800.156
S.156
2005

OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO EN EL CULTIVO DEL PALTO A TRAVÉS DEL USO DE LA CÁMARA DE PRESIÓN Y EL SECADO PARCIAL DE RAÍCES.

CÓDIGO DEL PROYECTO:	**202-3352**
TÍTULO DEL PROYECTO:	**OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO EN EL CULTIVO DEL PALTO A TRAVÉS DEL USO DE LA CÁMARA DE PRESIÓN Y EL SECADO PARCIAL DE RAÍCES**
EMPRESA BENEFICIARIA:	**SOC. AGRÍCOLA LOS NOGALES LTDA.**
ENTIDAD EJECUTORA:	**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA**

FECHA DE PREPARACIÓN DEL INFORME: **AGOSTO DE 2005**

INDICE:

RESUMEN EJECUTIVO **4**
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA **6**
Antecedentes del Cultivo del Palto 6
Riego en Palto 6
Control del Riego 6
Control del Estado Hídrico del Suelo .....
Control del Estado Hídrico en la Planta 7
Potencial Hídrico Xilemático 8
Dendrometría 9
METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO **10**
ETAPA 1: Recopilación de antecedentes 11
ETAPA 2: Montaje de los ensayos 11
Ensayo N 1: Ajuste del uso de la Cámara de Presión en Paltos. 12
Ensayo nº 2: Uso de la cámara de presión en el monitoreo de la frecuencia de riego en el cultivo del palto. 13
Ensayo nº 3: Riego de palto usando la técnica del secado parcial de raíces (PRD). 14
ETAPA 3: MEDICIONES 14
RESULTADOS Y CONCLUSIONES **16**
RESULTADOS DEL ENSAYO 1: Ajuste del uso de la Cámara de Presión en Paltos 20
Efecto del DPV sobre el PHxm 20
Efecto de la madurez de hoja en la variación del PHxm 22
Efecto del Tiempo de Equilibrio en el PHx 23
Efecto del Tiempo Transcurrido entre Corte de la Hoja y Medición del PHxm 23
Efecto de la ubicación de la hoja en el árbol sobre el PHxm 25
Relación entre el PHxm y la contracción del diámetro del tronco 25
Efecto del PHxm en la conductancia estomática 27
Protocolo de medición de potencial hídrico xilemático (PHxm) con cámara de presión 30
RESULTADOS DEL ENSAYO 2: Uso de la cámara de presión en el monitoreo de la frecuencia de riego en el cultivo del palto 31
RESULTADOS DEL ENSAYO 3 Efecto del secado parcial de raíces (PRD) en la producción y la calidad de paltas 38
IMPACTOS DEL PROYECTO **43**
CONCLUSIONES **44**

RESUMEN EJECUTIVO

La Sociedad Agrícola Los Nogales Ltda. inicio el cultivo del palto en el año 1981, siendo una de las empresas pioneras en la zona con plantaciones en laderas de cerro. El predio se ubica en la Comuna de Nogales en el Fundo las Chacras, Hijuela N° 3. El predio tiene una superficie de 127 has de frutales siendo el palto el más importante, con 79 has.

La Sociedad Agrícola Los Nogales Ltda tiene como giro productivo el agrícola, comercializando el 90% de su producción al mercado externo a través de la empresa exportadora AGRICOM.

Con respecto a volúmenes de producción en el año 2001 Sociedad Agrícola Los Nogales produjo 507 toneladas de paltas de las cuales el 70% fue exportado a Estados Unidos. Sin embargo, su producción potencial se encuentra en alrededor de 1400 toneladas.

El predio, además, presentaba una gran variabilidad en la producción debido a las características físicas de los suelos y al manejo del riego. Por ejemplo existían sectores con producciones de 20 ton/ha y otros donde los rendimientos son de 8 ton/ha, debido principalmente a problemas de asfixia radicular, ya que el palto es muy sensible a la falta de aire en el suelo y la mayoría de las plantaciones se han realizados en terrenos con alta densidad aparente (1,3 a 1,4 g/cc) y baja macroporosidad.

Uno de los principales factores que afectan la producción y calidad de la fruta, sobre todo en condiciones de suelo desfavorables para el desarrollo del palto, es una inadecuada relación entre el agua y aire en el suelo producto del manejo del riego, que puede inducir déficit hídricos o excesos de agua en el suelo.

Entre las soluciones para superar este problema destacan la búsqueda de porta injertos resistentes a problemas de aireación. Sin embargo, para huertos ya establecidos deben buscarse nuevas alternativas de manejo que permitan disminuir la incidencia de este problema y mejorar los rendimientos. Una solución en esta dirección podría ser el manejo del riego con umbrales mas alto, que permitan una mejor relación aire – agua en el suelo, sin producir una disminución de los rendimientos, lo que obligaría a controlar el riego (oportunidad y cantidad) a través de mediciones del estado hídrico de las plantas

Por lo cual el objetivo de este trabajo fue optimizar la relación agua – aire en el suelo a través de la implementación de la cámara de presión como controlador de riego; manejo del riego con umbrales mas alto y utilización de la técnica de "Secado Parcial de Raíces" (PRD)

Entre los principales resultados del proyecto se destaca la obtención de una metodología de medición del potencial hídrico xilemático para control de riego en palto; la obtención de criterios y parámetros para la interpretación de la información del estado hídrico del palto, elemento fundamental en la optimización del manejo del riego y el conocimiento respecto a la magnitud del agotamiento de agua en el suelo (umbrales) que no afecte la transpiración de las plantas y optimicen al máximo la aireación en el suelo.

Además, se obtuvieron interesantes resultados en la aplicación de la técnica PRD en palto. A pesar de que no se obtuvieron ahorros de agua, se comprobó que el riego alternado no genera disminuciones de producción ni de calibre en palto.
El impacto del proyecto fue positivo para el predio de la Sociedad Agrícola los Nogales. Entre los múltiples efectos se destacan una disminución de los problemas de asfixia en las plantaciones nuevas y adultas y un mejoramiento de los niveles productivos

EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

Antecedentes del Cultivo del Palto

Se estima que en la actualidad la superficie plantada de palto en Chile está sobre las 21.500 has (ODEPA-CIREN Catastro frutícola V Región). La variedad más plantada es Hass sobre patrón mexícola (más de 18.000 has), cuyo potencial productivo para las condiciones climáticas de la V Región es de 25 tonha^{-1}(Salazar-García 2002). No obstante, el promedio nacional de rendimiento es bajo y se ubica alrededor de 9 ton ha^{-1} (ODEPA-CIREN Catastro frutícola V Región) debido principalmente a problemas en el sistema radicular por asfixia.

El palto es muy sensible a condiciones de anoxia en el suelo, sin embargo, la mayoría de las plantaciones en Chile se han realizado en suelos con alta densidad aparente (1,3 a 1,4 g/cm^{-3}), baja macroporosidad y problemas de aireación frecuentes. La sensibilidad del palto se debe a que es una especie originaria de zonas de suelos andisoles, orden de suelo caracterizado por bajas densidades aparentes (0,6 a 0,8 g/cm^{-3}), altos contenidos de materia orgánica (Salazar-García, 2002) y no presentar problemas de drenaje ni de aireación. Estudios realizados por N. Valoras, 1964, señalan que tasas de difusión de oxigeno inferiores a 0,20 μgcm^{-2}min^{-1}, determinan que las raíces detengan su crecimiento y comiencen a sufrir daños. Además, en esas condiciones se produce un incremento de la población y acción parasitaria de los hongos del suelo.

De acuerdo al estudio "Diagnóstico de la situación de las plantaciones frutales en cerro" (Ferreyra et al., 2001) la mayoría de los huertos de paltos están establecidos en suelos de texturas medias a finas, situación que junto a un mal manejo de riego aumenta el riesgo de generar problemas de asfixia radicular. Según este mismo trabajo, los bajos rendimientos y problemas de asfixia radicular afectan a más de un 20% de la superficie cultivada con esta especie.

Otros factores de estrés que también inciden en la baja productividad del palto son el añerismo, salinidad, fertilidad, emboscamiento, etc. Según Palma (2002) los paltos en condiciones de estrés generan bajas productividades y "añerismo" muy marcados, además de bajos calibres y una vida de postcosecha limitada. También afirma que un eficiente manejo del riego permite superar el estrés de las plantas en un 80%.

Control del Riego

Así como los programas fitosanitarios se apoyan en el monitoreo de plagas o los programas de fertilización requieren de análisis foliares y de suelo, el programa de

riego también debe ser controlado para poder ajustar el riego a las necesidades específicas del cultivo.

La determinación de las necesidades hídricas del cultivo se hace comúnmente a través de la estimación de la evapotranspiración potencial obtenida a partir de la bandeja "clase A" o de una estación meteorológica. Sin embargo, esto no garantiza que el cultivo se riegue adecuadamente, por lo que es necesario monitorear el riego a través de métodos de control. Los métodos de control que se utilizan en riego son fundamentalmente de dos tipos: al suelo o a la planta.

Control del Estado Hídrico en la Planta

Otra forma de evaluar si los riegos son adecuados, es midiendo el estado hídrico de las plantas. Estos métodos tienen la ventaja de integrar el contenido de humedad disponible en toda la zona radicular del cultivo y las condiciones de demanda evaporativa en el momento de la medición.

El estado hídrico de las plantas se puede medir evaluando el potencial hídrico xilemático, que es un método rápido y sencillo, o bien realizando un seguimiento continuo de otro indicador como la microvariación del diámetro de los troncos medida con dendrómetros.

Entre las soluciones para superar el problema de la asfixia radicular, destaca la búsqueda de portainjertos resistentes a problemas de aireación y Phytophthora. No obstante, para mejorar los rendimientos en huertos ya establecidos deben buscarse nuevas alternativas de manejo que permitan disminuir la incidencia de este problema. Una solución en esta dirección podría ser el manejo del riego con umbrales más altos que permitan una mejor relación aire/agua en el suelo sin producir una disminución de los rendimientos. Esto necesariamente implicaría controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas como el potencial hídrico de la hoja (PHh) (Boyer, 1995). Sin embargo, varios estudios, han mostrado que el PHh no tiene una buena correlación con el estado hídrico del cultivo por su alta variabilidad. Debido a lo anterior su valor para monitorear el riego ha sido cuestionado por varios investigadores (Sinclair y Ludlow, 1985; Bates y Hall, 1981; y Jones 1985).

Entre las principales causas que explican la baja correlación entre PHh y el estado hídrico del cultivo están los cambios de las variables ambientales (Meyer and Green, 1980); el gradiente del potencial hídrico de la hoja durante el día (Shackel y Brinckman, 1985); y la deshidratación de la hoja después de ser extraída de la planta para ser medida (Turner y Long, 1980; Bradford y Hsiao, 1982). Esta relación mejora al medir PHh en la madrugada (Meyer y green, 1980), cuando el potencial hídrico en la planta es más uniforme. Sin embargo, las determinaciones del PHh en la madrugada indican la recuperación del potencial hídrico de la planta

durante la noche y, en suelos donde la distribución del agua es heterogénea, como ocurre en riego por goteo o microaspersión, el PHh puede mostrar una respuesta muy limitada ya que estos suelos se secan en forma desuniforme (Ameglio et al., 1999). Además, el PHh medido en la madrugada es difícil de usar como controlador del riego debido a la hora en que se debe hacer la medición (antes de la salida del sol). Por lo anterior, es preferible medir el potencial hídrico de la planta a mediodía (PHhm) cuando la fotosíntesis y transpiración son más altos y es más práctico realizar la toma de datos.

Para que el PHhm sea menos variable y más representativo de la condición hídrica del cultivo es necesario utilizar la metodología propuesta por Garnier and Berger (1985) y Olien and Lakso (1986). Esta metodología consiste en poner las hojas que se van a medir dentro de una bolsa de plástico cubierta de papel aluminio para mantener la humedad e impedir el paso de la luz. Una vez puestas dentro de las bolsas, las hojas se dejan en el árbol no menos de 1/2 hora para que el PHhm se equilibre con el potencial hídrico xilemático del brote a medio día (PHxm) (Begg y Turner 1970; McCutchan and Shackel, 1992). El PHxm es menos influenciado por cambios medioambientales de corto plazo que afectan la transpiración de la hoja y por lo tanto el PHhm (Meyer y Green, 1980). Por lo tanto, el PHxm es menos variable y más representativo de la condición hídrica de la planta.(McCutchan y Shackel, 1992).

Diferentes estudios han demostrado que el PHxm medido con cámara de presión es un buen indicador del estrés hídrico en árboles frutales. Naor et al (1995) encontró una buena correlación entre PHxm y el rendimiento y calibre en manzanos. Datos similares encontró Ferreyra et al (2002) y Ferreyra et al (2004) en duraznero y vides viniferas. Naor (1998) y Ferreyra et al (2002) comprobaron que la conductancia estomática en nectarines y vid vinífera está altamente correlacionada con PHxm.

Una de la dificultades que presenta el uso del PHxm para monitoreo del riego es que la técnica requiere demasiado tiempo en su ejecución. Esto lleva a que sea difícil de aplicar en predios grandes a menos que se cuente con más de una cámara de presión y con el personal calificado necesario. Además, los tiempos necesarios para que el PHhm se iguale al PHxm y el escaso tiempo para realizar la medición a mediodía (13:00 a 15:00 horas), hacen que su aplicación sea aún más difícil.

Por lo anterior, uno de los objetivos planteados en este estudio fue establecer una metodología de medición del PHxm en palto que minimice la variación debida a los cambios medio ambientales y optimice los tiempos de medición, para poder utilizarla como controlador del riego.

Objetivos Técnicos:

El proyecto tuvo los siguientes objetivos técnicos para mejorar el manejo y control de los sistemas de riego en el cultivo del palto:

1. Establecer una metodología de medición del potencial hídrico xilemático en palto con fines de manejo y control de riego.

2. Definir criterios y parámetros de manejo del riego en palto.

3. Evaluar los efectos y factibilidad de la aplicación de la técnica PRD en el riego del palto.

METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Con el fin de mejorar el control del riego en el cultivo del palto y al mismo tiempo probar un nuevo manejo a través del secado parcial de las raíces, la Sociedad Agrícola Los Nogales Limitada presentó el proyecto Fontec "Optimización del Riego en el Cultivo del Palto a través del Uso de la Cámara de Presión y el Secado Parcial de Raíces."

La ejecución de este proyecto se dividió en 5 etapas de trabajo que se describen a continuación:

Etapa 1: Recopilación de antecedentes. Período en que se realizó una búsqueda de información nacional e internacional con el objeto de ampliar los antecedentes existentes sobre los temas en estudio. Además, en este período de tiempo se recopiló información de los suelos y aguas del predio para la planificación del ensayo y la programación de los riegos. Duración: 60 días.

Etapa 2: Montaje de los ensayos. En esta etapa se seleccionaron los árboles de los ensayos y se realizaron las modificaciones al sistema de riego del predio para que los riegos de los tratamientos se pudieran ejecutar de forma independiente al riego de la empresa. Además, se instalaron controladores de volumen de agua y se compraron las cámaras de presión que se utilizaron en la etapa de mediciones. Duración: 120 días.

Etapa 3: Mediciones. Esta etapa consistió en la realización de mediciones de potencial hídrico xilemático a medio día (PHxm), intercepción de radiación (IR), conductancia estomática (gs) y producción de fruta entre otras. Esta etapa se realizó en forma permanente desde el inicio de los ensayos y hasta el término del proyecto.

Etapa 4: Análisis y presentación de la información. Esta etapa se desarrolló una vez al año y su duración fue de dos meses. La ejecución fue realizada por INIA, Institución encargada de realizar las mediciones y analizar la información de acuerdo al convenio firmado entre Sociedad Agrícola Los Nogales e INIA.

Etapa 5: Escalamiento productivo de la tecnología. La etapa 5 se realizó al final del proyecto. Esta consistió en la utilización de la cámara de presión como un controlador de riego en el predio de la Sociedad Agrícola los Nogales.

La realización de las actividades del proyecto se llevó a cabo de acuerdo a lo programado en el siguiente cronograma (cuadro N°1).

Cuadro N°1. Cronograma de Actividades

Etapas	Años 0 1 2 3
1.-Recopilación de antecedentes	
2.-Montaje de los ensayos.	
3.-Mediciones	
4.-Análisis y presentación de la información	
5.-Escalamiento productivo de la tecnología	

Las etapas 1 y 2 se realizaron al inicio del proyecto sin inconvenientes. No obstante, la recopilación de antecedentes también se fue complementando a lo largo del desarrollo del proyecto.

Durante el primer año se realizó el estudio de suelo y en Junio del 2003 se comenzó la etapa 3 de mediciones de PHxm, conductancia estomática e intercepción de radiación.

Durante la temporada estival 2003-2004, se trabajó en establecer la metodología de medición de PHxm para usar la cámara de presión como un controlador de riego en el cultivo del palto. Para esto se determinó el tipo de hoja a medir, la edad de ésta, su posición en el árbol, etc. Además se realizó un monitoreo frecuente de las condiciones hídricas de las plantas en los ensayos. Más detalles aparecen en el capítulo de resultados y discusión.

En la temporada estival 2004-2005, se trabajó en determinar las relaciones entre el PHxm con las variables climáticas y otros parámetros fisiológicos del cultivo. Además se monitoreó el efecto de los ensayos en la condición hídrica del cultivo. Para más detalles son entregados en el capítulo de resultados y discusión.

ETAPA 1: Recopilación de antecedentes

Se recopiló toda la información disponible relacionada con el manejo del riego en palto, el uso de la cámara de presión y el secado parcial de raíces. Esta información fue de gran importancia en la ejecución del proyecto y en la evaluación de los resultados obtenidos.

ETAPA 2: Montaje de los ensayos

El trabajo de terreno se inicio en el mes de abril del año 2002 con el estudio del predio para ubicar los ensayos. Se definieron dos sectores, el primero correspondió al sector denominado Catumba, con paltos de 10 años en plena

producción (20 $tonha^{-1}$), orientados norte sur, conducidos en un sistema de en eje, poda piramidal y pendiente de plantación inferior al 15%. El marco de plantación es de 6x6 (277 $pltasha^{-1}$).

El segundo sector se denomina Los Culenes, tiene árboles de 8 años plantados en un marco de 8x4 (310 $ptaha^{-1}$) en un suelo con pendiente del 100%. La conducción de los árboles es en eje-libre con poda del tipo piramidal y ventanas interanuales. La producción promedio es 15 toneladas por hectárea.

Un vez definidos los sectores se procedió a implementar los tres ensayos que se detallan a continuación:

Ensayo N 1: Ajuste del uso de la Cámara de Presión en Paltos.

Se realizaron 9 experimentos:

Efecto del déficit de presión de vapor (DPV) durante el día sobre el potencial hídrico xilemático (PHx): Se midió PHx y DPV durante un día de verano desde las 7:00 y hasta las 19:00 horas. Se usaron 4 hojas ubicadas a 1,5 m del suelo por medición.

Efecto del déficit de presión de vapor (DPV) sobre el PHx a medio día: Durante primavera y verano se midió en 32 oportunidades el PHx y DPV a medio día (13:00 a 16:00). En cada oportunidad se midieron 4 hojas ubicadas a 1,5 m del suelo.

Efecto de la madurez de hoja en la variación del PHx: Se midió el PHx a medio día (13:00 a 16:00 horas) en hojas de distinta madurez: 1 mes, 4 meses y 10 a 12 meses de edad. Por cada edad se usaron 10 hojas ubicadas a 1,5 m del suelo.

Efecto del tiempo de equilibrio en el PHx: Para determinar el tiempo en que se equilibra el Potencial hídrico de la hoja (PHh) con el PHx, se midió el PHx en 28 hojas, las que permanecieron diferentes tiempos dentro de las bolsas. La primera medición se realizó después de 4 minutos de haber puesto las hojas dentro de las bolsas, prosiguiendo a intervalos de aproximadamente 2-3 minutos con las restantes. Las medición se realizó a medio día (13:00 a 16:00 horas) en hojas ubicadas a 1,5 m de altura del suelo.

Efecto del tiempo transcurrido entre corte de la hoja y medición de esta, sobre el PHx: Se evaluó el PHx a 33 hojas que tenían distinto tiempo (1 a 27 minutos) desde su corte del árbol a la medición. Las mediciones se realizaron a medio día (13:00 a 16:00 horas) en hojas que estaban a 1,5 m de altura del suelo.

Efecto de la conservación de la hoja en condiciones de alta humedad relativa sobre el PHx: Se midió PHx a 22 hojas, en seis de las cuales se hizo inmediatamente al ser cortadas del árbol, mientras que en las restantes la medición fue hecha después de una hora de ser cortadas y mantenidas en un cooler con hielo a 100% humedad relativa (HR) dentro de bolsas para evitar el contacto directo con el hielo y agua libre.

Efecto de la ubicación de la hoja en el árbol en el PHx: Se midió el PHx en hojas expuestas a radiación solar directa y en hojas ubicadas a la sombra. Las mediciones se realizaron en una plantación de hileras con orientación Norte – Sur, entre las 13:00 y 16:00 de modo que una sola cara recibiera radiación directa.

Efecto del potencial hídrico xilemático en la contracción del tronco del Palto. Se midió el PHx en hojas ubicadas en el cuarto nudo a partir del ápice del crecimiento primaveral expuestas a radiación directa. Las hojas se obtuvieron de árboles que presentaban un medidor de crecimiento diario de tronco (dendrómetro), ubicado a 50 cm. sobre el nivel del suelo. Las mediciones de potenciales se realizaron entre las 13:00 y las 16:00.

Uso de la cámara de presión para el monitoreo del riego en el cultivo del palto. Con todos los resultados del Ensayo 1 se desarrolló un protocolo de uso de la cámara de presión como controlador de riego en palto.

Ensayo nº 2: Uso de la cámara de presión en el monitoreo de la frecuencia de riego en el cultivo del palto.

El objetivo de este ensayo fue evaluar y ajustar el uso de la cámara de presión como controlador de riego en palto. A partir de esta hipótesis y teniendo presente que el productor riega con alta frecuencia (4 pulsos/día), se planteó evaluar el uso de la cámara en plantas sometidas a frecuencias de riego diaria (testigo productor) y plantas sometidas a riegos no diarios.

Para la realización de este ensayo se plantearon los siguientes tratamientos:

Tratamiento Testigo (To): Tratamiento regado con un 3 % del Umbral de riego.

Tratamiento riego diario (T1): Tratamiento regado con un 10% del umbral de riego.

Tratamiento riego no diario (T2): Tratamiento regado con un 20% del umbral de riego.

Cada tratamiento estuvo compuesto por tres repeticiones y se realizó un bloqueo de los tratamientos según cambios de exposición.

Para el correcto funcionamiento del equipo de riego se instalaron microaspersores autocompensados modelo Dan 2001 con un caudal de 47 l/h y conectados a una red de matrices independientes del riego del predio.

Ensayo nº 3: Riego de palto usando la técnica del secado parcial de raíces (PRD).

El objetivo planteado en este ensayo es aumentar el nivel de aireación en la zona radicular de las plantas a través de la aplicación del 100% de la ETc en el 50% del área mojada. Para esto se aplicó el 100% del agua que evapotranspira el cultivo en un día pero en el 50% del área mojada, al día siguiente se regó el 100% del agua que evapotranspira el cultivo en el otro 50% del área mojada. De este modo se alternó el riego en la medida que el potencial mátrico del suelo aumentó dejando un mayor tiempo para que el aire ingresara al suelo. En este ensayo también se utilizó la cámara de presión para monitorear el estado hídrico de las plantas.

Para la realización de este ensayo se plantearon los siguientes tratamientos:

Tratamiento Testigo (TO): Tratamiento con aporte de agua diaria equivalente al 100 % de la evapotranspiración del cultivo aplicada en el 100% del área mojada (24 m^2) mediante dos emisores uno a cada lado de la planta.

Tratamiento Riego Alternado (A): Tratamiento con aporte de agua diaria equivalente al 100% de la evapotranspiración del cultivo aplicada en el 50% del área mojada (12 m^2) en forma alternada. Es decir, en cada riego se aplica el 100% de la ETc en el 50% del área mojada.

Cada tratamiento estuvo compuesto por tres repeticiones y cada repetición formada por 12 plantas. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar.

Los emisores usados en este ensayo fueron microaspersores autocompensados modelo Naan, con un caudal de 30 l/h.

Ambos tratamientos fueron monitoreados a través del uso de cámara de presión.

ETAPA 3: MEDICIONES

Se realizaron las siguientes mediciones:

Producción. Se midió en la temporada 2002-03 y 2003-04, la producción en todas las repeticiones de los dos ensayos. Para esto se pesó la producción total por

árbol y de ella se tomó una muestra equivalente al 20%, la que se pesó fruto por fruto para determinar la distribución de calibres.

Contenido de humedad en el suelo. Se instalaron tubos de acceso para determinar el contenido de humedad volumétrico del suelo mediante el uso de un FDR modelo Diviner. Con este instrumento se monitoreó la profundidad de riego y la actividad radicular.

Dendrómetros: Con el objeto de conocer la relación entre contracción del diámetro del tronco y los problemas asociados a asfixia radicular, se instaló a inicios de otoño del 2004 un dendrómetro digital. El sensor fue instalado en el ensayo 2 en una repetición del tratamiento correspondiente al riego con un 20% del umbral.

Potencial hídrico xilemático (PHx): Se midió en días con sol entre 13:00 y 16:00 horas utilizando una cámara de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Modelo CHANGE C, Santa Bárbara, California, USA) de acuerdo a la metodología descrita por McCutchan y Shackel, 1992. Las hojas medidas se encontraban en brotes de condiciones homogéneas en cuanto a exposición, edad y altura.

Conductancia estomática (gs): Se midió con un porómetro de flujo estable modelo Li-cor 1600. La hojas muestreadas correspondieron al mismo brote que las utilizadas para medir el PHx.

Déficit de Presión de Vapor (DPV). Se determinó cada 15 minutos, durantes las mediciones de PHx, con un psicrómetro ventilado (Fuese, Modelo G – 5069, Berlín, Alemania), el cual mide la temperatura del aire y la humedad relativa.

A continuación se presentan los resultados recogidos entre el período que va desde el 1 Noviembre del 2004 y el 30 de Junio del 2005.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los ensayos se realizaron en el Fundo las Chacras, propiedad de la Sociedad Comercial Agrícola Los Nogales, ubicado en la comuna de Nogales, V Región de Valparaíso, zona central de Chile.

La comuna de Nogales se caracteriza por pertenecer a una zona semiárida sin lluvias de verano. El clima corresponde a mediterráneo templado con temperaturas medias anuales de 15.3° C, una máxima media del mes más cálido (enero) de 27° C y una mínima media del mes mas frío (julio) de 5.5° C. El periodo libre de heladas es de 9 meses, de septiembre a mayo. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 437 mm, concentrada en los meses junio a agosto.

El trabajo de investigación se realizó en árboles de Palto Hass (Persea Americana Miller, var. Hass), sobre porta injerto mexícola. La edad de los árboles varió de 8 a 10 años, encontrándose todos en etapa productiva y sin restricciones hídricas ni nutricionales.

Las cantidades de agua aplicadas se determinaron a partir de la evapotranspiración potencial (ETo) medida por una estación meteorológica automática. Los programas de riego se construyeron con los coeficientes de cultivo del palto publicados por Willey en 1996. El cuadro 2 muestra las cantidades de agua mensuales aplicadas para el ensayo 2 y los datos de evapotranspiración de cultivo. El mismo procedimiento se ocupó para el ensayo tres.

Cuadro 2. Resumen de volúmenes de agua aplicados al ensayo 2.

Año	Precipitación (mm)	Eto (mm/día)	Etc (mm/día)	Agua aplicada (m3 ha-1)		
				Productor	T1(UR10%)	T2(UR20%)
2004	119		986,4	11772,8	11089,7	11306,4
			100%	119,4	112,4	114,6

PROGRAMA DE RIEGO APLICADO AÑOS 2003-04-05 (m^3*ha^{-1})

Mes	PRODUCTOR	T1 (UR10%)	T2 (UR20%)	ETc ($l*plta^{-1}*día^{-1}$)
Dic-03	1910,0	1342,5	1380,7	148,4
Ene-04	1785,0	1723,6	1766,6	141,9
Feb-04	1589,8	1473,2	1517,9	121,7
Mar-04	1506,1	1325,7	1306,1	96,6
Abr-04	980,5	1054,4	1014,5	63,1
May-04	297,4	755,5	834,2	43,0
Jun-04	223,1	384,8	338,4	28,5
Jul-04	395,8	38,3	76,5	33,7
Ago-04	596,7	140,3	153,1	45,4
Sep-04	614,6	688,8	676,0	61,8
Oct-04	1079,9	966,8	947,7	98,0
Nov-04	1157,3	1058,7	1052,3	101,0
Dic-04	1546,6	1479,6	1623,1	151,7
Ene-05	1944,1	1696,4	1559,9	146,0
Feb-05	1488,1	1546,6	1454,1	108,2
Mar-05	1260,6	1323,3	1422,2	94,6
Abr-05	1167,1	1211,7	1071,4	71,0
May-05	302,1	319,9	378,4	34,6
Jun-05	41,7	87,2	87,2	5,7

En la figura 2 se muestran gráficamente los volúmenes de agua mensuales aplicados durante la realización del ensayo. De su análisis se destaca que los riegos aplicados por el productor en los meses de invierno del año 2004 no consideraron los aportes de las precipitaciones. Estos sí fueron contemplados en el riego del ensayo el que fue notablemente menor para evitar excesos de humedad y asfixia de raíces. También se observa la evolución similar de la curva de evapotranspiración de cultivo y los volúmenes de agua aplicados.

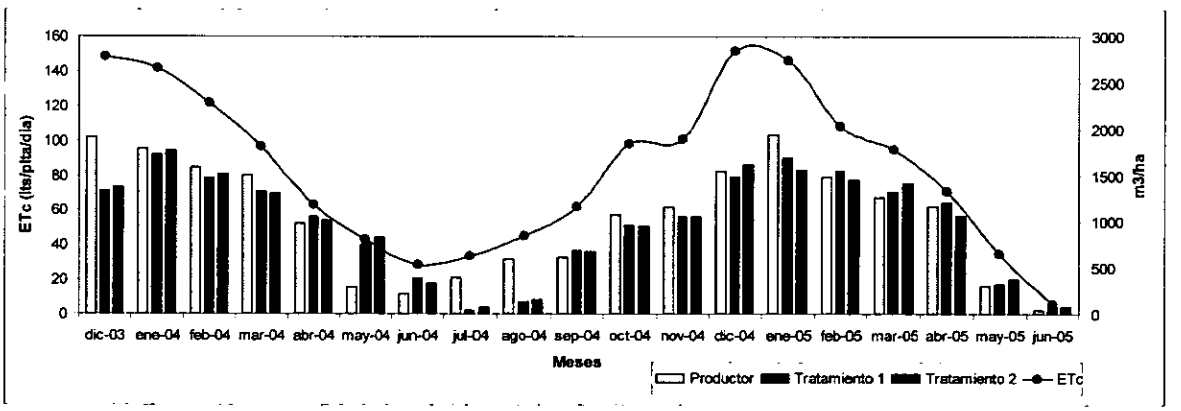
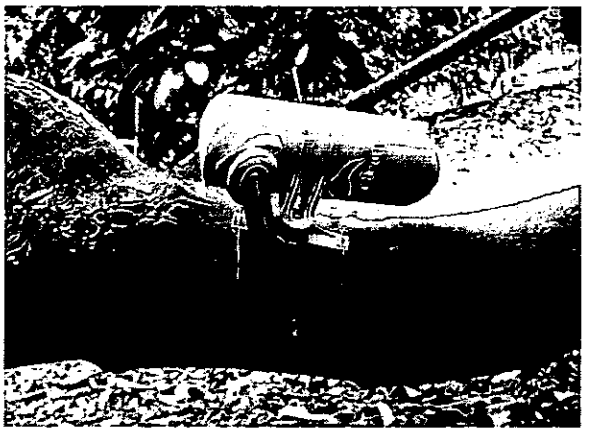


Figura 2. Cantidades de agua aplicadas al ensayo 2 durante todo el período de mediciones.

El manejo de riego de los ensayos fue monitoreado permanentemente a través del uso de sensores de suelo (Diviner) y controladores de planta: dendrómetros, porómetro y cámara de presión.



Fotografía 3. Dendrómetro digital instalado en el sector de los Culenes. Agrícola Los Nogales.

La Figura 3 representa en forma gráfica el crecimiento del tronco medido por un dendrómetro digital. En ella se puede ver que el tratamiento T2 (20% umbral de riego) tuvo un menor crecimiento en el período invernal debido a la baja de las temperaturas de suelo, sin embargo en los periodos primaverales y estivales, la tasa de crecimiento del tronco es rápida.

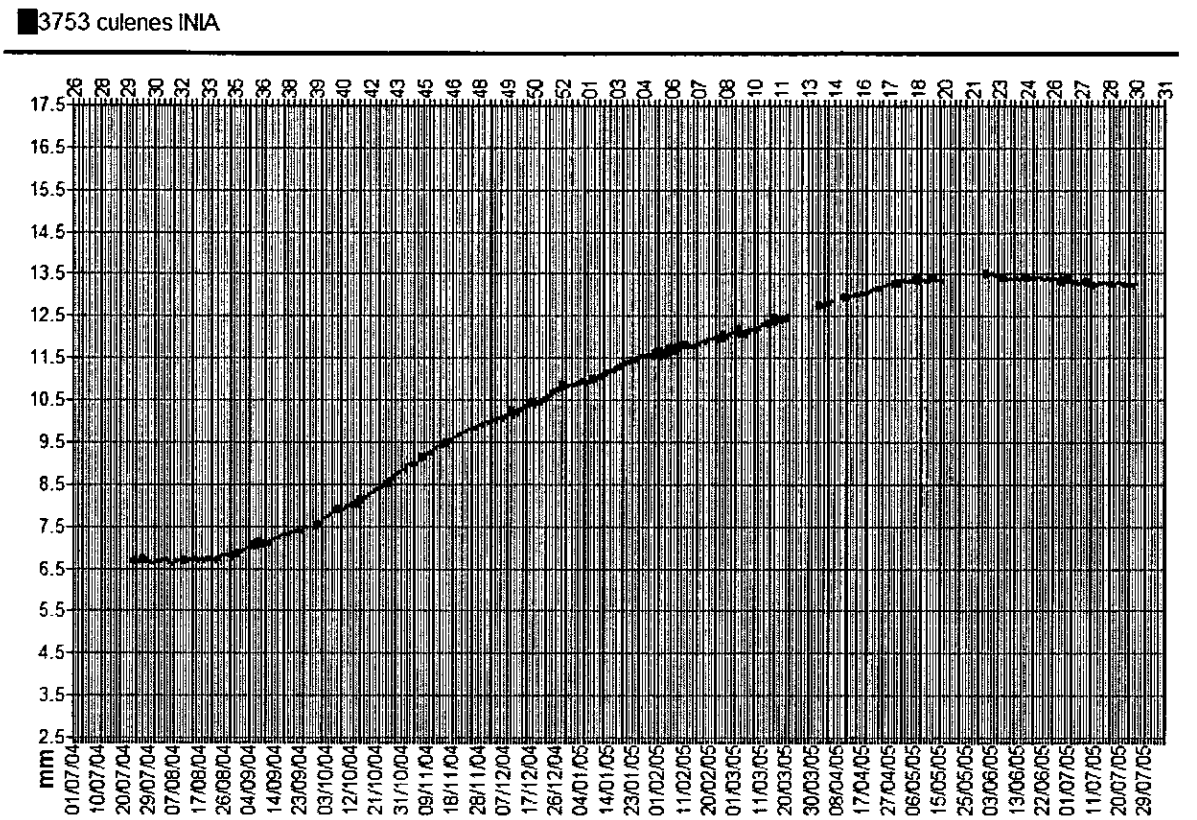


Figura 3. Dendrometría graficada para los meses primaverales del ensayo 2, correspondiendo al tratamiento T2.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de humedad de suelo fue monitoreado a través de un FDR modelo Diviner 2000, el cual permitió detectar la profundidad a la cual llegó el agua después de los riegos, como también identificar las zonas de mayor actividad radicular. La figura 4 muestra en detalle el perfil de mojamiento del tratamiento T1 del ensayo 2. Cada línea representa la variación del contenido de humedad a una profundidad determinada.

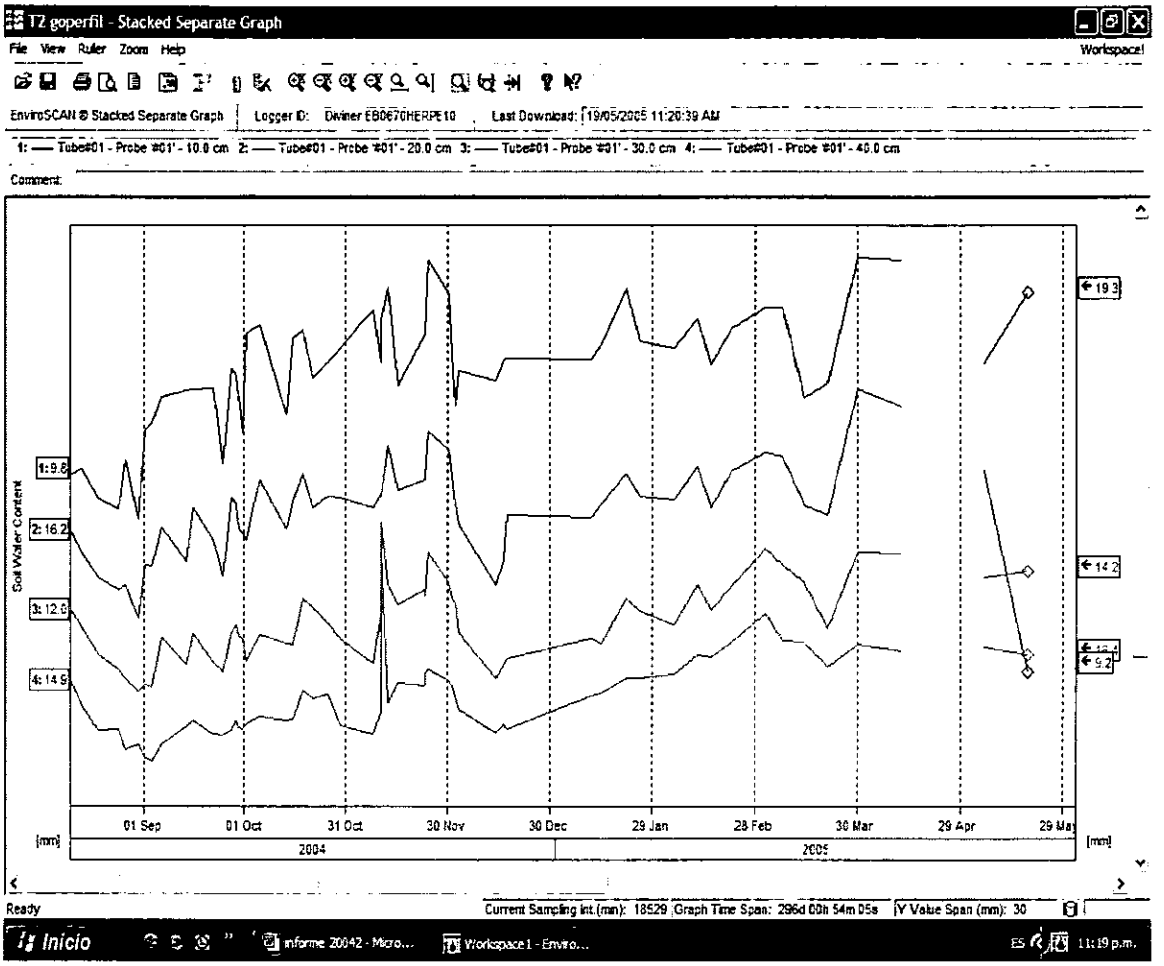


Figura 4. Gráfica de perfil de suelo obtenida a través del uso del Diviner. Tratamiento T1, ensayo 2.

RESULTADOS DEL ENSAYO 1: Ajuste del uso de la Cámara de Presión en Paltos.

Efecto del DPV sobre el PHxm

En la Figura 5 se presenta el efecto de la variación del DPV durante el día sobre el PHxm. El PHxm presenta los valores más negativos y estables entre las 13:00 y las 17:30 horas, período de tiempo en que el DPV se estabilizó en valores cercanos a 1,2 KPa. Para estos valores de DPV y en plantas sin restricciones hídricas los valores de PHxm fueron de -0,40 MPa. Por lo anterior se concluye que el mejor momento del día para monitorear el riego está entre las 13:00 y 17:30 horas por la estabilidad de los valores que permite medir varios sectores y comparar los datos.

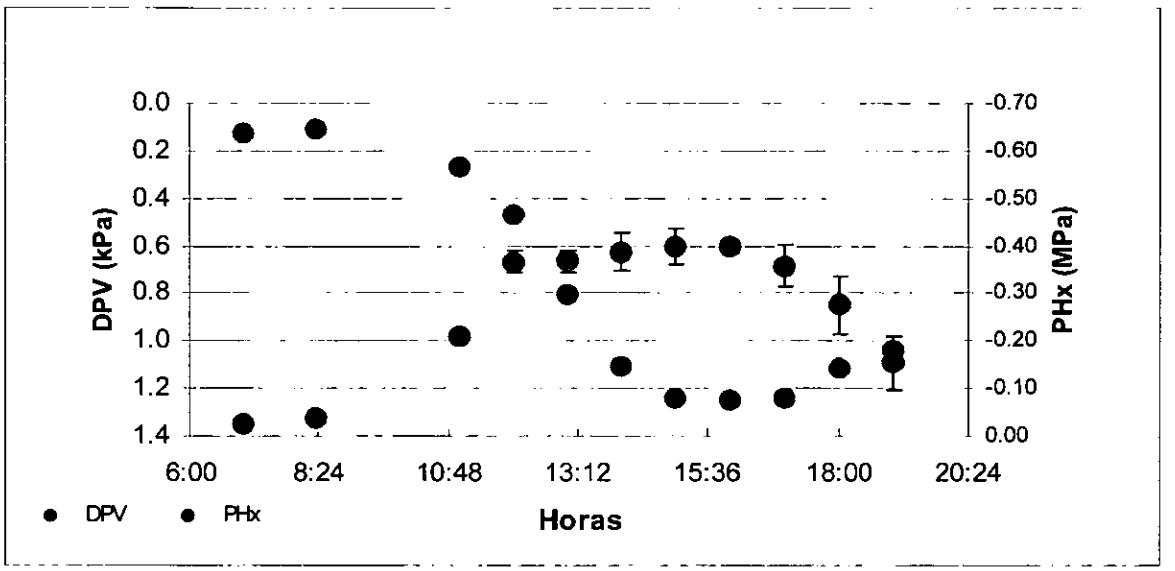


Figura 5 Efecto del DPV durante el día sobre el potencial hídrico xilemático (PHxm). Las barras verticales representan la desviación estándar.

La Figura 6 muestra valores promedio de PHxm de 6 hojas de palto medido en distintos días y, por lo tanto, con distintos DPV. Todas las mediciones se realizaron de modo que la humedad del suelo no fuera limitante y no determinara el valor del PHxm. Del análisis de la información se puede concluir que el DPV tiene un bajo efecto sobre el PHxm. Esto se observa al comparar la amplitud de la variación registrada en el DPV (0,7 a 3,3 KPa) respecto de la menor variación del PHxm (-0,4 a -0,52 MPa). Esto concuerda con resultados de Lapinen, 2001. De los resultados se puede inferir que durante el verano el PHxm en paltos sin restricciones hídricas debiera ser del orden de -0,45 MPa.

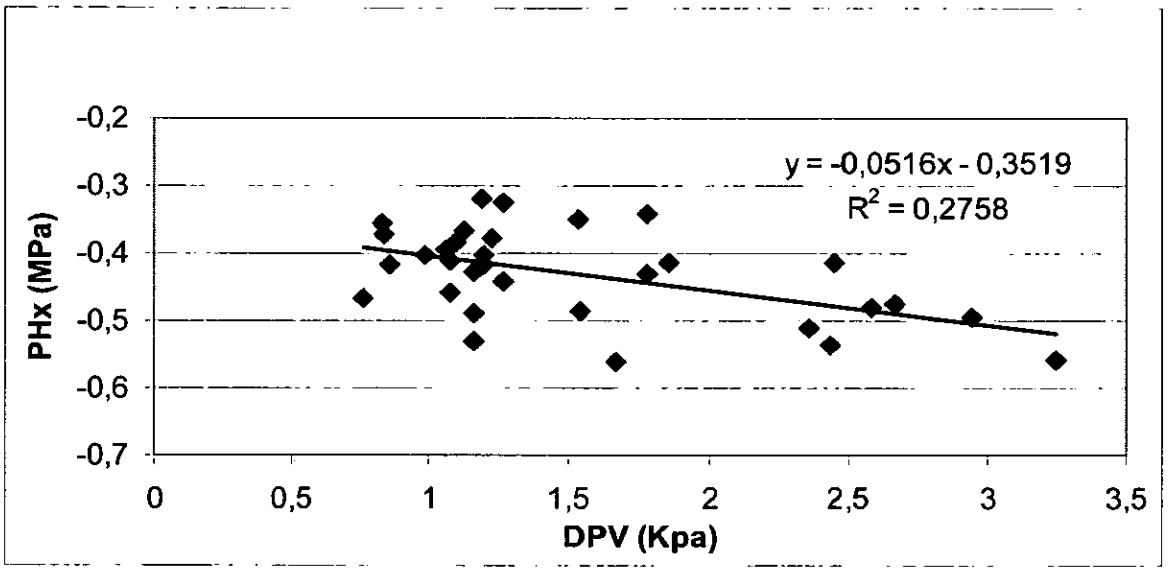


Figura 6 Efecto del DPV sobre el potencial hídrico xilemático (PHxm) a mediodía. El modelo es significativo a P < 0,01

Efecto de la madurez de hoja en la variación del PHxm

En el cuadro 3 se presenta el efecto que tiene la edad de la hoja sobre el PHxm. Las hojas más jóvenes presentan un potencial – 0,06 MPa más negativo que las adultas y una mayor desviación estándar. El PHxm presenta menor variación al ser medido en hojas de 10 a 12 meses. Esto podría explicarse por el efecto de la presión que ejerce la goma de la cámara sobre el pecíolo de las hojas nuevas, retardando la aparición de la savia en el xilema.

Según datos reportados por Lapinen 2004 en nogal, una variación de –0,06 MPa puede ser importante en el control del riego debido a que este frutal sin restricción hídrica tiene valores de PHxm entre – 0,3 y – 0,5 MPa y debe ser regado cuando el valor de PHxm llega a valores de -0,7 a -0,8 MPa.

Cuadro 3 Efecto de la madurez de hoja en la variación del Potencial Hídrico Xilemático de medio día (PHxm).

Edad hojas	1 mes	4 meses	10 a 12 meses
PHxm (MPa)	-0,55	-0,52	-0,49
Desviación estándar	0,12	0,13	0,10

Efecto del Tiempo de Equilibrio en el PHx

En la figura 6 se observa el efecto que tiene sobre el PHxm el tiempo que una hoja está aislada de la radiación antes de ser medida. El PHh se estabiliza con el PHxm después de 15 minutos de haber puesto la hoja dentro de la bolsa de plástico cubierta de papel aluminio. Esto coincide con lo datos reportados por Fulton et al (2001) que indica que en nogales, almendro y ciruelos el tiempo necesario para que el PHh se equilibre con el PHxm es de 10 minutos. En conclusión la Figura 7 indicaría que se puede medir el PHxm en las hojas de palto después de 15 minutos de ser aisladas de la luz. Además, se puede observar que los valores de potencial hídrico medidos en hojas recién cubiertas presentan una mayor variación (- 0,6 a - 0,8 MPa) que los potenciales medidos después de 15 minutos (- 0,47 a - 0,55 MPa).

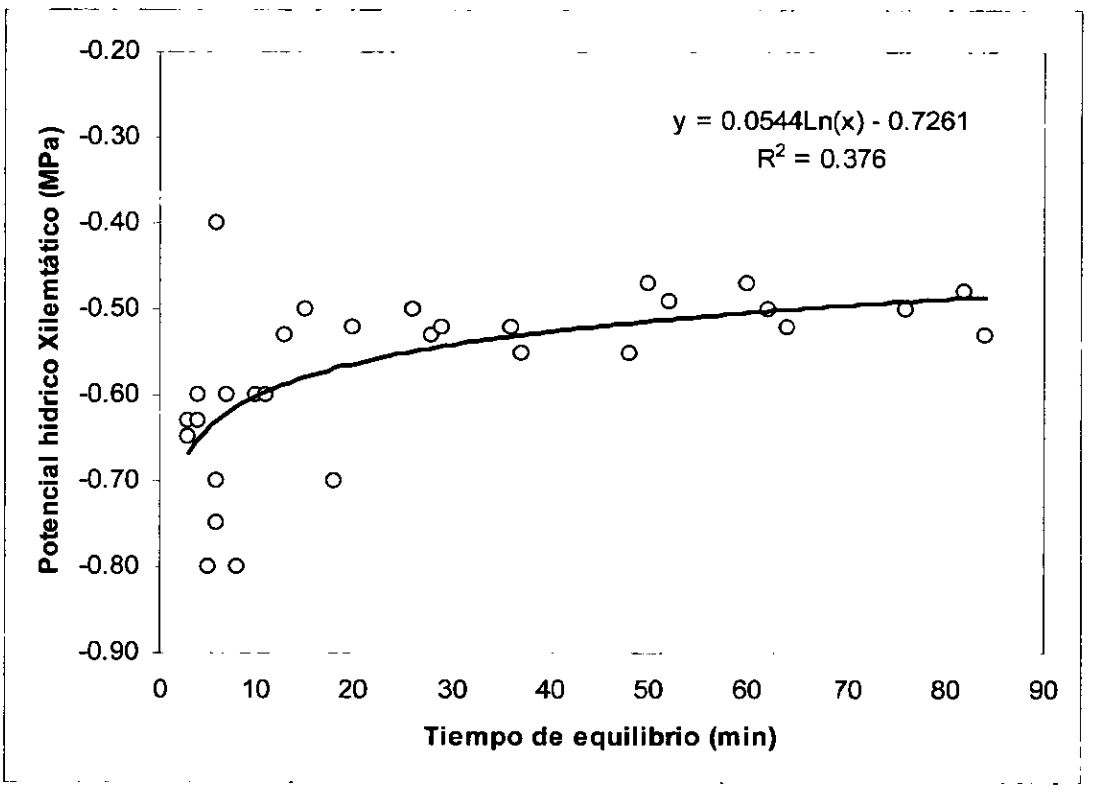


Figura 7 Efecto del tiempo de equilibrio en el Potencial hídrico Xilemático (PHxm) a mediodía bajo condiciones de campo.

Efecto del Tiempo Transcurrido entre Corte de la Hoja y Medición del PHxm

El tiempo que transcurre entre el corte de la hoja y la medición es una variable que afecta la determinación del PHxm (Figura 8). Si la medición se realiza cuando han pasado más de 3 minutos los valores registrados serán menores producto de la deshidratación de la hoja y no reflejan el real estado hídrico del brote.

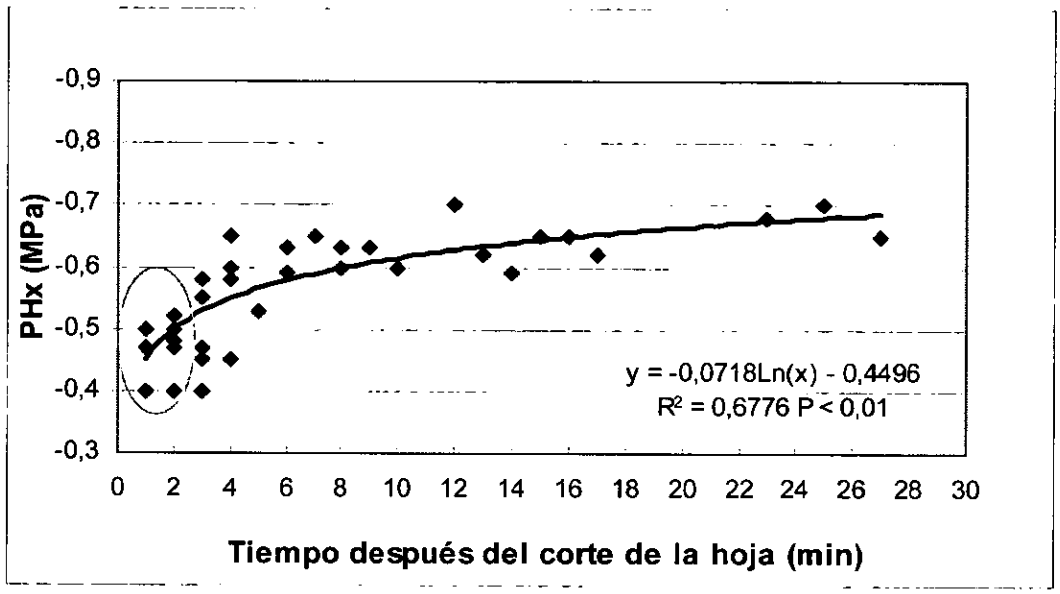


Figura 8. Efecto del tiempo transcurrido entre corte de la hoja y medición de esta, sobre el potencial hídrico xilemático (PHxm) a mediodía, bajo condiciones de campo.

Para solucionar este problema y facilitar la medición de PHxm se validó una metodología que permite aumentar el tiempo entre el corte de la hoja y la medición del potencial al mantener ésta en un cooler con alta humedad relativa y baja temperatura. La Figura 9 muestra la relación entre PHxm medido *in situ* versus PHxm medido luego de 60 minutos de almacenamiento en un cooler en paltos en distintas condiciones hídricas. Los datos muestran que los valores de PHxm son similares con desviaciones estándares un poco mayores para las hoja medidas después de 60 minutos de almacenamiento. El uso de esta metodología es factible pero requeriría medir un mayor número de hojas.

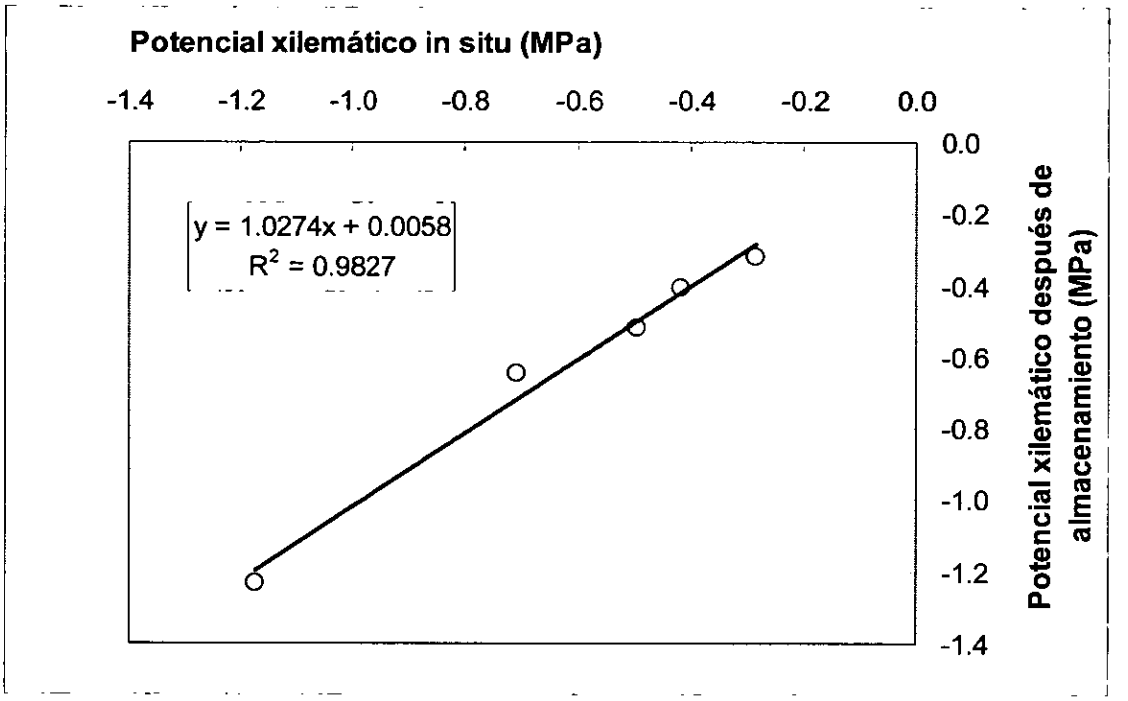


Figura 9. Comparación del PHxm medido *in situ* con el PHxm cuyas hojas han sido guardadas bajo condiciones de 100% humedad relativa y en oscuridad.

Efecto de la ubicación de la hoja en el árbol sobre el PHxm

En el cuadro 4 se puede observar que las hojas de la cara expuesta al sol presentan valores de PHxm - 0,1 MPa más negativos que las hojas ubicadas en la cara expuesta a la sombra.

Cuadro 4. Efecto de la ubicación de la hoja en el árbol sobre el PHxm.

Ubicación de la hoja en el árbol	Cara al sol	Cara a la sombra
PHxm (MPa)	-0,52	-0,40
Desviación estándar	0,065	0,018

Relación entre el PHxm y la contracción del diámetro del tronco

Con el objetivo de estudiar la relación entre dos variables fisiológicas usadas para monitorear el riego en Palto se midió el PHxm y la contracción del diámetro de tronco en 5 árboles en distintas condiciones de estrés hídrico. Todas las

mediciones se realizaron durante la temporada de riego 2004-05 entre los meses de noviembre y abril. Los resultados se muestran en la figura 10.

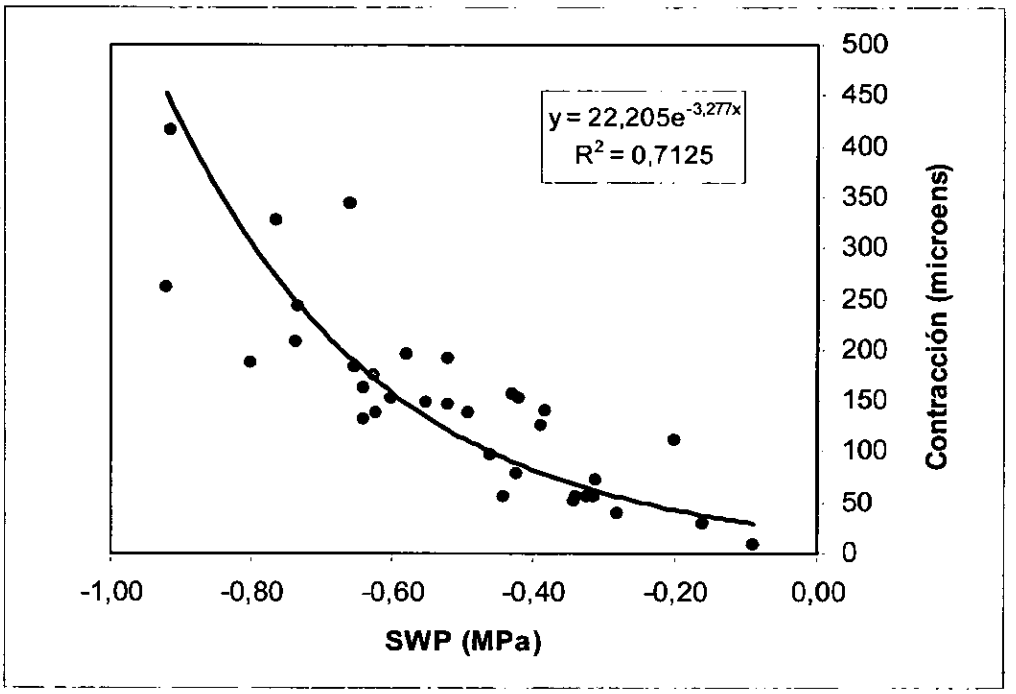


Figura 10: Relación entre el PHxm y la amplitud de la contracción máxima diaria en Palto Hass.

Del análisis de la figura se observa que ambas variables de monitoreo del riego presentan una buena sensibilidad para un rango amplio de condiciones hídricas. Sin embargo, el comportamiento exponencial de la relación indica que bajo -0,7 MPa el Palto se encontraría en una situación de mayor estrés, en la cual el aporte del agua contenida en los tejidos del árbol al flujo de transpiración aumentaría su importancia relativa. Debido a esto, bajo -0,7 MPa la amplitud de la contracción sería más sensible al estrés hídrico que el PHxm, no obstante esta tendencia debe ser confirmada con más mediciones bajo -0,7 MPa.

Por otra parte, la amplitud de la contracción como variable de monitoreo de riego, presenta una gran variabilidad en las mediciones. Experiencias realizadas en manzanos, perales y nectarines por Naor et al., 2005 (figura 11), señalan que el error estándar de la amplitud de la contracción es 3 a 4 veces mayor que el del PHxm. Es decir, el valor de PHxm es menos variable en árboles de un sector uniforme de riego, por lo tanto, es más representativo de la condición hídrica del cultivo con un menor número de mediciones.

Fig. 12: Standard error of midday leaf (LWP) and stem (SWP) water potential, daily trunk shrinkage (TS) and soil water tension at 30, 60 and 90 cm depth, in apple, nectarine and pear (Naor et al., 2005)

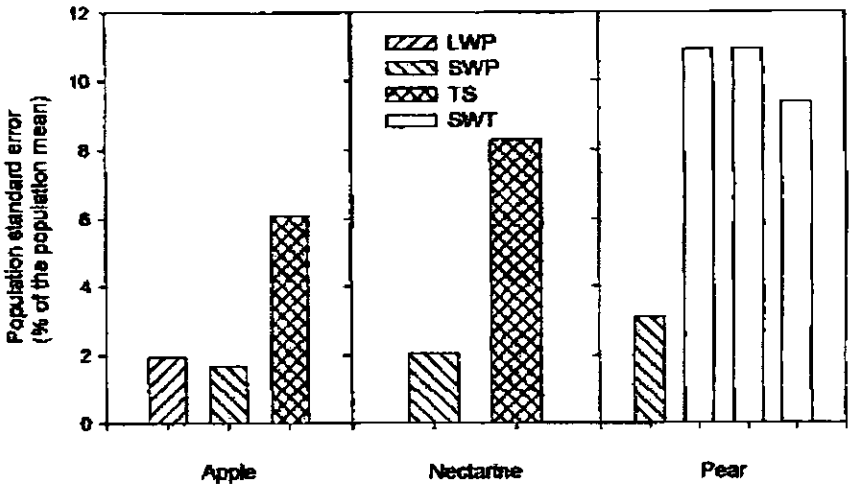


Figura 11. Comparación del error estándar en el uso de instrumentos de medición de humedad de suelo, contracción de tronco, potencial hídrico de hojas y potencial hídrico xilemático.

Efecto del PHxm en la conductancia estomática

Debido a la importancia de los estomas en la regulación de la fotosíntesis y la relación entre estado hídrico de la planta y conductancia estomática, se estudió la relación entre PHxm y conductancia estomática.

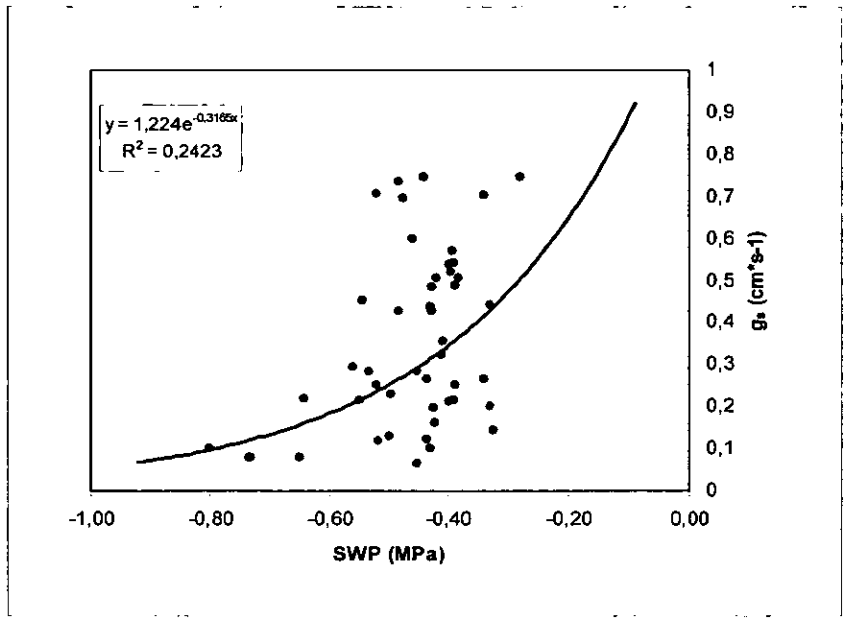


Figura 12: Relación PHXM y Conductancia estomática (gs) en Palto Hass.

La figura 12 muestra una alta variabilidad de la conductancia estomática medida en hojas de Palto Hass. Esta variabilidad es similar a la reportada en diferentes cultivos y se debe principalmente a dos factores: la variabilidad de las condiciones ambientales a las que están sometidas los estomas (viento, humedad relativa y temperatura) y el ajuste estomático que las plantas realizan para evitar una deshidratación severa (regulación y/o cierre parcial de los estomas según las condiciones ambientales).

Una posible explicación a la baja relación entre el PHxm y la conductancia estomática sería el mecanismo de ajuste estomático que realizaría el palto para mantener su PHxm en torno a -0,4 MPa. Esta hipótesis es respaldada por la alta correlación encontrada entre evapotranspiración potencial (ET0) y conductancia estomática.

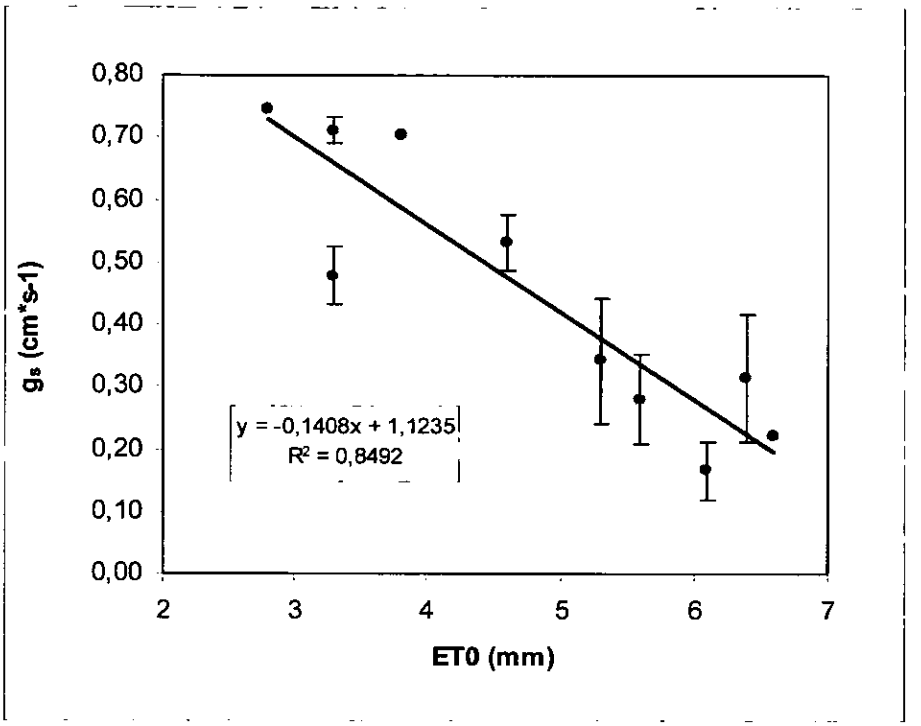


Figura 13: Relación entre conductancia estomática (gs) y Evapotranspiración potencial (ET0).

La figura 13 muestra que en días con menos de 4,5 mm de ET0, similares a los encontrados en las condiciones climáticas en que se desarrolló el palto, las conductancias alcanzan valores altos de 0,5-0,7 cms^{-1}, lo que indica un estado hídrico no restrictivo. Sobre 4,5 mm de ET0 la conductancia disminuye en forma importante llegando a valores de 0,2-0,3 cms^{-1} reflejando una condición de mayor estrés, la que no sería limitante para la producción ya que el PHxm se mantiene en torno a -0,4 MPa.

Sterne, Kaufamn y Zentmyer, 1977, señalan que el cierre estomático en la variedad Bacon ocurre cuando se alcanza un PHxm de -1,2 MPa. A su vez, Bower, Wolestnholme y de Jager, 1979, señalan que en la variedad Edranol, los estomas se cierran a un PHxm de -0,9 MPa. Estudios futuros debieran determinar el PHxm al que se produce el cierre estomático en Palto Hass.

Protocolo de medición de potencial hídrico xilemático (PHxm) con cámara de presión

1.- La medición de PHxm debe realizarse a la hora de máxima demanda hídrica, es decir entre las 13:30 y 15:30 hrs.

2.- Las plantas o árboles a medir deben ser seleccionados y marcados de modo que sean representativos de la condición del cultivo (carga, follaje, diámetro de tronco, etc.). El marcado de las plantas hace posible que la medición sea siempre en los mismos individuos, lo que posibilita el seguimiento de la condición hídrica del cultivo. El número de árboles a medir por sector es de 5-6 plantas. El sector debe ser homogéneo en cuanto a riego, suelo, exposición y edad del cultivo.

3.- Por cada planta seleccionada se marcan 3-4 hojas de la cara expuesta al sol. Para marcar una hoja esta se introduce en la bolsa plástica cubierta de aluminio y se cierra cuidando de no estrangular el pecíolo o dañar la lámina. Esto debe realizarse al menos 15 minutos antes de la medición para que el PHx de la hoja se iguale al del brote. La hoja a medir será la primera totalmente desarrollada (5^a-8^a comenzando a contar desde el ápice del brote). Se marca una hoja por brote.

4.- Una vez transcurridos los 15 minutos para que el potencial de hoja se equilibre con el de brote, se procede a medir el potencial con la cámara de presión. La medición se puede realizar "*in situ*", es decir, al pie del árbol, o en otro lugar (oficina o laboratorio) previo almacenamiento y transporte en frío de la hoja. La medición "*in situ*" debe ser rápida para evitar la deshidratación de la hoja y alteraciones del PHxm. La medición en el laboratorio u otro lugar requiere recolectar y transportar las hojas en un cooler con hielo totalmente oscuro.

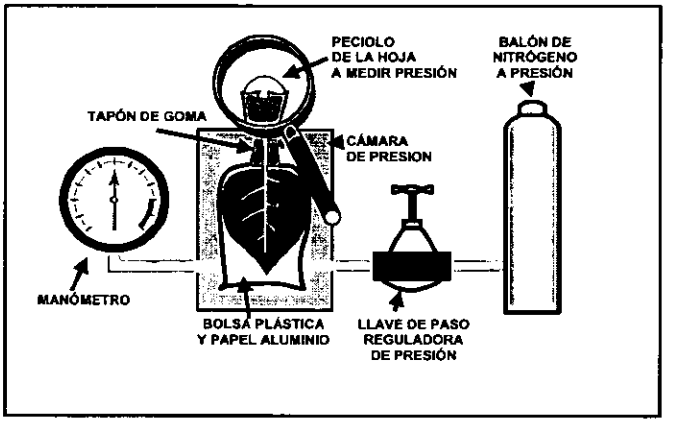
5.- Antes de la medición de PHxm debe asegurarse que las conexiones de los tubos de gas y la cámara estén en buenas condiciones y que las válvulas estén abiertas y listas para la medición. Luego se disponen todas las piezas de la cámara para la instalación de la hoja, es decir, se abre la cámara de presión y se preparan las gomas o sellos y el sistema de cierre para recibir la hoja.

6.- Una vez hecho lo anterior, se corta la hoja y se inserta en el sistema de cierre para introducirla en la cámara. Justo antes de introducirla se retira la bolsa plástica cubierta de papel aluminio que la cubre. Por último, se cierra la cámara y se renueva el corte del pecíolo para una mejor observación. Finalmente se comienza a aplicar el gas y se observa con la lupa el corte del pecíolo.

6.- La aplicación del gas se realiza hasta que aparece agua en la zona del xilema del pecíolo. Este proceso debe ser lento para poder detener la aplicación justo en

el momento que se observa el agua y registrar el valor del manómetro de la cámara de presión.

Valores esperados de PHxm en palto en huertos sin restricciones	
Época del año	PHxm (MPa)
Invierno	-0,2 a -0,3
Primavera	-0,3 a -0,4
Verano	-0,4 a -0,5
Otoño	-0,3 a -0,4

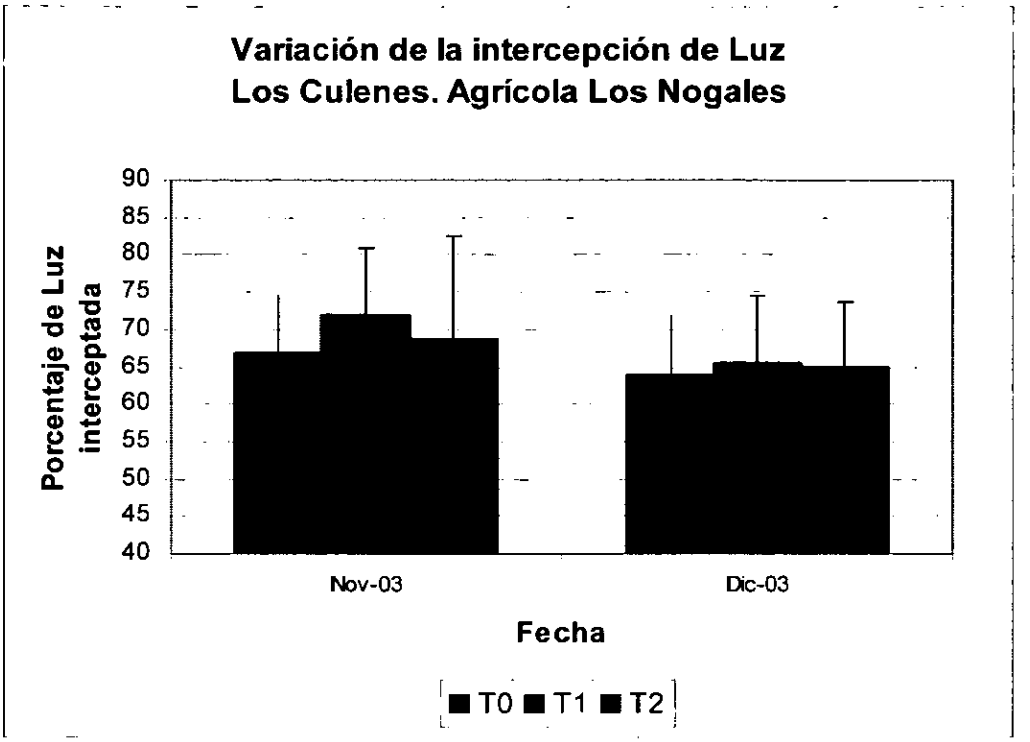


RESULTADOS DEL ENSAYO 2: Uso de la cámara de presión en el monitoreo de la frecuencia de riego en el cultivo del palto

Efecto del umbral de riego en el crecimiento vegetativo

Se midió la intercepción de radiación como una forma indirecta de evaluar el crecimiento vegetativo del árbol, esperándose que aquellos tratamientos con mejores condiciones de aireación y estado hídrico tuvieran un mayor crecimiento. Sin embargo, los valores medidos de intercepción para los distintos tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Además, la variabilidad de las mediciones fue muy alta y explica en parte que no existan diferencias entre tratamientos.

Mediciones realizadas en el mes de noviembre del 2003 determinaron que la intercepción de luz tuvo valores del orden del 66% (T0), 72% (T1) y 68% (T2). En el mes de diciembre del mismo año se registró una baja en la intercepción de radiación en todos los tratamientos, explicada por la caída natural de hojas que ocurre en esta fecha (64 %T0, 65%, T1y 65% T2). El detalle aparece en la Figura 14.

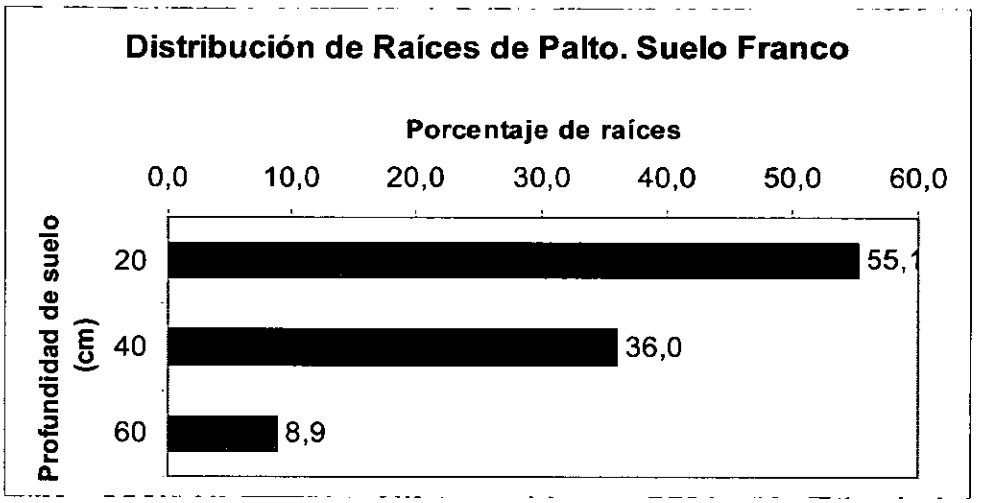


To: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.
a: no hay diferencias significativas

Figura 14. Variación de la intercepción de Luz. Ensayo 2.

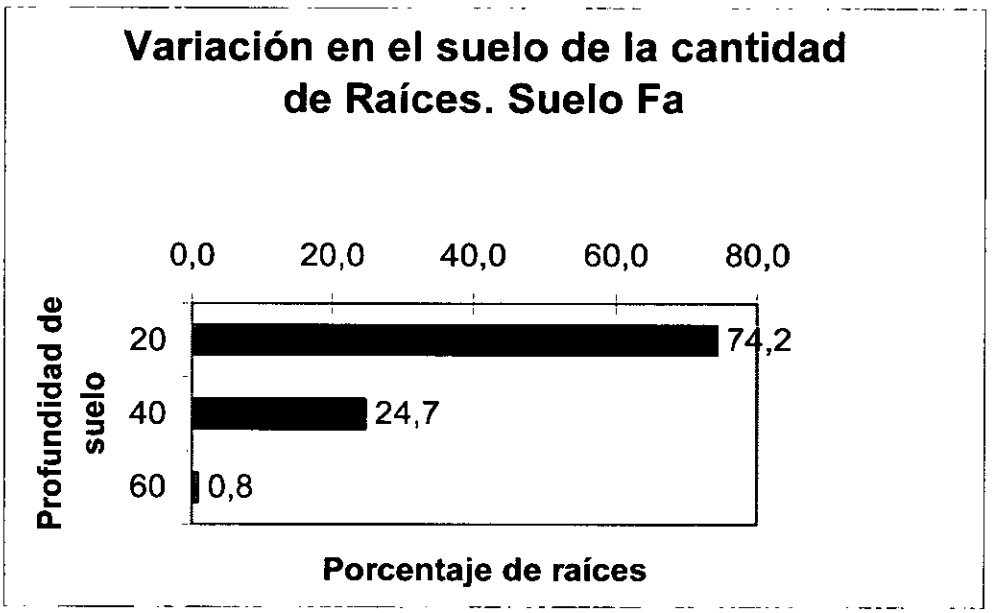
Efecto del suelo en el crecimiento radicular.

Al final del primer año de mediciones se realizó un conteo de raíces para determinar su distribución en el perfil del suelo. Los resultados evidencian que el palto presenta raíces superficiales concentrando en los primeros 40 cm. el 91,1% de las raíces en suelo Franco y el 98,9% en suelos Franco arenosos. Estos resultados demuestran que a pesar de la variación en la textura de suelo las raíces del palto se distribuyen superficialmente y por lo tanto, al establecer el tiempo de riego se debe asegurar que la profundidad de mojamiento no supere los 40 – 50 cm. Las figuras 15 y 16 representan la distribución de raíces para suelo Franco y Franco arenoso respectivamente.



To: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.
a: no hay diferencias significativas

Figura 15. Distribución porcentual de las raíces de palto en suelo de textura Franca.



To: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.
a: no hay diferencias significativas

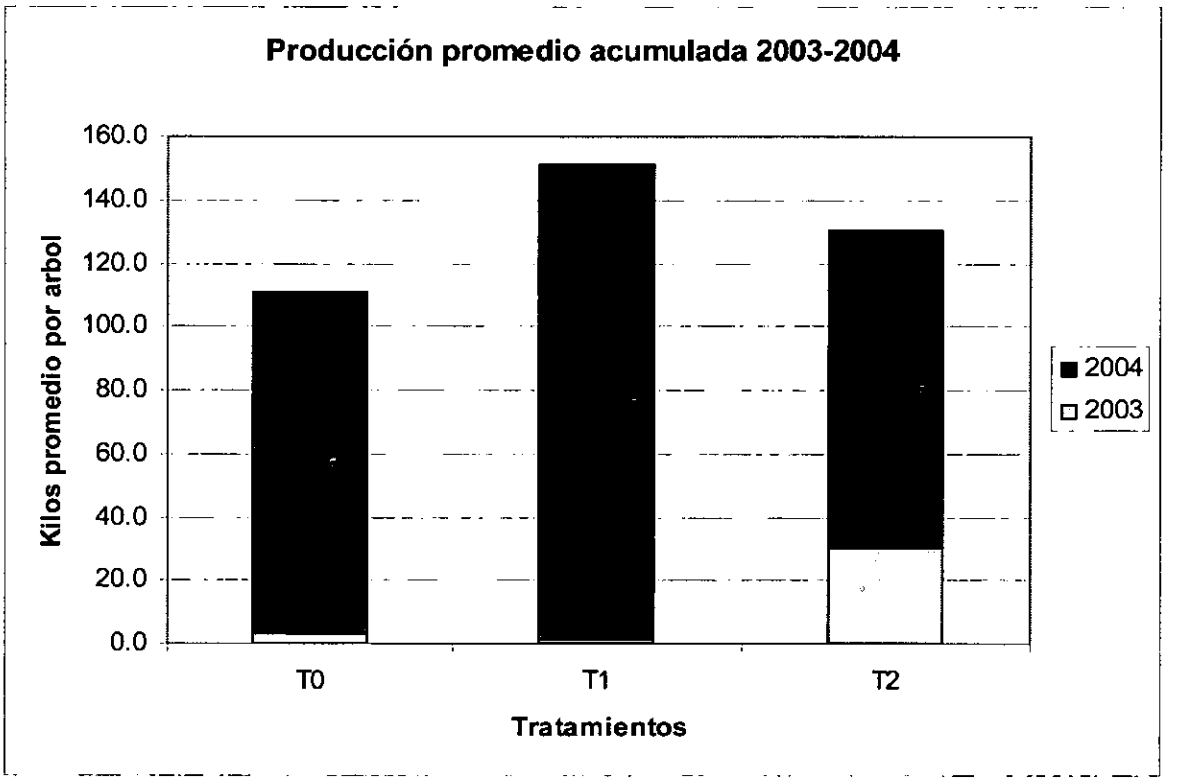
Figura 16. Distribución porcentual de las raíces de palto en suelo de textura Franco-arenosa.

Efecto de la frecuencia de riego en la producción.

Al evaluar el efecto de la frecuencia de riego en la producción acumulada de las temporadas 2003 y 2004, se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Las producciones acumuladas promedio por tratamiento fueron 111 kgpta^{-1} en el tratamiento T0; 149,9 kgpta^{-1}, en el tratamiento T1 y 130

kgpta^{-1} en el tratamiento T2. La figura 17 muestra en detalle los resultados de producción del primer y segundo año. El análisis de la información sólo consideró las plantas de alta producción con el objetivo de eliminar el efecto del añerismo normal del palto.

Como referencia en un marco de plantación de 8X4 (313 ptaha^{-1}) y con una producción acumulada por planta de 110 kilos, la producción total por hectárea es de 34,4 toneladas, es decir, alrededor de 18 toneladas por hectárea por año. Siguiendo el mismo análisis y considerando los antecedentes mencionados anteriormente, todos los tratamientos presentaron producciones acumuladas iguales o superiores a 110 kilos por árbol, por lo que se podría inferir que bajo condiciones de manejo de riego con umbrales de 3% (T0), 10% (T1) y 20% (T2), la producción promedio por hectárea en un suelo franco es del orden de 18 toneladas por año y que el rango de umbral de riego entre 3 y 20%, no afecta la producción de paltas.

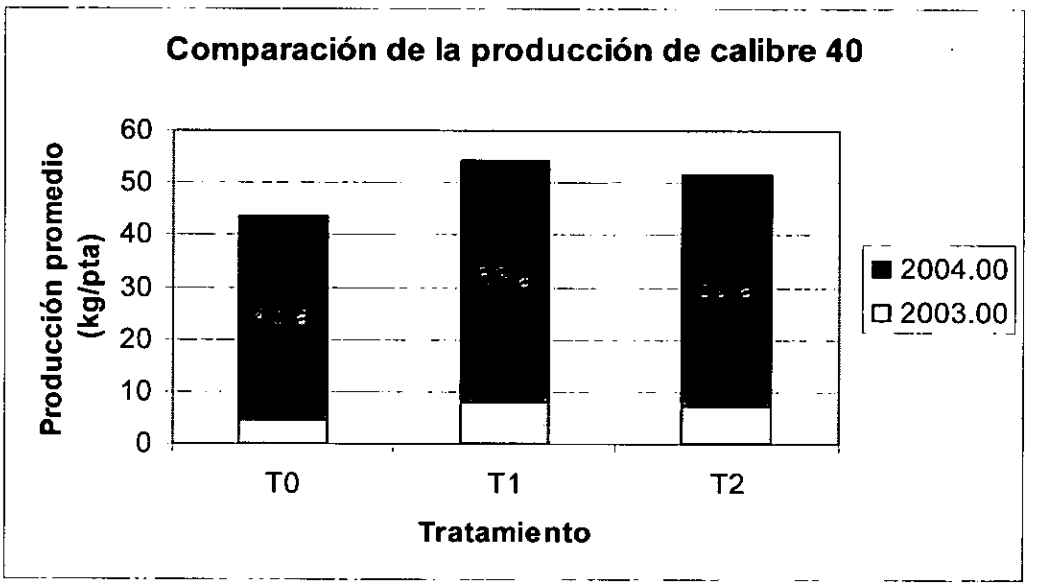


To: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.
a: no hay diferencias significativas

Figura 18. Efecto de la frecuencia de riego en la producción. Datos obtenidos a partir del ensayo 2.

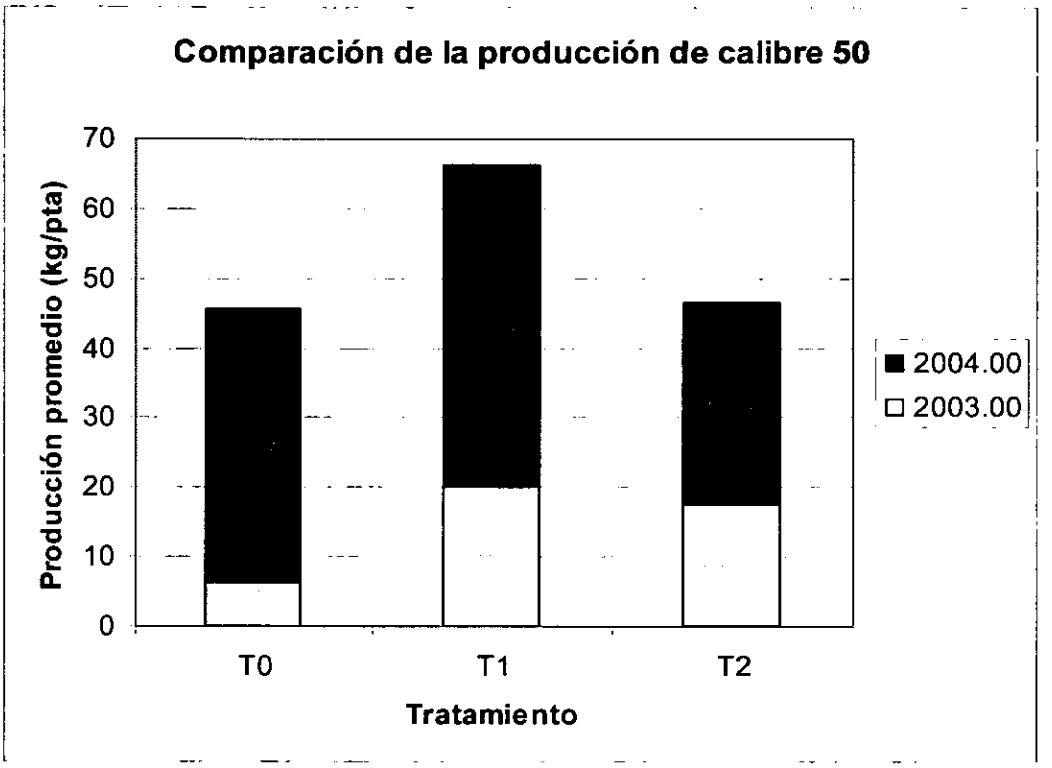
Efecto de la frecuencia de riego en el calibre

Para evaluar el efecto del umbral de riego sobre el calibre de la fruta, se consideraron sólo los calibres de mejores precios en las últimas temporadas, es decir, los calibres 40 y 50. La información se sometió a un análisis de varianza (figuras 19 y 20). Los resultados de los análisis estadísticos indican que la producción acumulada de paltas con calibre 40 y 50 no se vio afectada por el umbral de riego.



T0: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.

Figura 19. Producción de paltas calibre 40. Ensayo 2.



T0: umbral de riego de un 3%, T1 umbral de riego de un 10% y T2, umbral de riego de un 20%.

Figura 20. Producción de paltas calibre 50. Ensayo 2.

Los resultados en producción como en calibre, determinaron que los umbrales de riego 3, 10 y 20% no afectan la calidad productiva del cultivo, por lo que podría aumentarse la condición de aireación de suelo por lo menos hasta un 20% en huertos plantados sobre suelos Francos.

Efecto de la frecuencia de riego en el potencial y la resistencia estomática.

Las mediciones de PHxm realizadas en el período que va desde noviembre del 2004 a abril del 2005 muestran valores entre -0,15 y -0,64 MPa, lo que implica que las plantas en todo momento estuvieron con PHxm no limitantes, es decir, valores menores a -0,7 MPa. Además, el análisis de la información indica que no hay diferencias entre los tratamientos (T0, T1 y T2) y que en general, los valores menos negativos se producen en primavera-verano, cuando las demandas atmosféricas son bajas, y van haciéndose más negativos conforme aumenta la demanda. Finalmente, al llegar el otoño los potenciales vuelven a ser menos negativos (Figura 21).

Los umbrales de riego evaluados (3, 10 y 20%) no generaron situaciones de estrés en el cultivo ya que no fue afectado el crecimiento vegetativo ni la

producción. Esto sugiere que el cultivo del palto podría soportar umbrales de riego mayores, permitiendo mejorar aún más las condiciones de aireación en el suelo.

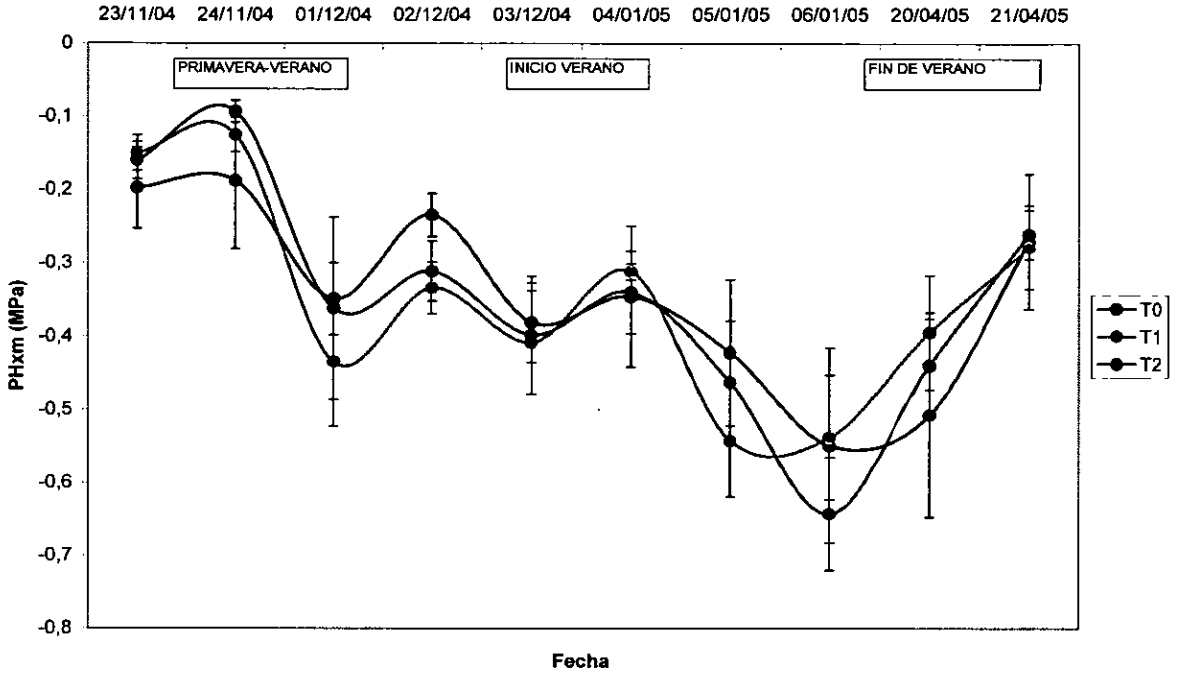


Figura 21 Potencial hídrico xilemático (PHxm) temporada 2004/05

Las mediciones de conductancia estomática mostraron, como se dijo anteriormente, una alta variabilidad. Los valores registrados entre noviembre del 2004 y abril del 2005 en huertos sin restricción hídrica estuvieron entre 0,25 y 0,75 cms^{-1}. Los valores menores ocurrieron en los días anteriores al inicio del riego (23 de noviembre y 6 de enero), luego del cual la conductancia se eleva indicando que un buen estado hídrico permite que la planta aumente el intercambio de CO_2 y vapor de agua con la atmósfera, elevando su actividad fotosintética.

El análisis estadístico de los datos presentados en las figuras 21 y 22 establece que los tratamientos aplicados no presentaron diferencias significativas en todo el período de mediciones.

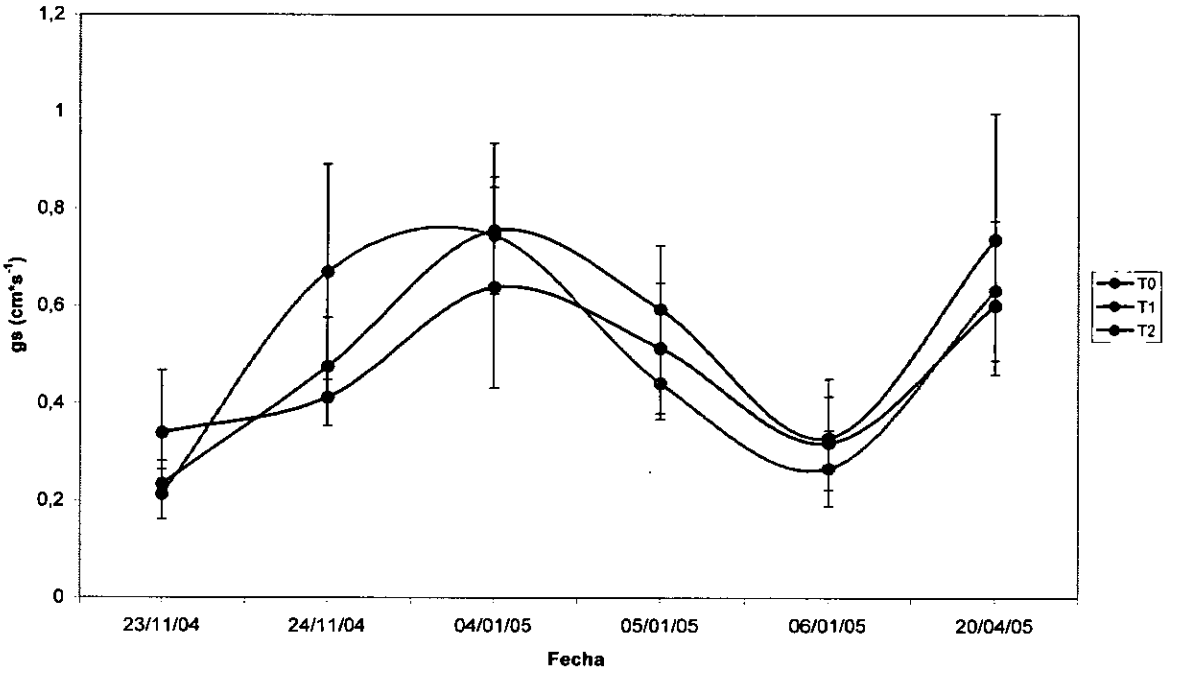


Figura 22. Conductancia estomática (gs) temporada 2004/05

En resumen, las mediciones de PHxm y conductancia estomática señalan que la aplicación de riegos con umbrales mayores para mejorar las condiciones de aireación del suelo, no afecta negativamente el rendimiento ni la calidad de la producción del palto.

La cámara de presión demostró ser un instrumento fiable para detectar estrés hídrico en las plantas y los PHxm confirmaron las tendencias mostradas por el crecimiento vegetativo y el comportamiento de la conductancia estomática.

Este trabajo no pudo determinar el valor de umbral de riego extremo que limita la producción del palto. Futuros estudios podrían responder esta interrogante, lo que sería de gran utilidad en el manejo de los huertos.

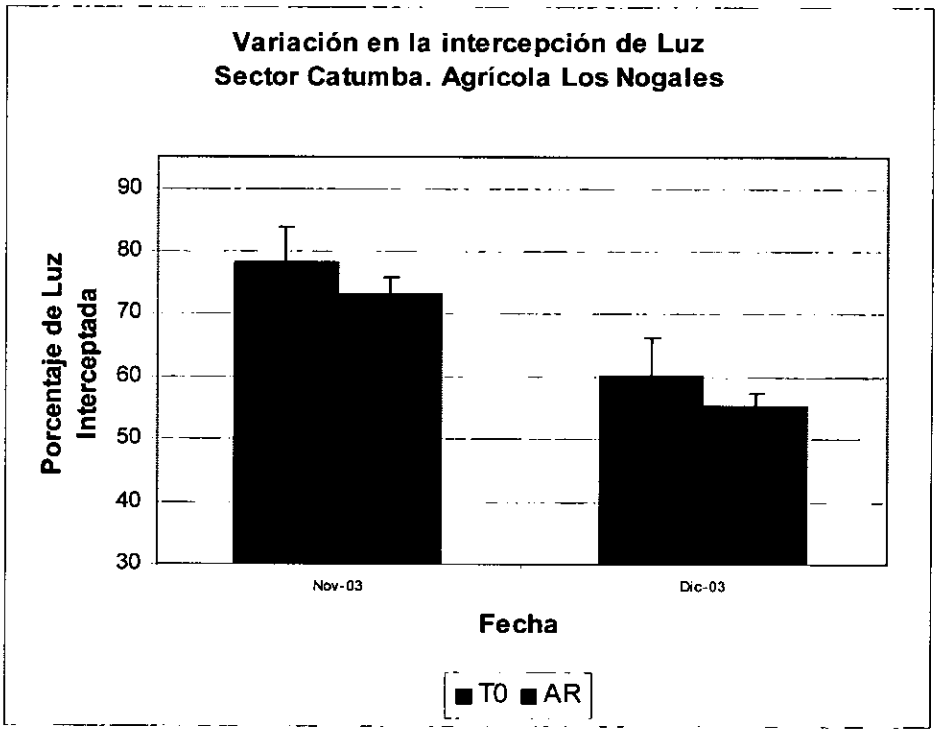
RESULTADOS DEL ENSAYO 3 Efecto del secado parcial de raíces (PRD) en la producción y la calidad de paltas

Efecto del PRD en el crecimiento vegetativo.

Las mediciones de intercepción de luz presentadas en la figura 23, reflejan el crecimiento vegetativo primaveral y estival de las plantas del ensayo 3. Un gran

incremento en la intercepción ocurre entre los meses de octubre y diciembre, momento en el cual se ha producido la cuaja del fruto. En esta etapa se produce una fuerte competencia por asimilados entre los brotes y los frutos y un gran crecimiento de ambos. A fines de primavera se observa una disminución de la intercepción, producto de una poda de verano realizada en el predio luego de la cual se reinició el segundo pick de crecimiento vegetativo del palto.

Estadísticamente los tratamientos no son diferentes y la gran variabilidad observada se debe a la diversidad genética de las plantas.

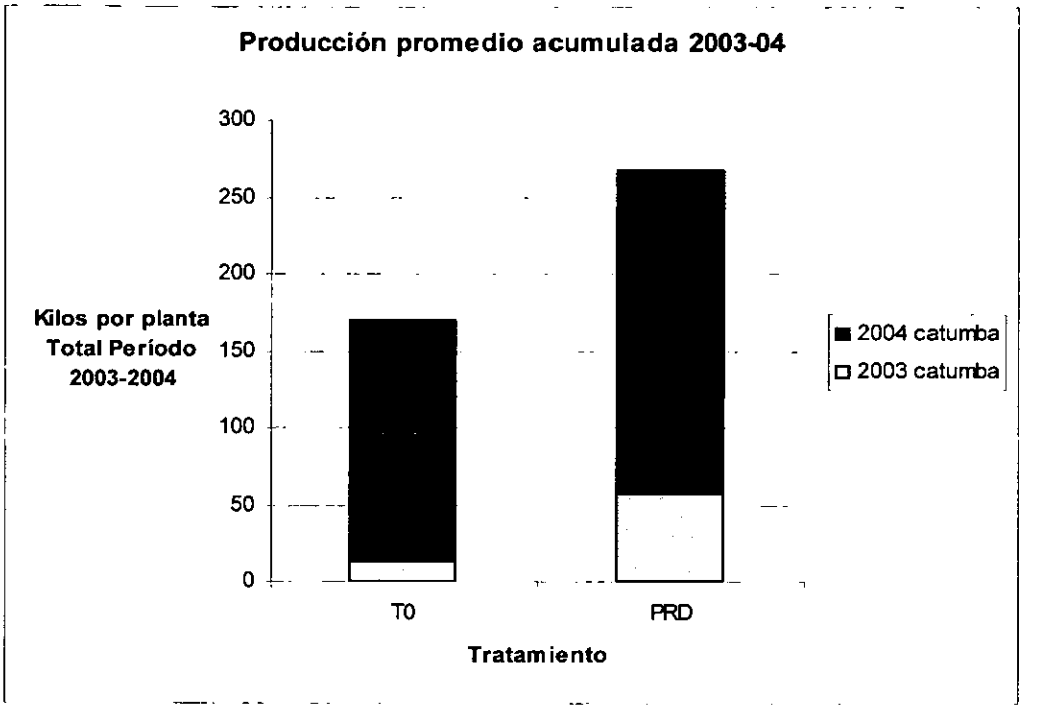


T0: Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 24 m2
PRD: antas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 12 m2

Figura 23. Intercepción de Luz. Ensayo 3 temporada 2003/04

Efecto del secado parcial de raíces (PRD) en la producción

Al evaluar el efecto del PRD en la producción acumulada de dos años, se observa que no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 24). Las producciones acumuladas por tratamiento fueron 157,5 kilos en el tratamiento T0 y 210,4 kilos en el tratamiento PRD. Para el análisis de los datos sólo se consideraron las plantas de productividades similares para eliminar la alta variabilidad del palto.



T0. Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 24 m2
PRD: Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 12 m2

Figura 24. Producción promedio acumulada de las temporadas 2003 y 2004.

Como muestra la figura 24, la producción no fue afectada por el manejo de riego con la metodología de PRD, por lo tanto podría recomendarse como herramienta de aireación en suelos con problemas de baja macroporosidad. Estos resultados concuerdan con los presentados en la figura 23, donde se muestra que el crecimiento vegetativo tampoco se vio afectado por esta técnica.

Efecto del secado parcial de raíces (PRD) en el calibre

Actualmente la producción de paltas se orienta a maximizar la producción de calibres 36, 40 y 50, porque presentan mejor retorno al productor. El manejo del riego puede afectar tanto el tamaño del fruto como la forma de éste. Frutos pequeños y redondos son resultado de estrés por falta de riego en el período primaveral y frutos alargados y pequeños son producto de estrés en el período estival.

Los resultados que se presentan en el cuadro 6 demuestran que tanto el tratamiento testigo como el tratamiento de PRD, no presentan diferencias estadísticas significativas en los calibres de la fruta. Sin embargo, existe una

tendencia a producir calibres más pequeños en el tratamiento PRD que en el testigo.

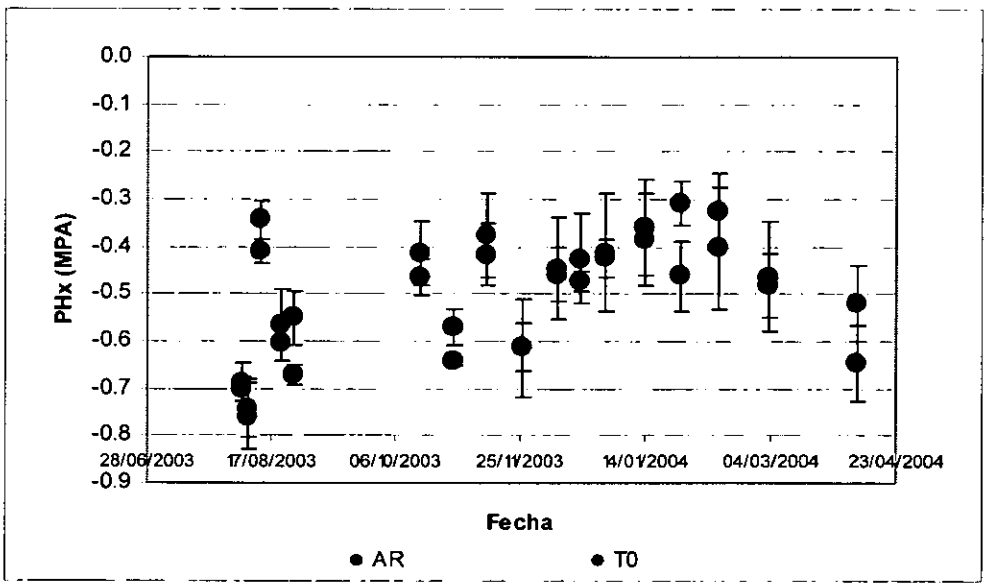
Cuadro 6.Producción de fruta por calibres.

TRATAMIENTO	PRECAL	Calibre 60	Calibre 50	Calibre 40	Calibre 36	Calibre 32
T0	13.87a	24.45 a	63.67 a	39.59 a	9.02 a	4.49 a
PRD	23.10a	35.43a	56.12 a	19,87 a	0 a	0 a

T0. Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 24 m2
PRD: Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 12 m2 alternada.

Efecto del secado parcial de raíces en el potencial hídrico xilemático.

El análisis de los PHxm mostrados en la Figura 25 indica que el efecto del tratamiento PRD no es significativo, es decir, podemos inferir que la técnica de PRD no produjo estrés hídrico en las plantas de palto ya que los valores medidos fueron inferiores a -0.7 MPa. Los potenciales presentaron un comportamiento semejante al presentado en la figura 14, es decir, en la medida que la demanda atmosférica fue más alta, los potenciales fueron más negativos y en la medida que el fenómeno se invierte, los potenciales hídricos xilemáticos se acercan a cero. Por lo tanto, la situación hídrica de las plantas del ensayo responde al déficit de presión de vapor de la atmósfera y no a una condición de estrés de las plantas.



T0. Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 24 m2
AR: Plantas regadas con un 100% de ETC con área de mojamiento de 12 m2 alternada

Figura 25. Efecto del riego alternado en el potencial hídrico xilemático

En Resumen, la técnica del PRD contribuyó a generar mejores condiciones de aireación del perfil de suelo sin generar efectos en la calidad ni en la producción del palto. Además, no se registraron consecuencias en el crecimiento vegetativo de las plantas ni en el potencial hídrico xilemático.

Las condiciones donde se desarrolló el ensayo (suelo Franco arenoso), sugieren que el PRD podría establecerse como una técnica factible de usar en suelos de condiciones físicas extremas, es decir, suelo alfisoles ricos en motmorillonitas, de alta densidad aparente y baja macroporosidad; características del ambiente edafológico que presentan las mayoría de las plantaciones de paltos en laderas de cerro.

IMPACTOS DEL PROYECTO

La tecnología evaluada y desarrollada es factible de implementar en el predio. Según la carta gantt del proyecto el escalamiento de los resultados comienza el año 3 por lo cual todavía no se disponen de resultados y/o impacto en esa etapa. Sin embargo durante la etapa de investigación y desarrollo se destaca lo siguiente:

Desarrollo de una metodología de utilización de la cámara de presión como herramienta de diagnóstico de problemas de riego.

Disponer de un protocolo de medición de potencial hídrico xilemático (PHxm) con cámara de presión, para ser utilizado en la etapa de escalamiento

Disponer de un protocolo de manejo de riego manejo del riego con umbrales mas alto, que permitan una mejor relación aire – agua en el suelo, sin producir una disminución de los rendimientos, para ser utilizado en la etapa de escalamiento

Capacitación de dos empleados del predio que puedan utilizar los protocolos desarrollados.

Se validaron los protocolos desarrollados en plantas adultas y nuevas, para su mejor utilización en la etapa de escalamiento

CONCLUSIONES

El presente estudio permite concluir lo siguiente:

- Los valores de PHxm en el palto son estables entre las 13:30 y 16:30 horas. De lo cual puede concluirse que el Potencial hídrico xilemático de medio día (PHxm) es un indicador adecuado para monitorear el riego.

- Los valores PHxm sin restricción hídrica varían entre -0,40 y -0,52 MPa, para DVP que oscilan entre 0,7 y 3,3 KPa respectivamente. Por lo cual el palto podría volverse a regar cuando PHxm alcance valores entre –0.60 y – 0.72 MPa o mantenerse con PHxm entre los – 0,4 a 0,7 MPa.

- En las hojas de palto el PHh se equilibra con el PHx después de 15 minutos de ser cubiertas para impedir el paso de la luz. Esto permite una rápida preparación de las hojas para medir, facilitando el uso de esta técnica para monitorear el riego en predios grandes.

- Para medir el PHxm y obtener valores confiables y representativos del estado hídrico de la planta, el tiempo que transcurre entre el corte de la hoja y la medición debe ser inferior a 3 minutos. Tiempos superiores provocan la deshidratación de la hoja y el consecuente cambio en el valor de PHxm.

- Se puede aumentar el tiempo entre el corte de la hoja y la medición del potencial al mantener ésta en un cooler con alta humedad relativa y baja temperatura. En estas condiciones la hoja no sufre ninguna deshidratación manteniendo el valor de PHxm.

- Las hojas que presentan menor variabilidad de PHxm son aquellas de 10 a 12 meses de edad, expuestas al sol. Esto se explica en parte por la mayor diferenciación y madures de los tejidos, lo que facilita la observación del tejido xilemático para medir el PHx.

- La cámara de presión es un instrumento fácil de operar y que con alrededor de 8 hojas por sector, permite obtener un valor representativo de la condición hídrica de las plantas de un sector de riego homogéneo.

- La producción y el calibre de paltas no son afectados por el umbral de riego hasta valores del 20%.

- Ni la calidad ni la producción del palto es afectada por el secado parcial de raíces bajo condiciones de suelo franco arenoso.