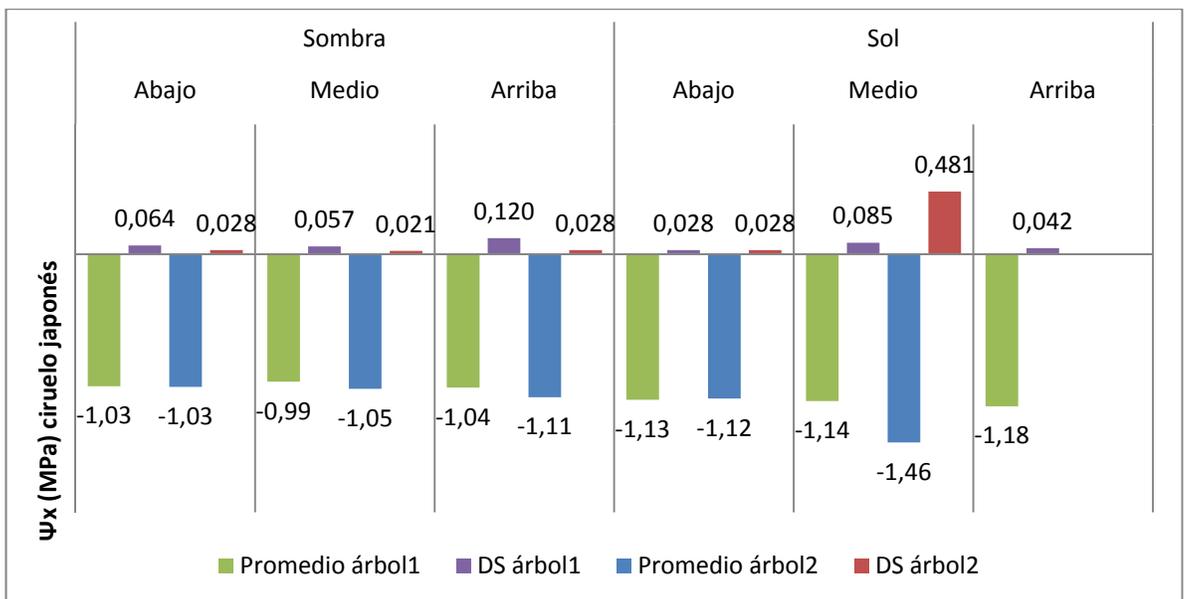


Figura 2. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de ciruelo japonés.

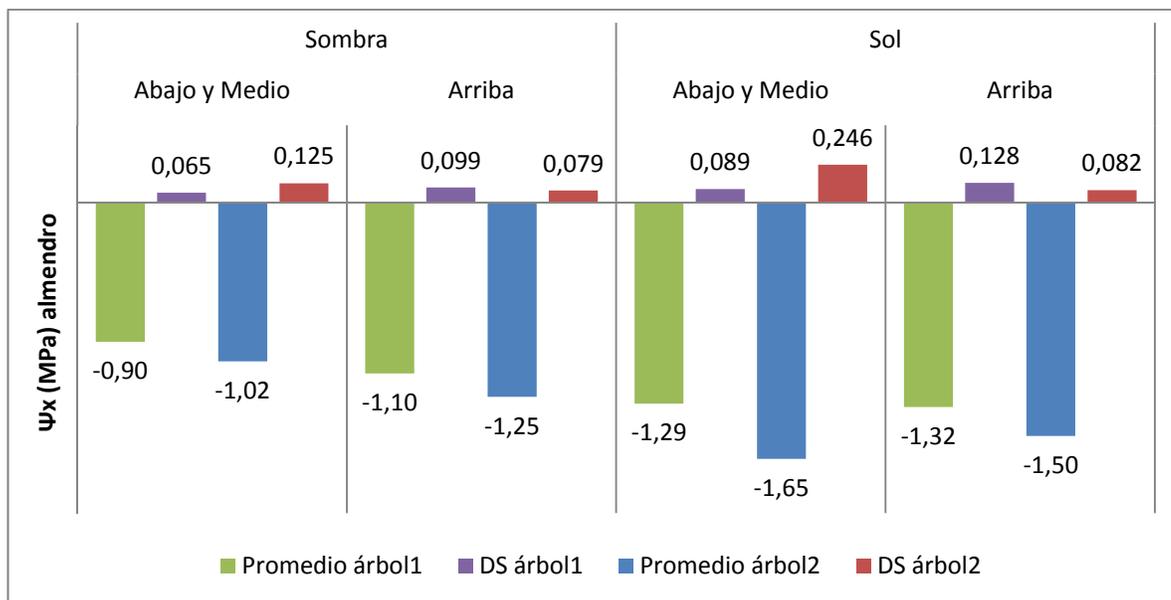


Figura 3. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de almendra.

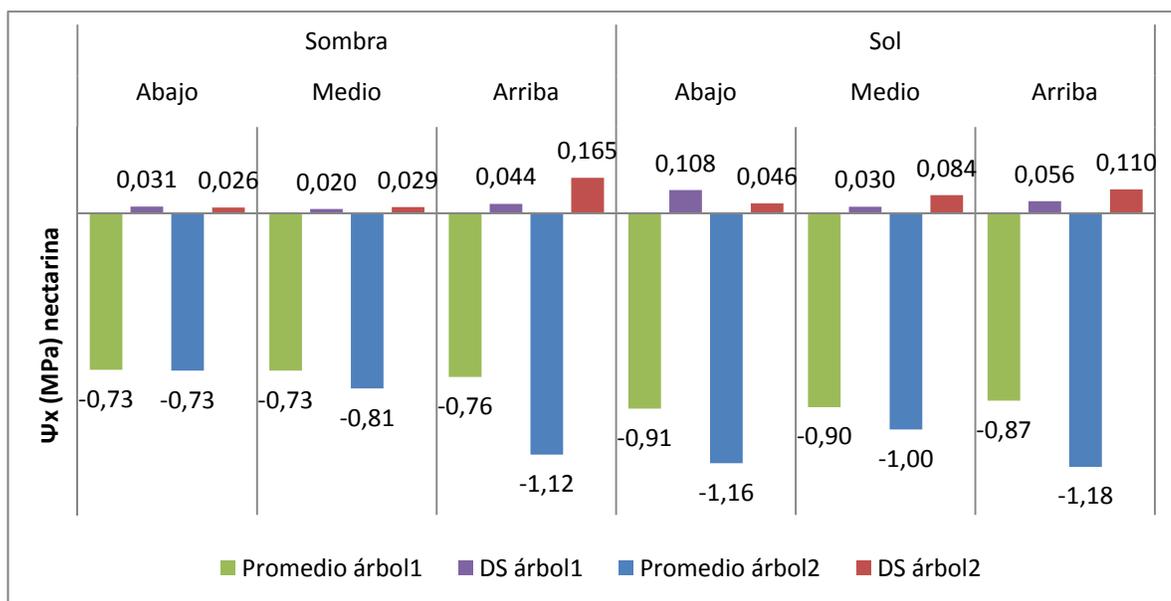


Figura 4. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de nectarina.

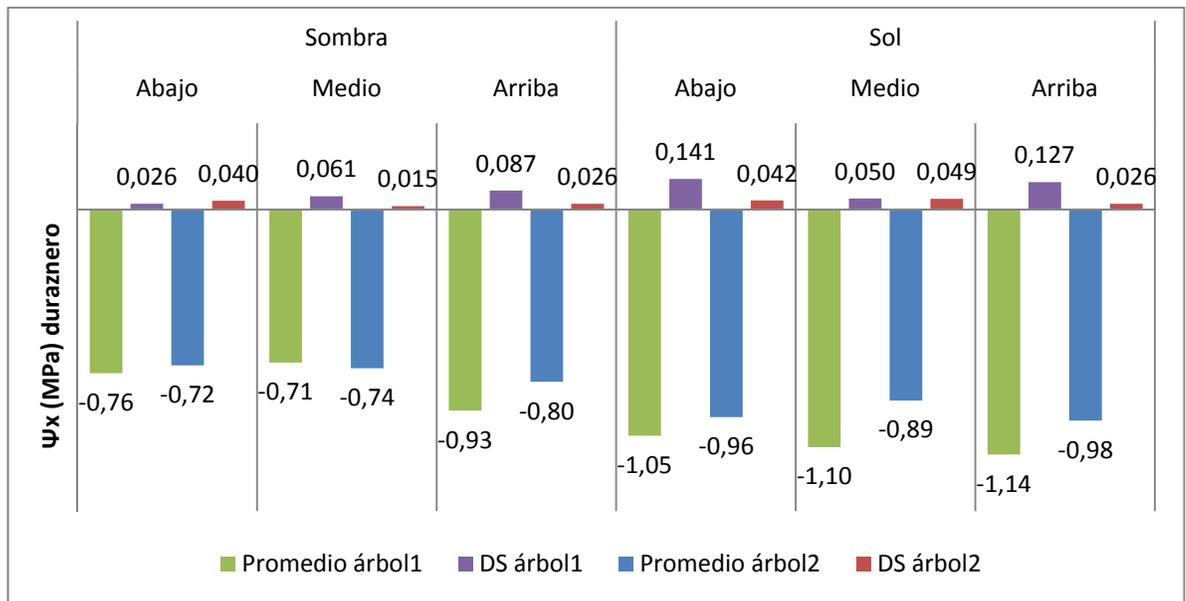


Figura 5. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de duraznero.

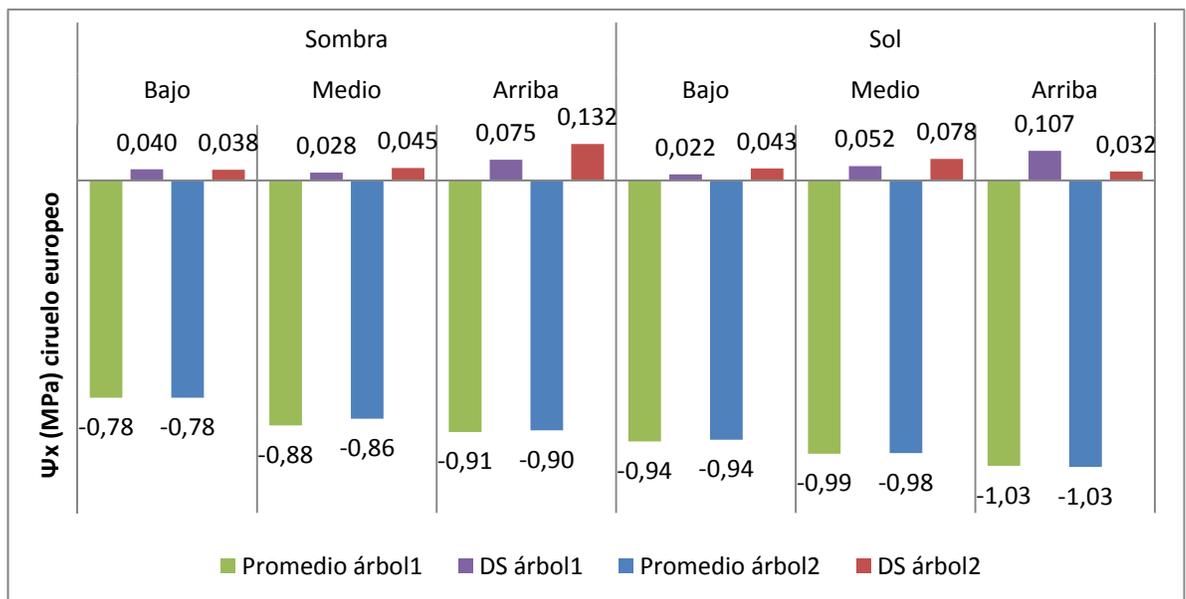


Figura 6. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en dos árboles de ciruelo europeo.

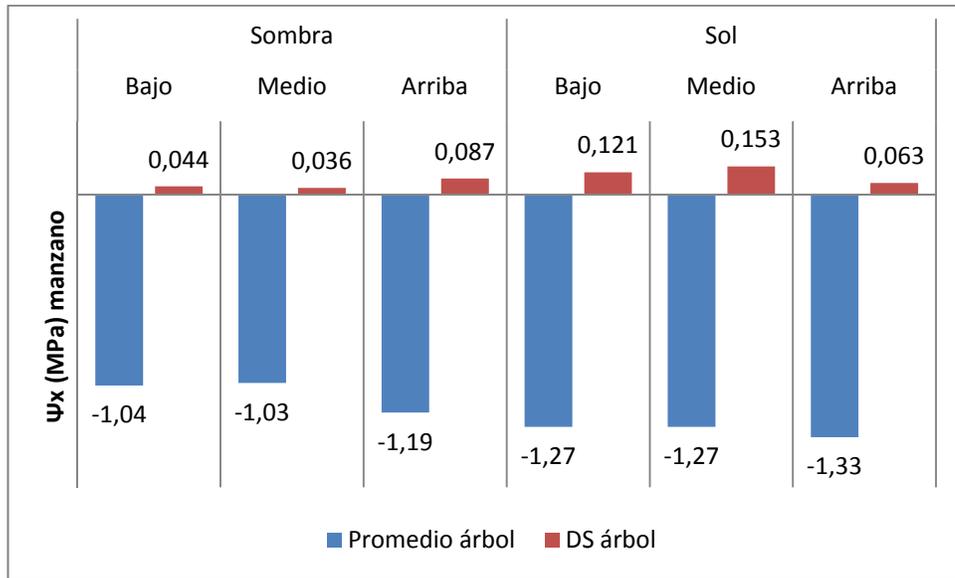


Figura 7. Promedio y desviación estándar del Ψ_x para hojas en distintas posiciones en manzano.