

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA DE FRUTICULTURA



TALLER DE LICENCIATURA

**EVALUACIÓN DEL RIEGO POR PULSOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y
LA PRODUCTIVIDAD EN PALTO (*Persea americana* Mill) cv. HASS.**

CARLOS ANDRÉS ESCOBAR TELLO

QUILLOTA CHILE

2003

ÍNDICE DE MATERIAS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.	Características generales de la especie	4
2.1.1.	Sistema vegetativo	4
2.1.2.	Sistema reproductivo	5
2.1.3.	Sistema radicular	6
2.2.	Aspectos del riego	7
2.3.	Evapotranspiración	11
2.3.1.	Método de Penman - Monteith	11
2.3.2.	Bandeja evaporimétrica	12
2.4.	Equipos de medición del estado hídrico	13
2.4.1.	Cámara de presión	13
2.4.2.	Tensiómetros	14
2.5.	Temperatura de suelo	15
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1.	Ubicación del ensayo	17
3.2.	Caracterización del sector en estudio	17
3.2.1.	Clima	17
3.2.2.	Suelo	18
3.2.3.	Agua	19
3.3.	Material experimental	20
3.3.1.	Árboles	20
3.3.2.	Sistema de riego	20
3.3.3.	Diseño estadístico	21
3.4.	Metodología y equipos para la evaluación de las frecuencias de riego	22
3.4.1.	Crecimiento vegetativo y perímetro de tronco	22
3.4.2.	Distribución de las raíces	23
3.4.3.	Tensiómetros	23
3.4.4.	Cámara de presión	23
3.4.5.	Temperatura de suelo	24
3.4.6.	Cosecha	24
3.4.7.	Estimación de la evapotranspiración de referencia (ET _o)	24
3.4.7.1.	Bandeja evaporimétrica	24
3.4.7.2.	Estación meteorológica	25
3.5.	Planificación del riego	25
3.6.	Manejos del huerto	27

4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
4.1.	Análisis de los registros climatológicos	28
4.2.	Análisis de los registros de tensiómetros	30
4.3.	Análisis de los registros de temperatura de suelo	35
4.4.	Análisis del crecimiento vegetativo	37
4.5.	Análisis de la distribución de raíces	39
4.6.	Análisis del perímetro de tronco	44
4.7.	Análisis de los registros de potencial hídrico de las hojas	46
5.	CONCLUSIONES	49
6.	RESUMEN	50
7.	LITERATURA CITADA	51
	ANEXOS	

1. INTRODUCCIÓN

El agua, junto con la luz y el aire, es el elemento fundamental para la subsistencia de las plantas. Es indispensable para la fotosíntesis (0,01% del agua que absorbe), el crecimiento de células y tejidos, la absorción y transporte de elementos minerales y, en primer lugar, la regulación de la temperatura de la planta (SANCHEZ y AGUIRREOLEA, 2000). Por este motivo, conviene señalar que, en zonas de insuficiente pluviometría, el riego constituye la principal práctica de manejo en el huerto frutal (RAZETO, 1999).

El agua, que es el componente mayoritario en la planta (aproximadamente un 80-90% del peso fresco en las partes herbáceas y más del 50% en las partes leñosas), afecta, directa o indirectamente, a la mayoría de los procesos fisiológicos. Por todo ello, la fisiología vegetal es, en gran medida, el estudio de las relaciones hídricas (SANCHEZ y AGUIRREOLEA, 2000).

La producción frutal está determinada por varios factores, algunos ajenos a la plantación, como las condiciones climáticas, edafológicas, hídricas, etc, y otros, propios de la plantación, como la elección de la especie y portainjerto, distancia de plantación, fertilización, riego, entre otros (ESCOBAR y CRISTOFFANINI, 1997).

En relación con lo anterior, CARRASCO (1996) indica que dentro de todos los factores controlables, antes mencionados, el riego con frecuencia se maneja de modo ineficiente. Debido, entre otras causas, al desconocimiento real del efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos, en especial del palto. Precisamente, GUSTAFSON *et al.* (1979) y LUKE *et al.* (1995) identifican al manejo del riego como el factor de mayor incidencia en el éxito de un huerto de palto.

WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988) también señalan que existe poco conocimiento de los requerimientos hídricos, como también, de la alta sensibilidad a

las condiciones de estrés que presenta el palto, en particular, referente a los tiempos, frecuencias y volúmenes de agua aplicados, en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Aunque la tecnología ha desarrollado sistemas de riego muy sofisticados hasta hoy, el manejo del riego nunca alcanza un 100% de eficiencia, siempre existen pérdidas inevitables. Una de las más comunes se produce por lixiviación de las aguas bajo la zona de las raíces, con la pérdida de fertilizantes que, además, contaminan las aguas subterráneas (GUSTAFSON, 1976). También constituyen pérdidas del sistema la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde los propios aspersores (OLALLA, 1991).

El agua aplicada se pierde desde la superficie del suelo por evaporación y también a través del cultivo por transpiración. La combinación de los dos procesos se llama evapotranspiración (ET) (FAO, 1998). Por lo tanto, es necesario sustituir periódicamente esa agua a través del riego.

Las formas de estimar la evapotranspiración de un cultivo son diversas. Hoy el método más usado corresponde a la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o), cuyo cálculo se obtiene por el modelo de Penman – Monteith, que logra establecer, a través del coeficiente del cultivo (K_c), de forma bastante aproximada, las necesidades hídricas de la planta y, con esto, determinar qué volumen de agua se debe aplicar.

Actualmente, la frecuencia de riego se aplica con un gran volumen de agua, cada tres a cuatro días (en la época de máxima demanda), pudiendo causar, en primera instancia, asfixia a las raíces. Junto con esto y tomando en cuenta que antes de un riego el agua está más ligada al suelo y, por lo tanto, la planta debe invertir más energía en extraerla, surge la interrogante de qué sucedería si se mantuviera una cantidad de agua fácil de extraer en la zona de las raíces, cercana a capacidad de campo. Si fuera así, la planta podría destinar energía en extraer el agua ligada, en

procesos fisiológicos, tales como el crecimiento vegetativo, inducción, floración, cuaja, desarrollo de frutos, entre otros, con lo cual la producción sería más alta.

Por otro lado, al reponer la lámina evapotranspirada con riegos de alta frecuencia (como riego por pulsos), las raíces se desarrollarían más intensamente y con un gran porcentaje de éstas en la fracción de suelo que presenta mayor temperatura y más oxígeno, lo que favorecería una mayor actividad radicular temprana en la temporada, y permitiendo una mejor condición nutricional para la floración y cuaja, conduciendo así a un incremento de la producción y con mejores calibres.

Es así como surge el siguiente objetivo general para este ensayo:

- Evaluar el sistema de riego por pulsos para el cultivo del palto cv Hass.

Además se presentan tres objetivos específicos:

- Determinar el efecto del riego por pulsos en la distribución espacial de las raíces del palto cv Hass.
- Evaluar los efectos del sistema de riego por pulsos en el crecimiento vegetativo del palto cv Hass.
- Caracterizar el estado hídrico de los árboles y su relación con el sistema y la frecuencia del riego.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características generales de la especie:

2.1.1. Sistema vegetativo

En la zona de Quillota, el desarrollo vegetativo para el palto registra dos períodos de crecimiento claramente definidos. Los brotes del primer período en primavera, de septiembre a diciembre, son de mayor longitud al ser comparados con los del segundo crecimiento, en verano – otoño (febrero a mayo) (HERNÁNDEZ, 1991; TAPIA, 1993). Esto difiere con lo observado por WHILEY *et al.* (1988) en Queensland (Australia), donde ambos flush han sido de similar magnitud. Con respecto a esto GARDIAZABAL (2003)* señala que un factor importante en la longitud final de los brotes es la carga frutal que posea la planta.

TAPIA (1993) atribuye la menor intensidad del segundo flush con respecto al primero, a una menor cantidad de carbohidratos de reserva en los árboles en dicho momento, en comparación al primer crecimiento de la temporada, durante primavera, momento en que los niveles de carbohidratos llegan a sus valores máximos.

El palto crece en *flush* periódicos, resultando en una copa (*o dose!*) que posee hojas de distintas edades y eficiencias. Sin embargo, los brotes tienen un período largo que va desde fase de importación neta a otra de exportación de carbohidratos. Hasta el día 40 hay hojas que aún están importando carbohidratos para su crecimiento, existiendo una pérdida neta de energía para el crecimiento de ese brote. Las hojas también pueden almacenar grandes cantidades de carbohidratos y minerales que se reciclan durante los períodos de demanda (WHILEY, 1991).

* GARDIAZABAL, F. Ing Agr. 2003. Profesor Universidad Católica de Valparaíso. Comunicación Personal.

2.1.2. Sistema reproductivo

Las flores del palto van dispuestas en una inflorescencia denominada panícula (racimo de racimos), que puede ser axilar o terminal; se estiman unas 200 flores por panícula (RODRÍGUEZ, 1982).

Las flores son completas o perfectas, es decir, poseen androceo, gineceo, cáliz y corola. Son pequeñas, miden 0,5 a 1,5 cm de diámetro cuando están completamente abiertas, presentan color verde amarillento y son densamente pubescentes (GARDIAZÁBAL y ROSENBERG, 1991).

El rendimiento de frutos depende en principio del éxito de la iniciación floral, antesis, polinización y crecimiento de fruto. Cualquier error en alguno de estos procesos tiene un impacto irreversible y perjudicial sobre la producción, que no se puede subsanar con posteriores prácticas de cultivo (WHILEY, 1991).

La formación de flores en ambientes tropicales y subtropicales es promovida por bajas temperaturas o déficit hídricos, seguidos de la restauración de las condiciones climáticas favorables al crecimiento. Sin embargo, hasta la fecha solo ha sido posible inducir floración en paltos, usando bajas temperaturas y no déficit hídrico (LOVATT, 1987).

SALGADO, SAAVEDRA y TORO (1998) ratifican lo anterior, además señalan que paltos con tensiómetros, la mayor parte del invierno, en niveles bajo 10 cb son árboles que se estresan por falta de agua, que aunque la tienen, por causa de poco oxígeno, no la pueden absorber, y esta situación se produce desde mayo en adelante (hemisferio sur), justamente en momentos en que es posible la inducción floral.

Por otro lado, CHAIKIATTIYOS, MENZEL y RASMUSSEN (1994) observaron que, después de la inducción, la panícula tenía un buen desarrollo a temperaturas

cercanas a 25/20°C. Además agregan que el estrés hídrico previene o disminuye el crecimiento vegetativo, pero no induce floración. Si ésta se produce por bajas temperaturas, un déficit hídrico retrasa la floración hasta que el árbol sea nuevamente regado en forma apropiada (LAHAV y KALMAR, 1983).

2.1.3. Sistema radicular

El sistema radicular del palto es relativamente ineficiente en la absorción de agua, ya que presenta una estructura suberizada, con una baja frecuencia de pelos radiculares, generalmente ubicado entre los 15 y 30 cm de profundidad, caracterizándose su crecimiento por ramificaciones que van tomando posiciones laterales (WHILEY, 1991; GREGORIOU y KUMAR, 1982). Además, agregan que este sistema de ramificaciones desarrolla gran abundancia de raicillas, siendo éstas de color blanco cuando se encuentran en actividad.

Hasta un 95% del agua puede ser absorbida por las raicillas en los primeros 60 cm del suelo. Si las texturas son medias, este porcentaje de absorción se obtendría a mayor profundidad. Esto se explica por el mayor desarrollo del sistema de raíces en un medio más permeable (SHALHEVET *et al.*, 1981, citado por DU PLESSIS, 1991).

En suelos de textura media a pesada, aproximadamente el 50% de las raíces están en los primeros 30 cm del suelo, un 30 a un 40% entre los 30 y 60 cm del suelo, y más abajo solo de 10 a un 20% (GARDIAZABAL, 1998). Por su parte HERNÁNDEZ (1991), encontró que bajo las condiciones de Quillota, con riego por microaspersión, el 80% de las raíces se distribuía dentro de los 60 cm.

La distribución de las raíces está relacionada con la humedad de suelo (OSIADACZ, 1994), también con la cantidad y frecuencia de agua aplicada (LEVINSON y ADATO, 1991). Esto fue confirmado por VILLABLANCA (1994), el cual encontró una fuerte asociación entre la distribución de las raíces con el método de riego en Quillota.

UGARTE (1996) estudió la densidad de raíces absorbentes en un suelo franco arcilloso, con dos sistemas de riego, microaspersión y goteo, concluyó que entre los 25 y 75 cm de profundidad y entre 130 y 150 cm laterales desde el tronco, se encuentra la mayor densidad de raíces. Además, encontró crecimiento de raíces bajo los 75 cm de profundidad, tanto en riego por goteo como por microaspersión. Generalmente, este último tipo de raíces son de soporte (GARDIAZÁBAL, 1998).

2.2. Aspectos del riego:

La cantidad de agua requerida por los cultivos (evapotranspiración) depende de la interacción de factores climáticos, botánicos, edáficos y manejo. Entre ellos, se puede mencionar la temperatura, humedad relativa, viento, radiación, período de crecimiento del follaje, el tamaño, la edad, los niveles de producción, la estructura, la distribución de las raíces, la disponibilidad de agua, etc (SALGADO, 1991).

DU PLESSIS (1991) sugiere que la zona de riego que se debería considerar para maximizar la eficiencia del riego y evitar pérdidas por percolación consideraría los primeros 60 cm de profundidad. Sin embargo, lo correcto para cada huerto será determinar la profundidad a la que crecen las raíces, ya que profundidades mayores a 60 cm o estratas compactas que pudiesen limitar el crecimiento radicular, afectarán la capacidad de retención del suelo.

El riego es fundamental a partir de primavera, ya que en esta época se presentan la floración, la cuaja y el desprendimiento de frutos. La presencia de estas estructuras y eventos provocan que la transpiración exceda a la absorción de agua y su traslocación en la planta durante el día. El desbalance parcial de agua puede afectar negativamente la productividad y calidad final de los frutos (LAHAV y KALMAR, 1983).

Por otro lado, estos autores determinan que la disminución de las láminas aplicadas hacia otoño produce una disminución en el tamaño final de los frutos, pero no en el número de éstos.

Desde este punto de vista LOVATT (1990), indica que en California la etapa crítica se situaría entre los meses de marzo y fines de julio (hemisferio norte), durante el último período de floración y el inicio del período de crecimiento acelerado de los frutos.

Sin embargo, WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988) y WHILEY *et al.* (1988) en Australia, describen dos períodos muy marcados de desprendimiento de fruta, siendo el primero de menor intensidad que el segundo. La diferencia se puede deber al atraso y menor intensidad del segundo flush vegetativo, si se compara con el de primavera, no existiendo gran competencia por los nutrientes suministrados de parte de las raíces que están en su mayor desarrollo.

En Chile, esta situación ha sido descrita parcialmente por HERNÁNDEZ (1991) y TAPIA (1993), quienes describen un solo período con altas tasas de desprendimiento, entre principios de noviembre y fines de diciembre, para luego continuar con la etapa de crecimiento acelerado de los frutos desde enero hasta marzo.

La reducción en la tasa de crecimiento de los frutos hacia el otoño disminuye las necesidades de riego, mejorando la aireación del suelo y el desarrollo radicular. También minimiza la probabilidad de diseminación e infección con *Phytophthora cinnamomi* Rand y no tiene efectos negativos sobre la inducción y la floración en primavera (LAHAV y KALMAR, 1983).

Así, evitando la competencia entre las diferentes estructuras, reduciendo las tasas de crecimiento vegetativo, aumenta la retención de fruta y su calidad (LOVATT, 1990).

HERNÁNDEZ (1991) indica que, al existir un sistema de riego tecnificado, el mayor número de raíces se encuentra en la zona de mayor disponibilidad de agua. Durante épocas de sequía, éstas reducen su actividad que luego recuperan al aumentar la humedad del suelo.

Dentro de los sistemas de riego tecnificado, riego por goteo se caracteriza por trabajar con frecuencias de riego altas y entregar el agua en forma localizada en la zona radicular. La distribución del agua se hace mediante un sistema de emisores, que entregan ésta en forma puntual y localizada, formándose una zona húmeda (bulbo húmedo). El área que el emisor abarque, a igual cantidad de agua, dependerá de la textura del suelo (GARDIAZÁBAL y ROSENBERG, 1991).

En relación al riego por pulsos, éste puede ser definido como el fraccionamiento de la cantidad total de agua a entregar, siendo cada fracción aplicada al suelo con cierto intervalo de tiempo (RODRIGO, 1992).

YURGALEVITCH, TENNY y ULMER (1995), refiriéndose a riegos de bajo volumen, destacan el incremento de la producción y la eficiencia de la fertirrigación, ya que los nutrientes son entregados en forma parcializada durante el día, lo que provoca una menor pérdida de éstos por lixiviación.

Investigaciones realizadas por ZUR (1976) demuestran que la aplicación de agua en forma intermitente (pulsada) en una columna de suelo vertical, la distribución del volumen de agua y el avance del frente de mojamiento, se comportan como si el agua hubiese sido aplicada en forma continua en el tiempo. Así los pulsos de agua en la superficie del suelo son vaciados rápidamente, resultando un flujo de agua constante en el perfil de suelo húmedo. Estos pulsos de riego se usan como una forma de controlar el humedecimiento del perfil de suelo durante el proceso de infiltración.

ADATO y LEVINSON (1988) determinaron en paltos cv. Fuerte, regados con goteros en forma intermitente (pulsos) diariamente, durante seis años en Israel, cosechas mayores que aquellos regados por microaspersor con una frecuencia de 4 días. La fruta por árbol resultó un 6% mayor y producción se incrementó en un 14%. El incremento en el peso promedio de los frutos fue de 19 g, observándose también un mayor crecimiento anual de los troncos. Todo esto se atribuyó a la capacidad de adaptación de los árboles a este sistema, evitando el déficit hídrico que provoca la disminución progresiva del potencial mátrico al trabajar con frecuencias de riego mayores.

En el mismo ámbito, GONZÁLEZ (1996), en un ensayo realizado en riego por pulsos, en un sistema sin suelo en tomate en Quillota, observó un ahorro en el agua aplicada, ya que, a mayor fraccionamiento de los riegos, los drenajes fueron disminuyendo. Además, el mayor número de pulsos manifestó una tendencia al aumento de la materia seca de las raíces y un incremento de la producción, con una mejor calidad de frutos a la cosecha.

En un ensayo realizado en paltos con riego por pulsos, en suelos arcillosos con dos niveles de agua aplicada por goteo (100% y 70% de volumen de agua según ET₀) y además por microaspersión con un 100%, se logró determinar que el regado por goteo con menor cantidad de agua tuvo un 47% más de frutos al cabo de 5 años. Además, se registró una mayor densidad de raíces, superando en un 52% a los sectores regado por microaspersión, ya que se obtuvo mejor aireación de suelo y, por lo tanto, mejores condiciones para su crecimiento. En relación con esto último, los resultados destacaron que la absorción mineral y el crecimiento de fruto fue altamente correlacionado con la densidad de raíces (LEVINSON y ADATO, 1991). Estos autores también determinaron que los árboles regados por pulsos sufrieron menos estrés que aquellos regados en forma tradicional.

2.3. Evapotranspiración:

2.3.1. Método de Penman Monteith

Este método es aceptado por la FAO, desde el año 1996, como estándar para determinar la evaporación de referencia de los cultivos por sobre otros métodos descritos en el artículo FAO N° 24 (GUROVICH, 1998).

Para la estandarización de ciertos parámetros de la ecuación de Penman – Monteith, fue necesario la redefinición de ET_0 , como la tasa de evapotranspiración de un cultivo hipotético de 12 cm de altura y una resistencia constante de su canopia de 70 s x m^{-1} , cuya evapotranspiración se asemeja a la de una extensiva superficie de pasto verde de altura uniforme, crecimiento activo, superficie completamente sombreada y sin limitaciones de agua (SMITH, 1992 citado por CARDEMIL, 1999).

El método de Penman Monteith modificado FAO-24 estima valores de ET_0 entre 20 a 40% mayores que el de Penman – Monteith. Comparaciones entre bandejas evaporimétricas clase A y el método de Penman – Monteith modificado para ET_0 , han dado correlaciones satisfactorias para evaporaciones totales de tres o más días, siempre que los coeficientes de bandeja sean confiables. Los coeficientes de bandeja son muy dependientes del medio local, y debieran obtenerse comparando los datos de ésta con los de Penman – Monteith modificado. Si las condiciones climáticas son estables en la zona en particular, es posible estimar coeficientes de bandeja a partir de datos de ET_0 de estaciones cercanas. En áreas cuyos datos climáticos no estén disponibles, las tablas FAO-24 pueden servir de guía para seleccionar los coeficientes apropiados (CHIEW *et al.*, 1995).

2.3.2. Bandeja evaporimétrica

La bandeja evaporimétrica clase A corresponde a un estanque circular de 121 cm de diámetro y 25,5 cm de profundidad, construida de fierro galvanizado de 0,8 mm de espesor. Se debe instalar en forma horizontal, nivelada, sobre una plataforma de madera a 15 cm del nivel del terreno, para evitar el efecto de la temperatura del suelo y permitir la circulación libre del aire. Se debe llenar con agua hasta 5 cm del borde superior y no debe permitirse una evaporación mayor a 25 mm, es decir, no más bajo que 7,5 cm desde dicho borde, antes de proceder al relleno (SALGADO, 1997). Además, los coeficientes de bandejas (K_b), propuestos por DOORENBOS y PRUITT (1986), solo son válidos para bandejas con las características antes descritas.

Según BOSMAN (1987), existen diferencias significativas entre bandejas sobre césped, suelo desnudo y piedras. Las evaporaciones de instalaciones sobre suelo desnudo y piedras excede siempre a aquellas sobre pasto. Asimismo, las bandejas con rejillas protectoras evaporan un 19% menos, pues la acción de la malla protectora tiene efecto sobre todos los factores ambientales, entre ellos el viento y la humedad relativa sobre la superficie del agua.

La evaporación medida, usando un coeficiente de bandeja adecuado, puede ser altamente confiable, especialmente para periodos promediados mayores a siete días (HOWELL, PHENEM y MEEK, 1983).

Según DE FINA (1985), en experiencias realizadas durante varios años en Córdoba, Argentina, se pudo constatar que los principales factores que actúan sobre la evaporación de bandeja son el material del recipiente, nivel sobre el suelo y diámetro, entre otros. Por lo tanto, la única forma de hacer los datos comparables es adoptar el mismo tipo de evaporímetro en todo el mundo (FAO, 1998).

2.4. Equipos de medición del estado hídrico:

2.4.1. Cámara de presión

La cámara de presión es un dispositivo de acero, con un manómetro en su parte exterior, que permite aplicar presión a una hoja (o un brote pequeño). La hoja se coloca en su interior, con el pecíolo hacia el exterior, a través de un orificio. La cantidad de presión que se necesita para que el agua aparezca por el pecíolo indica cuál es la tensión, o potencial hídrico xilemático, del agua en la hoja. La presión al interior de la cámara se mide en un manómetro y se genera inyectando nitrógeno gaseoso (N_2), desde un balón que contiene este elemento a alta presión. Un valor elevado de presión medido en la cámara corresponde a un valor alto de tensión y esto se interpreta como un alto grado de estrés hídrico (SELLES, FERREYRA y MALDONADO, 2002).

El manejo y control del riego se realiza, normalmente, mediante técnicas que determinan la humedad en la zona de las raíces (tensiómetros, aspersor de neutrones y otros). Sin embargo, resulta más apropiado evaluar el estado hídrico de la planta, mediante la medición de su potencial hídrico directamente desde sus hojas (SELLES, FERREYRA y MALDONADO, 2002). Además, estos autores señalan que el potencial es una integración de la demanda evaporativa de la atmósfera y de la disponibilidad de agua en la masa de suelo explorada por las raíces.

La cámara de presión o bomba Scholander, mide, de manera sencilla, el potencial hídrico xilemático en la hoja (FERREYRA y SELLES, 2000; CROCKER, BELL y BARTHOLIC, 1974). En términos simples, la cámara mide “la presión sanguínea” de la planta. Por supuesto, por el vegetal circula agua en lugar de sangre, y la fuerza motriz corresponde a una tensión (presión negativa), producto de la transpiración del agua desde las hojas hacia la atmósfera (SHACKEL, 2001).

2.4.2. Tensiómetros

Los instrumentos más usados para programar los riegos son los tensiómetros y las bandejas evaporimétricas. La frecuencia entre cada riego estará determinada por la capacidad que tenga el suelo de almacenar agua. Para determinar la frecuencia de riego con tensiómetros, se requiere de una curva característica de humedad, la cual debe construirse para cada suelo. Con esta información, se pueden estimar volúmenes de agua para alcanzar la capacidad de campo en la zona de crecimiento radicular (DU PLESSIS, 1991).

Al respecto, TOUMEY (1984a) y TOUMEY (1984b) ratifican que el uso de riego tecnificado requiere del apoyo de tensiómetros o bandejas evaporimétricas para calcular la frecuencia y los tiempos de riego de modo de aumentar al máximo la eficiencia en el uso del agua (de un 25 a un 40%, comparado con riego tradicional por surcos).

Se acepta mayoritariamente que la frecuencia de los riegos se determina por el nivel de agotamiento del agua en la zona de mayor actividad radicular. Estos niveles pueden variar dependiendo de la capacidad de retención de humedad del suelo, el sistema de riego usado (por surcos, goteo o microaspersión), presencia de coberturas y distribución en profundidad de las raíces. Se ha establecido que, independientemente del sistema de riego elegido, el límite de agotamiento hídrico durante el período crítico será entre un 30 a un 60% del agua aprovechable. Estos límites corresponden a potenciales mátricos de entre -25 a -50 KPa en suelos de texturas finas y -30 a -50 KPa en los de textura gruesa. Regando con estos niveles, se obtienen buenas producciones y fruta de calidad aceptable y hay una reducción importante en la severidad de los ataques de *Phytophthora cinnamomi* Rand (DU PLESSIS, 1991; BORST, 1984; LAHAV y KALMAR, 1983; LYMAN, 1982).

2.5. Temperatura de suelo:

Temperaturas de suelo inapropiadas o no óptimas pueden afectar las raíces, generando una aparente restricción hídrica a la parte aérea. Muchos estudios han demostrado relaciones entre la absorción de agua, crecimiento vegetativo y temperatura de suelo. También se ha descrito la dependencia de la temperatura en la absorción de agua por las raíces de las plantas en términos de viscosidad del agua, coeficiente de permeabilidad osmótico de las membranas y tasa de absorción de solutos. Por otro lado, la conductividad de las raíces no es solo función de la temperatura, además, la relación varía entre especies y es influida por adaptaciones propias de estas (FELDHAKÉ y BOYER, 1986).

El crecimiento radicular posee una temperatura de suelo que alcanza un máximo para su actividad de 18°C y el límite inferior es 13°C (GARDIAZÁBAL y ROSENBERG, 1991) Además WHILEY (1991) señala que con un incremento progresivo de las temperaturas del suelo al avanzar la primavera, sumado al efecto ejercido por la brotación y floración sobre la activación del sistema radicular, se produce un aumento en la capacidad de absorción de agua.

El sistema radicular del palto está en estrecho balance con el crecimiento vegetativo del árbol. Durante el invierno, cuando la temperatura del suelo cae por debajo de los 18°C, el crecimiento de las raíces se reduce. Por otra parte, luego de cada brotación sigue un período de aumento en el crecimiento radicular, llegándose a determinar que existen dos épocas de alta actividad de crecimiento (WHILEY, CHAPMAN y SARANAH, 1988).

Para las condiciones de Quillota, HERNÁNDEZ (1991) encontró que el crecimiento radicular ocurre entre noviembre y junio, correlacionando en forma directa con las fluctuaciones estacionales de las temperaturas del suelo.

Además la temperatura de suelo tiene un efecto directo sobre el desarrollo de *Phytophthora cinnamomi* Rand, hongo que crece activamente entre los 15°C y 30°C, con un óptimo para la infección y crecimiento de 21°C a 24°C (COFFEY, 1991).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del ensayo:

El ensayo forma parte de un proyecto de investigación planificado a tres años. En el estudio se consideraron los datos obtenidos durante el primer año de evaluación, entre marzo de 2002 y marzo de 2003. El ensayo se condujo en un huerto de paltos adultos en el predio La Invernada, ubicado en la comuna de Nogales, provincia de Quillota, V Región (32°50' Sur y 71°13' Oeste). El plano del sector en estudio se encuentra en el Anexo 1.

3.2. Caracterización del sector en estudio:

3.2.1. Clima

El predio se encuentra inserto en el agroclima Quillota, ubicado en el sector poniente del Valle de Aconcagua, latitudes 32°50'S a 33°10'S, constituyendo un clima muy local dentro de la zona. El régimen térmico de esta zona se caracteriza por una temperatura media anual de 15,3°C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 27°C y una mínima media del mes más frío (julio) de 5,5°C. El período libre de heladas aprovechable es de 9 meses, de septiembre a mayo. La suma anual de temperaturas base 10°C es 1.900 grados día. Las horas frío, de marzo a noviembre llegan a 500. La temperatura media mensual se mantiene sobre 10°C. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 437 mm, siendo el mes de junio el más lluvioso, con 125 mm. La evaporación máxima en diciembre es de 7,07 mm/día y la mínima es en junio con 1,2 mm/día (NOVOA *et al.*, 1989). Los valores de evaporación diaria de bandeja Clase A para la zona, según diferentes fuentes, se encuentran en el Anexo 2.

3.2.2. Suelo

Las características del suelo, donde se realizó el ensayo, se presentan a continuación, a través del análisis de una calicata confeccionada sobre un camellón y descrita por CARDEMIL (1999), como sigue:

0 - 30: Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; textura franca con piedras y gravas abundantes; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas y medias abundantes; actividad biológica abundante.

30 - 60: Pardo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franca con piedras y gravas abundantes; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas escasas y medias comunes.

60 - 90: Pardo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franca y franco arenosa con piedras y gravas abundantes; ligeramente plástico; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios y finos, débiles. Raíces finas inexistente y medias muy escasas. Límite ondulado, claro.

90 - 130: Substrato aluvial que incluye estratas de textura franco arenosa y areno francosa, de colores pardo oscuro y pardo amarillento oscuro y estratas de gravas redondeadas con matriz arenosa. Ausencia de raíces.

Los análisis de suelo del sector en estudio se presentan en el Anexo 3. Éste arroja porcentajes de arcilla, limo y arena de 26.8, 22.7 y 50.5, respectivamente. Según HONORATO (2000), este suelo se clasifica como de textura franco arcillo arenosa.

La densidad aparente del suelo, utilizadas para obtener los datos que relacionan tensión con humedad, se calculó a partir de muestras de suelo no disturbadas de

variados tamaños. A 30, 60 y 90 cm de profundidad, las densidades aparentes del suelo resultaron ser 1.61, 1.70 y 1.80 gr/cm³.

CARDEMIL (1999), en el mismo predio, obtuvo la curva característica de humedad a 30, 60 y 90 cm desde el suelo (Anexo 4). De los datos entregados por las curvas características de humedad y los datos de densidad aparente para todo el perfil del suelo, es posible determinar que la capacidad estanque del suelo, en los primeros 70 cm, es de 161 mm y que un agotamiento del 30% del agua aprovechable representa 28 mm. Mediciones realizadas en todo el perfil mediante sonda de dispersión de neutrones indicaron que el contenido de agua hasta los 130 cm de profundidad es de 298 mm y un agotamiento del 30% del agua aprovechable representaría una lámina de reposición de 52 mm. En el Cuadro 1, se presenta un resumen de las características del suelo con relación a la retención de humedad (CARDEMIL, 1999).

CUADRO 1. Contenidos de humedad expresados como láminas en diferentes estratas y sus porcentajes de agotamiento con respecto a la humedad aprovechable. Predio La Invernada, Nogales.

Estrata (cm)	Contenido de humedad en mm		Porcentaje de agotamiento de la humedad aprovechable (H.A.)			
	Total	H.A.	20%	30%	50%	60%
30	70	41	8	12	20	25
50	116	68,1	14	20	34	41
70	161	94	19	28	47	57
130	298	174	35	52	87	104

3.2.3. Agua

El agua de riego se obtuvo de un pozo somero, a orillas del río Aconcagua, y no presentó ninguna contraindicación para el cultivo del palto, pues tiene una conductividad eléctrica menor a 0,75 mmhos/cm, menos de 2,8 meq/l de cloruros y

menos de 0,2 meq/l de boro (GARDIAZÁBAL, 1998). En el Anexo 5, se presenta el análisis de calidad de agua.

3.3. Material experimental:

3.3.1. Árboles

El ensayo se realizó en un huerto de paltos (*Persea americana* Mill), cultivar Hass, plantados en 1990 sobre portainjerto Mexícola, a una distancia de 6 m entre hilera y 6 m sobre hilera. Los árboles están sobre camellones de 0,8 metros de altura, aproximadamente. Tanto la ubicación de dispositivos de medición como la elección de árboles para las mediciones, se basó en su homogeneidad en cuanto a tamaño, vigor, sanidad y producción. Esta uniformidad entre los árboles se debe entender como relativa, debido al efecto del tipo de portainjerto utilizado y a las características que éste confiere a la variedad.

El sector se encuentra en un piedmont con una pendiente de 4 a 5%. Se evaluaron 48 árboles por tratamiento, teniendo 16 por cada repetición.

3.3.2. Sistema de riego

A mediados del mes de abril del 2002, se cambió el sistema de riego de microaspersión a goteo, para dos de los tres tratamientos experimentales. Esto se desarrolló a mediados del mes de abril. En estos tratamientos se colocaron tres líneas de goteros: una junto al tronco y las otras dos a un metro de éste, una a cada lado. Los goteros eran tipo botón, antidrenantes de 2,0 L/hr y estaban separados a 50 cm de distancia, teniendo, por lo tanto, 36 goteros por árbol, y una precipitación de 2 mm por árbol.

En la segunda semana de noviembre de 2002, estas líneas de goteros se cambiaron. Los nuevos goteros tenían la característica de ser incorporados, autocompensados, de 1,6 L/hr, marca Netafim y estaban separados a 36 cm sobre la línea. Se instalaron tres líneas de goteros, una junto al tronco y las otras dos a 50 cm a cada lado del tronco. Con esto se tienen 50 goteros por planta, con una precipitación en el terreno de 2,22 mm por árbol.

En el caso del tratamiento de menor frecuencia de riego, que corresponde al testigo, se utilizó un microaspersor de 48 L/hr, ubicados sobre el camellón a 3 m del tronco. La precipitación es de 1,33 mm por árbol.

3.3.3. Diseño Estadístico

El diseño estadístico ocupado para este ensayo es el de bloques completamente al azar. Las repeticiones de los tratamientos fueron distribuidas en los sectores ocupados por el experimento conducido por CARDEMIL (1999) en el mismo huerto en el período 1998-2000. En ese ensayo, se evaluaron distintos volúmenes de agua aplicados al cultivo, definidos en base al 90, 100, 110 y 130% de la evapotranspiración potencial (ET_o) calculada en base a la evaporación de la bandeja evapométrica instalada en el huerto.

Para el actual ensayo, se distribuyeron los tratamientos en tres repeticiones. En cada repetición se evaluaron 16 árboles. Las repeticiones se dispusieron en sectores que recibieron tres tratamientos del ensayo anterior: 100, 110 y 130% de la ET_o, según el esquema definido en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Distribución de los tratamientos de riego, tomando en cuenta condición de los árboles dejado por el ensayo de riego de CARDEMIL (1999).

TRATAMIENTOS DE RIEGO DEL ENSAYO ACTUAL	Repetición	TRATAMIENTOS DEL ANTIGUO ENSAYO
Microaspersión	1	110% de ETO
	4	100% de ETO
	12	130% de ETO
Goteo 7 veces al día	2	100% de ETO
	5	110% de ETO
	11	130% de ETO
Goteo 3 veces al día	3	100% de ETO
	8	130% de ETO
	10	110% de ETO

En el Anexo 1, se muestra la distribución de los tratamientos y sus repeticiones en el huerto experimental.

3.4. Metodología y equipos para la evaluación de las frecuencias de riego:

3.4.1. Crecimiento vegetativo y perímetro del tronco

Para evaluar el efecto de las distintas frecuencias de riego, se realizaron mediciones de crecimiento de brotes y perímetro del tronco del árbol. Para la medición de los brotes, se eligieron cinco árboles por repetición, quince por tratamiento, y se midieron dos ramillas marcadas en cada árbol, en orientación oeste y este. El largo de cada ramilla fue medido con huincha métrica de 0,1 cm de precisión, desde la base al ápice, una vez por semana, desde fines de septiembre hasta diciembre, período que corresponde al primer flush de crecimiento vegetativo (TAPIA, 1993).

La medición del perímetro del tronco se realizó a 10 cm sobre la unión con el portainjerto, utilizando una huincha métrica con precisión de 0,1 cm. Se hicieron dos mediciones cada seis meses: la primera, el 29 de mayo y la segunda, el 26 de noviembre del 2002.

3.4.2. Distribución de las raíces

Con el fin de determinar la distribución de las raíces en profundidad y en distancia desde el tronco, se evaluó la aparición de raicillas blancas activas en las paredes de 3 calicatas por tratamiento (una por repetición). Se utilizó la metodología definida por LEVINSON y ADATO (1991), GUSTAFSON *et al.* (1979) y MICHELAKIS *et al.* (1993), para lo cual se confeccionaron calicatas dispuestas en sentido perpendicular a la hilera de plantación, a 50 centímetros del tronco, de 50 cm de ancho, 100 cm de profundidad y 140 cm de largo. En estas se colocó un reticulado de alambre de 1.0 m², con cuadrículas de 20 x 20 cm. La medición se efectuó a las dos caras de la calicata (N y S). Estas calicatas se mantuvieron tapadas con plástico negro y se dispusieron recipientes con agua en el interior, para mantener las condiciones de oscuridad y humedad que permiten el crecimiento de las raicillas desde las paredes de la calicata. La medición se realizó desde diciembre de 2002 a febrero de 2003.

3.4.3. Tensiómetros

Para medir la extracción de agua por las raíces y determinar las características de mojamiento del perfil en cada tratamiento, se utilizaron tensiómetros marca Irrrometer ubicados a tres profundidades (20, 40 y 80 cm). Por cada tratamiento se instalaron 3 baterías de tensiómetros (1 por repetición), enterradas en forma diagonal (Anexo 6). En los tratamientos regados por goteo los tensiómetros se ubicaron entre dos goteros, y, en los sectores regados por microaspersión, se colocaron entre el microaspersor y el tronco.

3.4.4. Cámara de presión

Con el fin de medir el potencial hídrico de las hojas, se utilizó una cámara de presión marca ARIMAD 3000. Estas mediciones se efectuaron por un período de 15 días en el mes de febrero, entre las 12⁰⁰ y las 14³⁰ hr. Para este propósito, se muestrearon, de cada tratamiento, 10 hojas maduras y sanas, expuestas al sol.

La medición de las hojas se realizó con la metodología usada por CANTUARIAS (1995). Esta consiste en recoger las hojas con bolsas plásticas, para ser medidas inmediatamente en la cámara.

3.4.5. Temperatura de suelo

En cada tratamiento se midió la temperatura de suelo, de modo de evaluar el efecto de las distintas frecuencias de riego sobre esta variable, la cual se encuentra directamente relacionada con la productividad y el crecimiento de la planta. Para esto se ocuparon tres termómetros de suelo por repetición, instalados a 15 cm de profundidad.

3.4.6. Cosecha

La cosecha de fruta se realizó entre el 9 al 12 de septiembre del 2002. La fruta de cada árbol, en cada repetición y tratamiento, fue contada y pesada. Esta información permitió calcular el peso promedio del fruto. Después de terminada la cosecha la fruta fue llevada y procesada en la línea comercial de la Exportadora Safex Ltda., con el fin de obtener la distribución de los calibres para cada tratamiento.

En el Anexo 7, se presenta la cosecha 2001/2002 distribuida por calibres, la cual al ser analizada estadísticamente no presentó diferencias entre tratamientos de riego. Esta información confirma la homogeneidad de los árboles seleccionados en los distintos tratamientos al comienzo del ensayo.

3.4.7. Estimación de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

3.4.7.1. Bandeja evaporimétrica

Entre abril y principios de octubre del 2002, la estimación de la ET_o para la determinación de la frecuencia de riego del tratamiento de microaspersión fue

obtenida a partir de la evaporación registrada por la bandeja evaporimétrica clase A instalada en el predio. La bandeja cumple con los requisitos especificados por DOORENBOS y PRUITT (1986).

3.4.7.2. Estación meteorológica

A partir del mes de octubre de 2002, la ETo fue estimada en base a datos meteorológicos medidos por una estación automática marca Campbell Scientific Inc, que registra en forma diaria datos de humedad relativa, temperatura del aire, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento. Estos datos sirvieron para estimar la ETo según la ecuación de Penman Monteith modificada (Anexo 8), utilizando el software Winds, diseñado por la empresa Weathernews Inc. (CAMPBELL SCIENTIFIC Inc., 1998).

3.5. Planificación del riego:

Como se describió anteriormente, las frecuencias de riego utilizadas corresponden a 7 pulsos diarios y 3 pulsos diarios, para los tratamientos con riego por goteo, las que fueron comparadas con la frecuencia utilizada normalmente en riego por microaspersión, calculada a partir de la ETo estimada diariamente en el predio. El tratamiento de microaspersión fue regado con el objeto de reponer una lámina total acumulada de 14 mm, necesaria para humedecer el suelo hasta una profundidad de 60 cm, donde están concentradas las raíces absorbentes del palto. Este equivale aproximadamente a una frecuencia de un riego cada 3 días en el período de máxima demanda.

Desde abril y hasta mediados de septiembre de 2002, el riego del tratamiento por microaspersión se basó en la reposición de una lamina de 23 mm de evapotranspiración acumulada, con la que se pretendía humedecer el suelo hasta una profundidad de 1,0 m. Este criterio fue modificado, tomando en cuenta que el 95% de las raíces se encuentra en los primeros 60 cm de profundidad

(SHALHEVET *et al.*, 1981, citado por DU PLESSIS, 1991), además las altas tensiones medidas en el tratamiento de microaspersión indicaban que el agotamiento de la humedad de suelo permitido era excesivo. Es así como a partir de mediados de septiembre se redujo a 14 mm de evapotranspiración acumulada la lámina el riego aplicada en este tratamiento. En el Cuadro 3, se presentan las frecuencias de riego utilizadas en el ensayo.

CUADRO 3: Evolución de las frecuencias de riego en palto, utilizadas para cada uno de los tratamientos durante la temporada de riego 2002-2003.

Mes	Tratamiento de riego		
	T0 (Microaspersión)	T1 (Goteo 7 veces/día)	T2 (Goteo 3 veces/día)
Abril de 2002	Cada 23 mm *	4 riegos	3 riegos
Mayo de 2002	“	3 riegos	2 riegos
Junio de 2002	“	2 riegos	2 riegos
Julio de 2002	“	2 riegos	2 riegos
Agosto de 2002	“	3 riegos	3 riegos
Septiembre de 2002	“	3 riegos	3 riegos
Octubre de 2002	Cada 14 mm *	6 riegos	3 riegos
Noviembre de 2002	“	7 riegos	3 riegos
Diciembre de 2002	“	7 riegos	3 riegos
Enero de 2003	“	7 riegos	3 riegos
Febrero de 2003	“	7 riegos	3 riegos

* Evapotranspiración diaria acumulada

Las frecuencias de riego por goteo fueron variando desde instalación de las líneas de goteros. Para estos tratamientos se definió un tiempo de riego mínimo de 12 minutos, para permitir una adecuada infiltración del agua en el terreno, esto basándose en los datos registrados, en el mismo predio y con los mismos equipos, en años anteriores. Esto significó variar el número de riegos por día, según las condiciones climáticas de los meses de baja demanda hídrica.

Los coeficientes de bandeja (Kb) y de cultivo (Kc) que se utilizaron en este ensayo fueron obtenidos del ensayo realizado previamente por CARDEMIL (1999) y se presentan en el Cuadro 4.

CUADRO 4: Coeficientes de bandeja (Kb) y de cultivo (Kc) para el palto, utilizados en el ensayo.

Mes	Kb	Kc
Enero	0,75	0,75
Febrero	0,80	0,75
Marzo	0,80	0,75
Abril	0,90	0,72
Mayo	1,00	0,72
Junio	1,00	0,72
Julio	1,10	0,72
Agosto	1,10	0,72
Septiembre	0,90	0,72
Octubre	0,80	0,72
Noviembre	0,75	0,75
Diciembre	0,75	0,75

3.6. Manejos del huerto:

Todas las prácticas, tales como fertirrigación, poda, aplicación de fungicidas y pesticidas, control de malezas, colocación de colmenas con abejas, entre otras, se llevaron a cabo de acuerdo a los métodos convencionales utilizados en el huerto y fueron similares para todos los tratamientos.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los registros climatológicos:

Desde el inicio del ensayo, en el mes de abril de 2002 y hasta los primeros días de octubre, la estimación de la evapotranspiración de referencia se obtuvo a partir de los registros de evaporación de la bandeja evaporimétrica, debido a la manutención y problemas técnicos presentados por la estación meteorológica, los datos de ésta comenzaron a utilizarse a partir de comienzos de octubre de 2002.

En la Figura 1, se realizó una comparación entre la evapotranspiración potencial estimada a partir de los datos meteorológicos registrados por la estación y los datos de evaporación de bandeja. En ésta, se puede observar un coeficiente de correlación (R^2) de 0,93 entre ambas variables en el período comprendido entre octubre de 2002 y febrero de 2003.

Esta alta correlación permite concluir que las necesidades hídricas determinadas en base a ambas variables deben ser bastante cercanas en magnitud. Por lo tanto, la utilización de una u otra variable a lo largo del ensayo no influyó en grandes variaciones en el cálculo de los requerimientos hídricos. Los valores diarios de evapotranspiración potencial obtenidos de la estación (EToPM) y de la bandeja (EToB), durante el período de evaluación del ensayo, se encuentran en los Anexos 9 al 13.

En el mismo predio, CARDEMIL (1999) comparó los valores de ETo de la estación y de la bandeja y obtuvo un coeficiente de correlación (R^2) de 0,76 para los meses de septiembre a enero. Este autor modificó posteriormente los valores del coeficiente de bandeja (K_b), siendo estos valores empleados en el presente estudio.

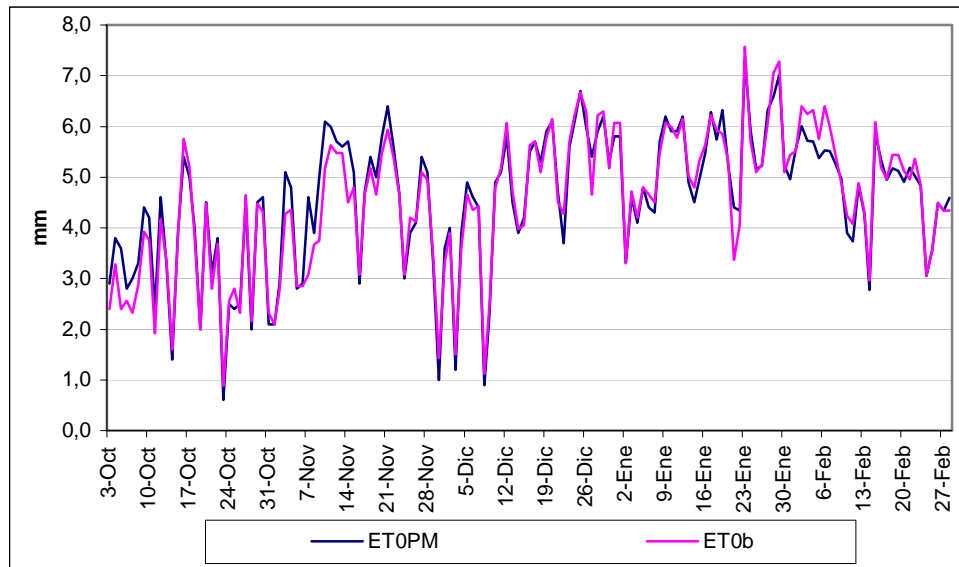


FIGURA 1. Comparación de la evapotranspiración potencial según el método de Penman Monteith modificado y la Bandeja Evaporimétrica Clase A. Predio La Invernada, Nogales. 2002.

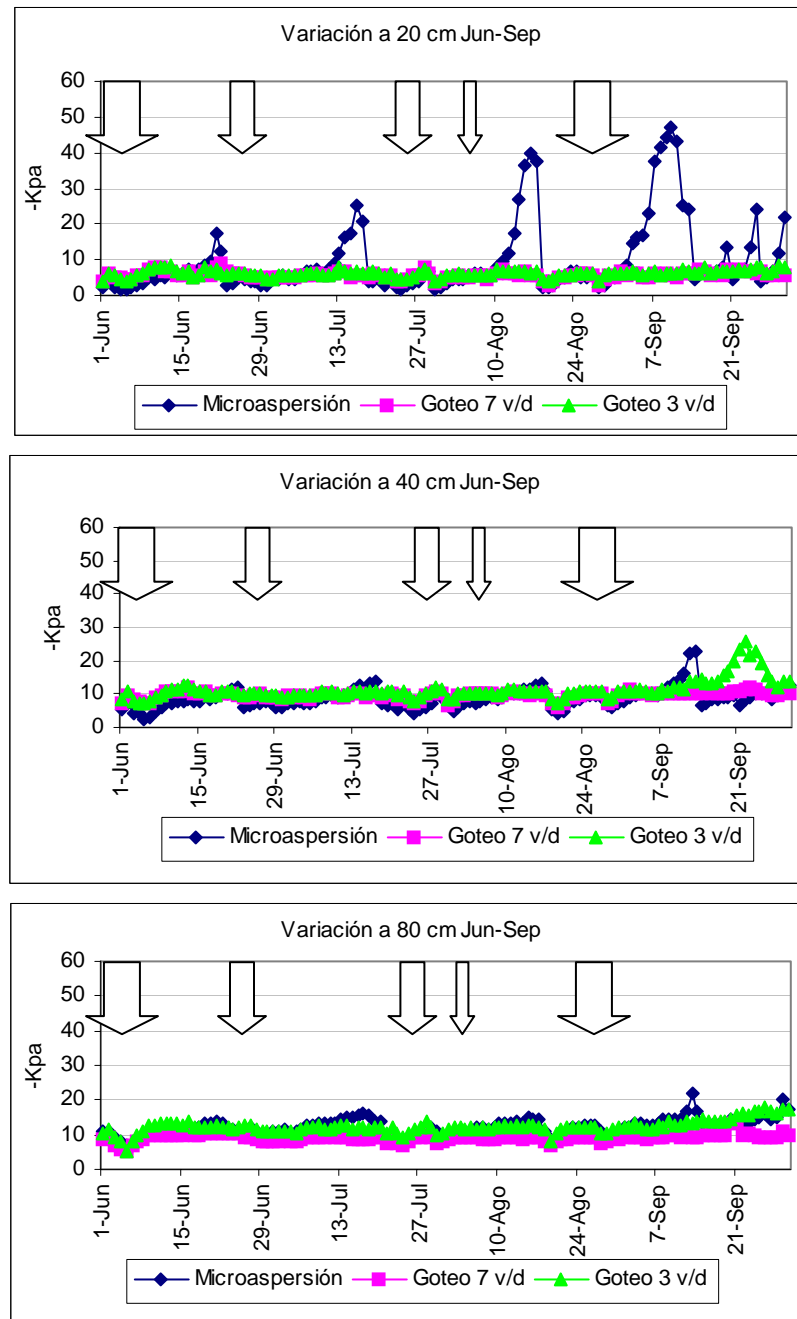
4.2. Análisis de los registros de tensiómetros:

El análisis de las tensiones encontradas en el suelo se realizó tomando en cuenta dos períodos, según la magnitud de la lámina de riego a reponer en el tratamiento de microaspersión. En el primer período, comprendido entre junio y septiembre del 2002, se repuso una lámina de riego equivalente a 23 mm de la evapotranspiración acumulada. En el segundo período, comprendido entre octubre de 2002 a febrero de 2003, se repuso una lámina de riego de 14 mm.

El rango de tensiones considerado como normal para este tipo de suelo y que permite un buen desarrollo y producción de los paltos, está entre 10 y 50 KPa, (CARDEMIL, 1998). A su vez GARDIAZABAL (2003)* señala que en huertos de paltos es recomendable mantener un mínimo de 60 KPa en invierno en suelos arcillosos, debido al efecto de las lluvias que, en muchos casos, producen saturación del suelo, lo que conllevaría a problemas de asfixia radicular y pudriciones causadas por *Phytophthora cinnamomi* Rand.

En la Figura 2, se aprecian las variaciones de la tensión promedio del agua en el suelo, evaluadas a 20, 40 y 80 cm de profundidad en cada tratamiento, desde junio a septiembre de 2002. En el mes de junio el tratamiento regado por microaspersión, a 20 cm de profundidad, registra tensiones que se mantienen generalmente bajo los 10 KPa. Una de las razones de que las tensiones registradas en este tratamiento durante todo el mes estuvieran cercanas a cero fueron las precipitaciones que se presentaron en los primeros seis días (aproximadamente 300 mm). Esto, sumado al riego aportado el 22 de junio, hizo que los valores de los tensiómetros no superaran los 10 KPa, llevando el suelo al estado de saturación durante el mes de junio.

* GARDIAZABAL, F. Ing Agr. 2003. Profesor Universidad Católica de Valparaíso.
Comunicación Personal.



***Flechas indican precipitaciones

FIGURA 2. Variación de las tensiones registradas, para cada tratamiento de riego a diferentes profundidades de suelo, en el período junio-septiembre.

En la Figura 2, también se puede observar que en el período de julio a fines de agosto las tensiones de agua en el suelo, a 20 cm de profundidad en el tratamiento de microaspersión, se mantienen en general bajo los 10 KPa, con sólo dos alzas sobre este valor, ocurridas a mediados de julio y a mediados de agosto. Es decir, la condición de saturación en el suelo se mantiene en este tratamiento por un período prolongado.

Con el cambio de la lámina de reposición de 23 a 14 mm a mediados de septiembre y la disminución de las precipitaciones, las tensiones a 20 cm de profundidad aumentan y, en general, se mantienen dentro del rango óptimo de 10 y 50 KPa.

En el tratamiento regado por microaspersión, los registros de los tensiómetros a 40 y 80 cm de profundidad muestran que las tensiones oscilan entre los 5 y 15 KPa en todo el período, excepto desde el 10 al 14 de septiembre, donde se registran valores sobre 20 KPa, para luego volver a la condición antes descrita.

Los tratamientos de riego por goteo con 7 y 3 riegos diarios presentan, durante el período, un comportamiento similar. A 20 cm de profundidad, se registran valores entre 5 y 10 KPa, mientras que a 40 y 80 cm de profundidad las lecturas se mantienen próximas a los 10 KPa. En la estrata de 80 cm profundidad, el tratamiento regado con 7 pulsos diarios se mantiene en niveles levemente inferiores al tratamiento regado con 3 pulsos al día. En este tratamiento, a fines de septiembre, las tensiones a 40 y 80 cm de profundidad se elevan, llegando a niveles cercanos a 30 KPa en la estrata de 40 cm. Esto no ocurre en el tratamiento con 7 pulsos diarios debido al continuo aporte hídrico de los goteros, lo que no permite una adecuada aireación de suelo.

En la Figura 3, se presenta la variación de las tensiones en el suelo a 20, 40 y 80 cm de profundidad, registrada desde el 01 de octubre de 2002 hasta el 28 de febrero de 2003.

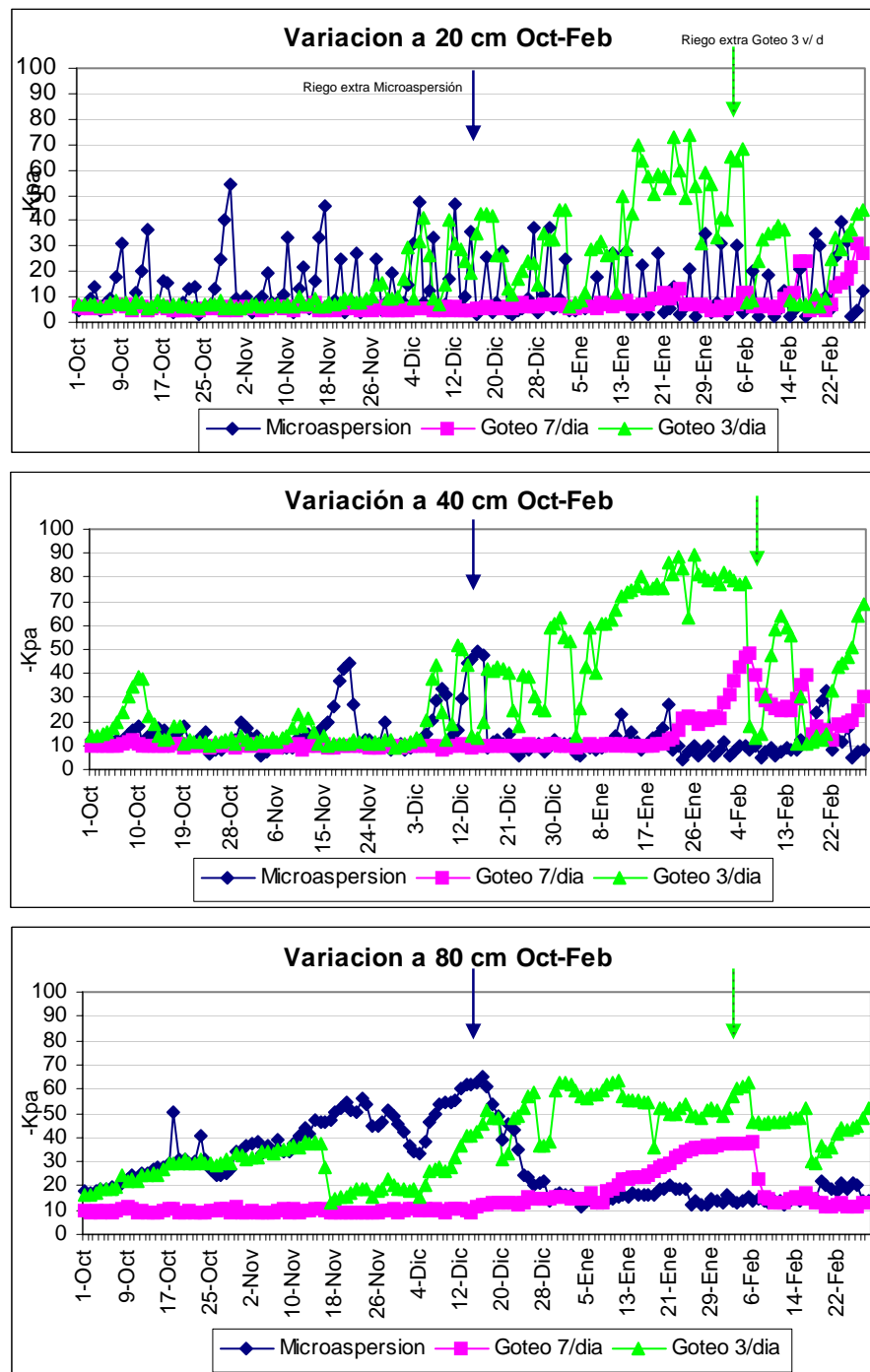


FIGURA 3. Variación de las tensiones registradas en cada tratamiento de riego, a diferentes profundidades de suelo, en el período de octubre del 2002 a febrero del 2003.

En este período, se observa que, luego de la modificación de la lámina de riego de 23 a 14 mm y del fin de las precipitaciones, en el tratamiento regado por microaspersión, las tensiones en todas las estratas se elevan respecto al período anterior, fluctuando entre 10 y 50 KPa. Esto indica que a esas profundidades existe una constante aireación del suelo entre riegos. Entre mediados de noviembre y mediados de diciembre, las tensiones a 40 cm se elevan sobre los 50 KPa, por lo que el día 15 de diciembre se le aplicó a este tratamiento un riego extra de 50% de la dosis. Después de este riego extra, las tensiones bajan y se mantienen entre 10 y 40 KPa.

El tratamiento regado por goteo con 7 pulsos diarios presenta saturación de suelo a las tres profundidades evaluadas. Esto es corroborado por las tensiones registradas, que se mantienen gran parte del período entre 10-15 KPa. Las calicatas realizadas en ese sector (Anexo 15) muestran el suelo anegado hasta el metro de profundidad y escaso desarrollo de raíces. Sólo a mediados de febrero, las tensiones a 20 cm se elevan sobre los 10 KPa. En las estratas de 40 y 80 cm, se registra un aumento de las tensiones entre los meses de enero y febrero, alcanzando valores de 40 a 50 KPa.

En relación con el tratamiento por goteo con 3 riegos diarios, este presenta un aumento progresivo de las tensiones desde comienzos de diciembre, registrándose valores de hasta 80 KPa a los 40 cm de profundidad. En el Anexo 15, se muestra el bulbo de mojado observado en este tratamiento, de menor dimensión respecto a los otros tratamientos, evidenciando una falta de agua a mayor profundidad (mayor a 60 cm).

Por esta razón, el día 5 de febrero de 2003, se repuso el doble de la lámina de agua registrada por la estación meteorológica. Esto permitió que las tensiones volvieran a rangos normales para el cultivo del palto. Respecto a esto último, GARDIAZABAL

(2003)* señala que es necesario dar riegos extras si la frecuencia de riego no satisface los requerimientos del cultivo. Cuando sufren estrés de agua, los paltos presentan un menor crecimiento vegetativo, eliminan una cierta cantidad de hojas y estas son más pequeñas y posiblemente haya una poda y reacomodo de la cantidad de raíces presentes en los árboles. Estos son mecanismos de defensa de los árboles de palto ante posibles sequías.

4.3. Análisis de las temperaturas de suelo

Cuando se instalaron los termómetros a 15 cm de profundidad de suelo en junio de 2002, a un poco más de un mes del inicio del ensayo, estos registraban temperaturas entre 8 y 9 °C, estando muy por debajo de los niveles mínimos necesarios para un crecimiento radicular activo (CANTUARIAS, 1995; GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1991; HERNÁNDEZ, 1991; LAHAV y TROUCHOULIAS, 1981).

En los meses siguientes, las temperaturas fueron aumentando hasta alcanzar a mediados de octubre los 13 °C, como promedio semanal, que fue registrada en todos los tratamientos de riego, con diferencia de una semana (Figura 4).

En todos los tratamientos la temperatura de suelo se mantienen bajo 13°C hasta fines de octubre, por lo que antes de este período el desarrollo radicular debe haber sido escaso (WHILEY *et al.*, 1987). El aumento progresivo de la temperatura del suelo registrado en todos los tratamientos al avanzar la primavera y el efecto ejercido por la brotación y floración sobre la activación del sistema radicular, producen un aumento en la capacidad de absorción de agua de los árboles (WHILEY *et al.*, 1991).

* GARDIAZABAL, F. Ing Agr. 2003. Profesor Universidad Católica de Valparaíso. Comunicación Personal.

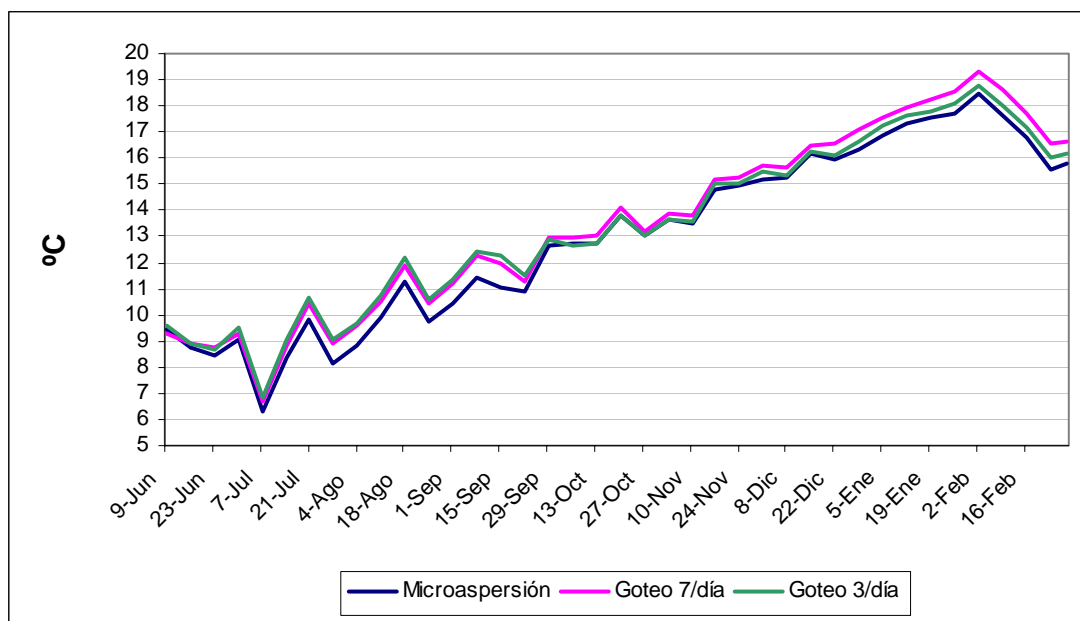


FIGURA 4. Temperatura de suelo medida a 15 cm de profundidad, para cada tratamiento de riego. Promedio semanal para el período 01.06.02 al 28.02.03.

Desde fines de septiembre, el tratamiento que recibe 7 riegos diarios registra mayores temperaturas y además estuvo con saturación de suelo en gran parte del período (Figura 2 y 3). Este hecho es ratificado por SEPASKHAH y BOERSMA (1979) quienes encontraron una relación entre el contenido de humedad y la conductividad térmica. Es decir, que a mayor contenido de humedad mayor será la conductividad térmica, por lo que se obtiene una mayor temperatura de suelo.

4.4. Análisis del crecimiento vegetativo:

En el crecimiento vegetativo, analizado a través de las curvas de crecimiento de ramillas, se puede observar un período de elongación de brotes, desde fines de septiembre hasta mediados de diciembre, concordante con la fenología del palto cv. Hass observado por TAPIA (1993) en la provincia de Quillota. Los valores de crecimiento vegetativo se presentan en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Evolución del crecimiento de ramillas de palto cv. Hass (cm). Registrada en cada tratamiento de riego. Predio La Invernada, período 01.10.02 al 31.12.02.

Tratamient.	1/10	8/10	15/10	22/10	29/10	5/11	12/11	19/11	26/11	3/12	10/12	17/12	27/12
Microasp.	1.74 a	2.63 a	4.21 a	6.83 a	8.96 a	11.05 b	12.03 b	12.74 b	12.97 b	13.08 b	13.15 b	13.17 b	13.17 b
Goteo 7 v/día	1,76 a	2,75 a	4,21 a	6,56 a	8,98 a	11,13 b	12,27 b	12,95 b	13,24 b	13,43 b	13,50 b	13,55 b	13,55 b
Goteo 3 v/día	1,83 a	2,92 a	4,45 a	7,45 a	10,87 a	13,97 a	15,55 a	16,62 a	16,98 a	17,21 a	17,30 a	17,30 a	17,30 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test de Duncan)
El análisis no es válido para mediciones entre fechas.

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza para cada fecha de medición, no detectándose diferencias significativas entre los crecimientos finales en longitud de ramillas en los diferentes tratamientos de riego, hasta el 29 de octubre. A partir del 5 de noviembre en adelante, se observan diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento de ramillas entre los tratamientos. El tratamiento regado por goteo con frecuencia de 3 pulsos por día tiene un mayor crecimiento que los regados con 7 pulsos por día y con microaspersión.

Este mayor crecimiento por parte del tratamiento de 3 riegos diarios se ve reflejado por los mejores resultados obtenidos en los tensiómetros (Figura 3), en el período de crecimiento de ramillas (octubre a diciembre). Lo anterior no ocurre en el tratamiento con 7 pulsos diarios, por la constante condición de saturación en las diferentes profundidades de suelo, y en el tratamiento con microaspersores por las variaciones en las tensiones ya antes descritas, y que llevaron a los resultados del Cuadro 5.

Con relación a esto último WOLSTENHOLME (1981) señala que un eventual efecto negativo sobre el sistema radicular afectaría al suministro de agua, minerales y reguladores de crecimiento, como las citoquininas, a la parte aérea. En respuesta a esto, el crecimiento vegetativo se detendría para desviar más fotosintatos al sistema radicular y favorecer con ello su desarrollo. Este comportamiento de retroalimentación es la base de la conducta cíclica del palto (PLOETZ *et al.*, 1991).

Altos contenidos de humedad en el suelo hasta los 80 cm, provocarían problemas metabólicos en el sistema radicular por falta de oxígeno, afectando al crecimiento y transporte de agua y minerales. Esto podría ser causa de una menor elaboración de citoquininas y/o mayor producción de ácido abscísico, y posterior transporte a la parte aérea (ZACARIAS y LAFUENTE, 2000). Según SLOWIK *et al.* (1979), los árboles de palto, sometidos a una baja concentración de oxígeno en el suelo, presentan un menor peso seco total de la planta.

En la Figura 5, se presentan en forma gráfica los resultados de crecimiento de ramillas, expresados como tasa de crecimiento diario para cada tratamiento. Aquí se puede observar que el tratamiento regado por goteo con 3 pulsos diarios tiene una mayor tasa de crecimiento que el resto de los tratamientos. El mayor crecimiento de ramillas observado en este tratamiento se aprecia desde mediados hasta fines de octubre, lo cual y junto a las condiciones de humedad en el suelo, reflejan un mayor desarrollo de los árboles regados con 3 pulsos diarios.

4.5. Análisis de la distribución de raíces:

La medición se realizó mensualmente entre diciembre de 2002 y febrero del 2003, período que coincide con el primer flush de crecimiento radicular en palto (TAPIA, 1993). En la Cuadro 6, se presenta el promedio de raíces encontradas por calicata en cada tratamiento durante el período de evaluación.

CUADRO 6. Número promedio de raíces de palto cv. Hass, en cada tratamiento de riego. La Invernada, diciembre 2002 – febrero 2003.

Tratamiento	Diciembre	Enero	Febrero
Microaspersión	532.0 a	532.0 a	546.0 a
Goteo 7 veces/día	371.0 a	429.3 a	479.3 a
Goteo 3 veces/día	343.3 a	411.3 a	470.3 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test de Duncan)
El análisis no es válido para mediciones entre fechas.

Como se observa en el Cuadro 6, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de raíces entre los tratamientos. Estos datos sirven sólo como referencia del estado de las raíces en los distintos tratamientos a nueve meses de haber comenzado el ensayo.

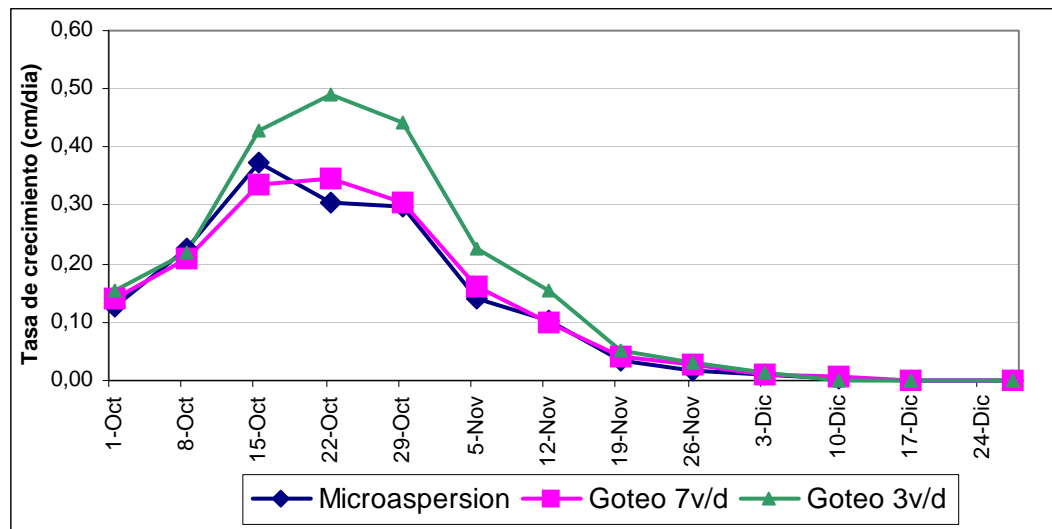


FIGURA 5. Tasa de crecimiento de ramillas de palto cv. Hass, para cada tratamiento de riego en estudio. La Invernada período del 1.10.02 al 27.12.02.

ADATO y LEVINSON (1988) señalan que pueden pasar dos años o más para obtener respuesta del sistema radicular de paltos influenciados por el tratamiento de riego. Además, agregan que el sistema de raíces se va adaptando gradualmente al cambio de microaspersor a goteo.

La Figura 6 muestra el número promedio de raíces por estrata, a distintas distancias de la hilera de plantación y distintas profundidades, evaluadas en cada tratamiento durante el período de medición.

En todos los tratamientos de riego evaluados, se puede observar que el número de raíces disminuye a mayor distancia desde del tronco. Estos resultados coinciden con lo encontrado por CANTUARIAS (1995) y VILLABLANCA (1994) con relación al sistema de riego por goteo y microaspersión en paltos, respectivamente.

En relación con el número promedio de raíces en profundidad (Figura 6), se observa un aumento en el número de raíces en las estratas más superficiales del suelo. Estos resultados también fueron encontrados por CANTUARIAS (1995) y VILLABLANCA (1994). Además, este último autor, a diferencia con este ensayo, no encontró raíces en la estrata 0.4-0.6 m en el riego por microaspersión y, en el lugar donde estaba presente el bulbo húmedo en el riego por goteo.

Analizando la aparición de raíces durante el período de medición (Figura 7), se observa una mayor tasa de aparición de raíces en los tratamientos regados por goteo en comparación con el tratamiento de microaspersión. Además este último, presenta valores constantes a distintas distancias del tronco y a diferentes profundidades, esto confirma el patrón de mojamiento observado en este tratamiento en el predio (Anexo 15).

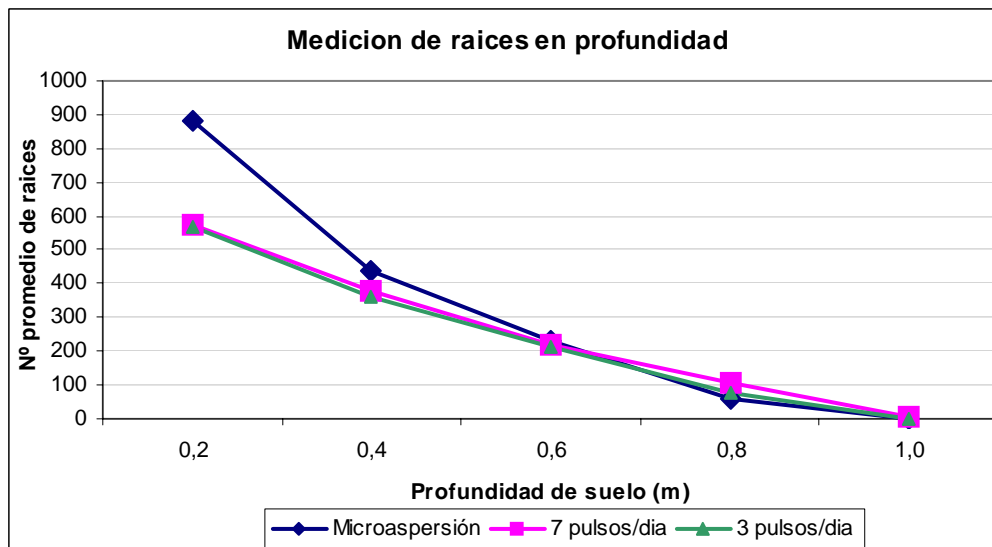
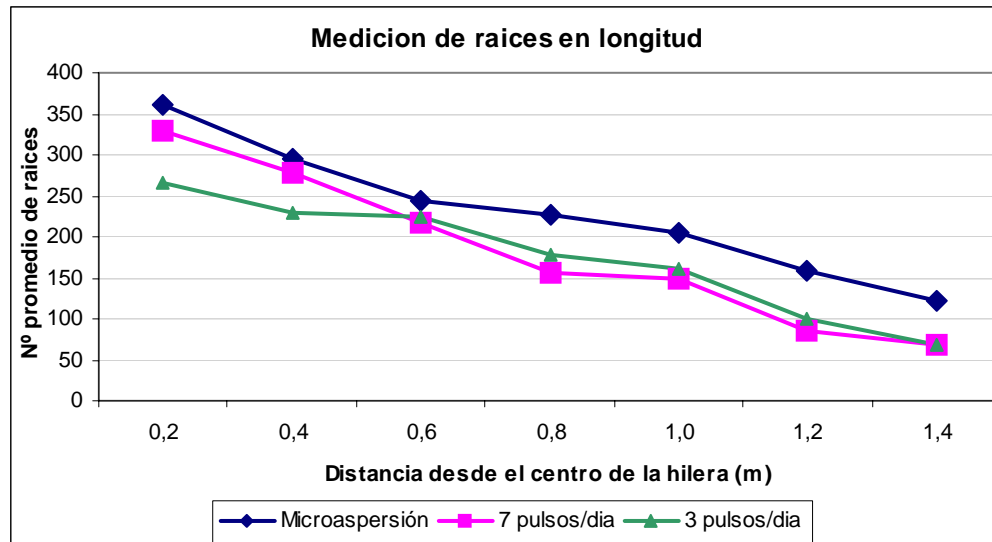


FIGURA 6. Número total de raíces de palto cv. Hass a distintas distancias de la hilera y distintas profundidades de suelo, para cada tratamiento de riego.

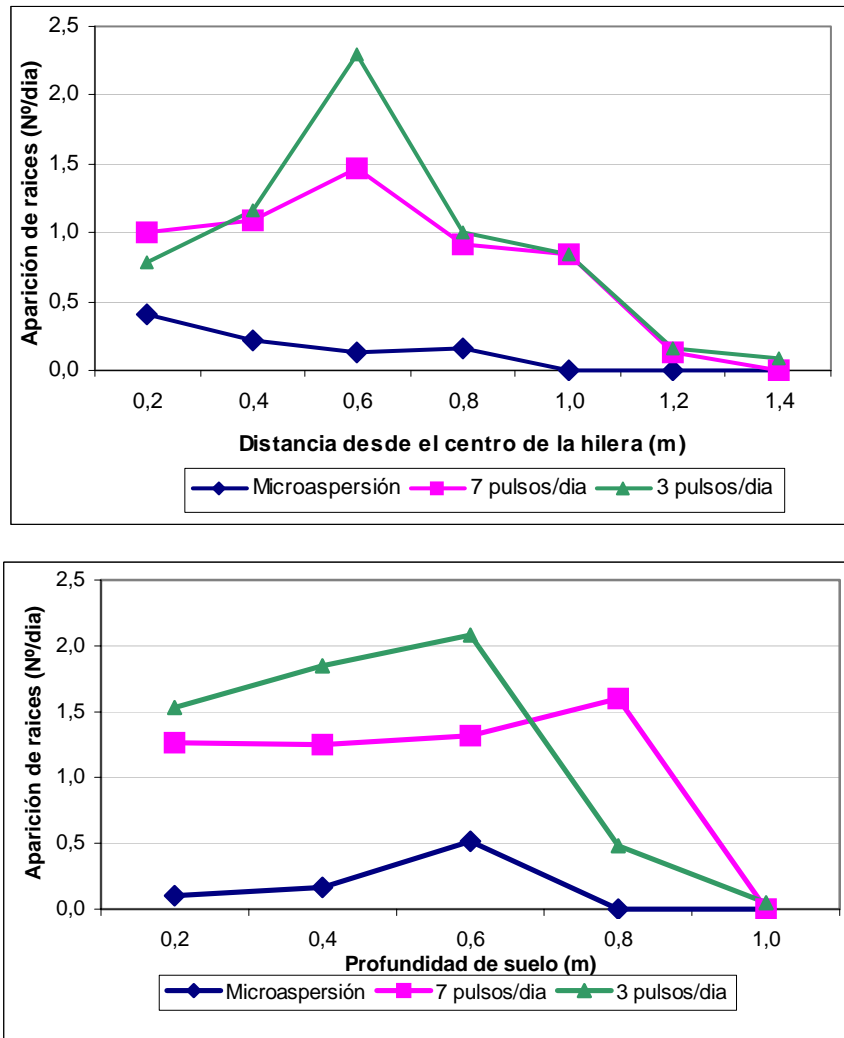


FIGURA 7. Tasa de aparición de raíces en palto cv. Hass a lo largo del período de medición para cada tratamiento de riego. La Invernada.

Los tratamientos regados por goteo presentan una mayor aparición de raíces a 0.4-0.6 m de profundidad, es decir, fuera del bulbo de mojamiento. Esto se debe a la mayor oxigenación del suelo presente en esa zona, este resultado es ratificado por el Anexo 15. Además, se puede observar que, aproximadamente, el 70% de las raíces en profundidad se concentran en los primeros 0.7 m, y a esta profundidad la tasa de aparición de raíces decrece en todos los tratamientos. Estos resultados confirman los obtenidos por KALMAR y LAHAV (1977), LEVINSON y ADATO (1991) y CANTUARIAS (1995).

En relación con los valores obtenidos a distintas distancias desde la hilera de plantación, la aparición de raíces tiene un aumento a los 0.6 m en goteo con 3 pulsos diarios y a los 0.8 m en goteo con 7 pulsos diarios. Los valores obtenidos podrían deberse a una mayor oxigenación en esa zona. Estos resultados son confirmados por CANTUARIAS (1995), quien encontró un mayor aparición de raíces en esta zona.

4.6. Análisis del perímetro de tronco:

La Figura 8 muestra el crecimiento del perímetro del tronco, medidos en cada tratamiento y expresados como variación porcentual entre dos fechas de evaluación (29 de mayo y 26 de noviembre de 2002).

Al analizar los resultados obtenidos, no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos. Esto puede deberse al período de adaptación de los árboles a la modificación del sistema de riego. En el Anexo 16, se muestran los valores de perímetro de tronco, en detalle.

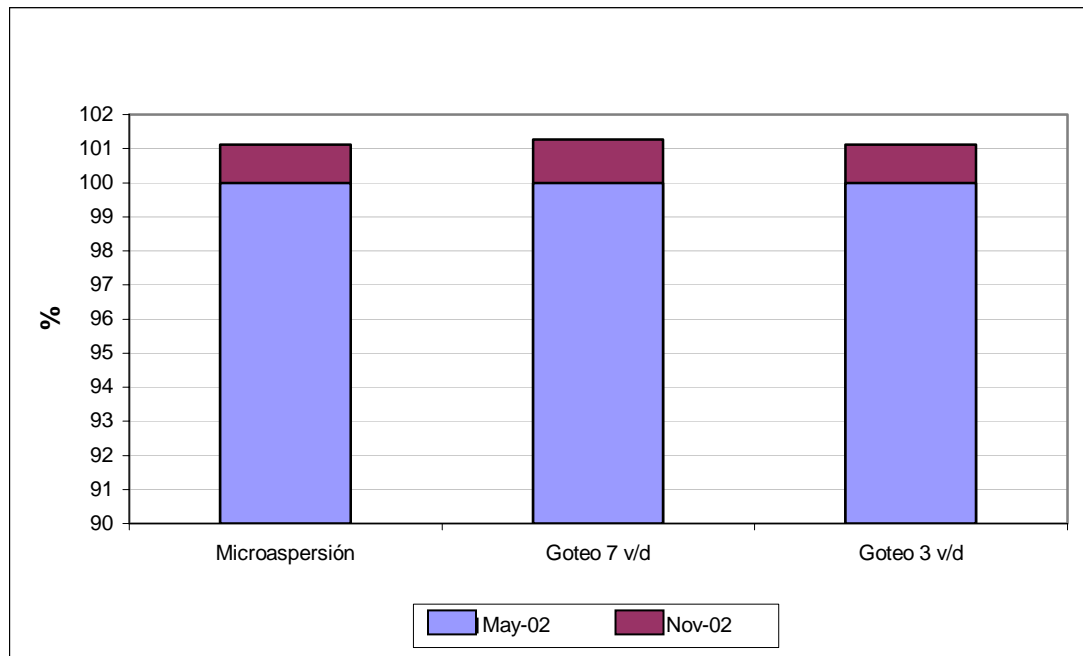


FIGURA 8. Variación porcentual del perímetro de tronco en palto para cada tratamiento de riego, en el período mayo-noviembre. Predio La Invernada, Nogales.

4.7. Análisis de los registros de potencial hídrico de las hojas:

La medición de potencial hídrico de las hojas se realizó en febrero, época que coincide con el término del primer flush de crecimiento radicular para la zona de Quillota (TAPIA, 1993), por lo que los resultados obtenidos estarían influenciados por la frecuencia y sistema de riego aplicados.

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, estas muestran que el regado por goteo con 7 pulsos diarios presenta los menores valores de potencial hídrico de las hojas, indicando que los árboles de este tratamiento tienen el peor estado hídrico. El análisis por día de medición se presenta en el Cuadro 7.

CUADRO 7. Registros del potencial hídricos de la hoja (bar) de palto para cada tratamiento de riego. En el período 11.02.03 al 28.02.03.

Fecha	Microaspersión	Goteo 7/día	Goteo 3/día
10Feb	5,01 b	8,05 a	5,01 b
11Feb	9,62 b	10,69 a	8,65 c
12Feb	11,26 b	12,73 a	9,31 c
13Feb	8,20 b	12,30 a	8,77 b
14Feb	4,47 a	4,31 a	4,27 a
17Feb	11,51 a	12,55 a	9,89 b
18Feb	12,05 a	12,57 a	12,69 a
19Feb	9,35 b	12,11 a	9,55 b
20Feb	4,98 c	13,30 a	10,70 b
21Feb	9,43 b	12,77 a	9,69 b
24Feb	9,46 b	11,98 a	9,13 b
25Feb	10,39 b	11,62 a	8,11 c
26Feb	10,33 b	11,68 a	9,45 c
27Feb	9,86 b	11,85 a	9,45 b
28Feb	9,30 b	11,70 a	9,32 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test de Duncan)
El análisis no es válido para mediciones entre fechas.

Se puede observar que los tratamientos regados por goteo presentan valores homogéneos a lo largo del período de medición. Esto se debería al aporte hídrico diario que reciben estos tratamientos. Como ya se señaló anteriormente, el tratamiento de 7 pulsos diarios muestra los mayores potenciales hídricos en las hojas en comparación con el resto de los tratamientos. En más de la mitad del período, se encontraron valores promedios superiores a 12 bar, esto indicaría una situación de estrés generalizado a medio día, debido a que entre 12 a 15 bar en paltos se produce cierre estomático (STERNE, KAUFMANN y ZENTMEYER, 1977).

La situación de estrés que evidencia el tratamiento de 7 pulsos diarios es corroborada por los registros de tensiómetros (Figura 2 y 3), los cuales muestran una condición de saturación durante todo el período de medición.

El estado hídrico en la planta está estrechamente relacionado con el día de riego y, en segundo lugar, con los factores ambientales (SHACKEL, 2000; HSIAO, 1990). Esto sucede en el tratamiento por microaspersión, como muestra la Figura 10. Después de cada riego (indicado por una flecha) los potenciales decrecen y se acercan a cero, lo que refleja un mejor estado hídrico en la planta.

Por otro lado, en la Figura 9 se presenta también la curva de la evapotranspiración potencial (ET_o) para el período de medición. La evolución de la ET_o muestra una estrecha relación con los registros de potencial hídrico de la hoja y corrobora la dependencia entre esta variable y los factores climáticos.

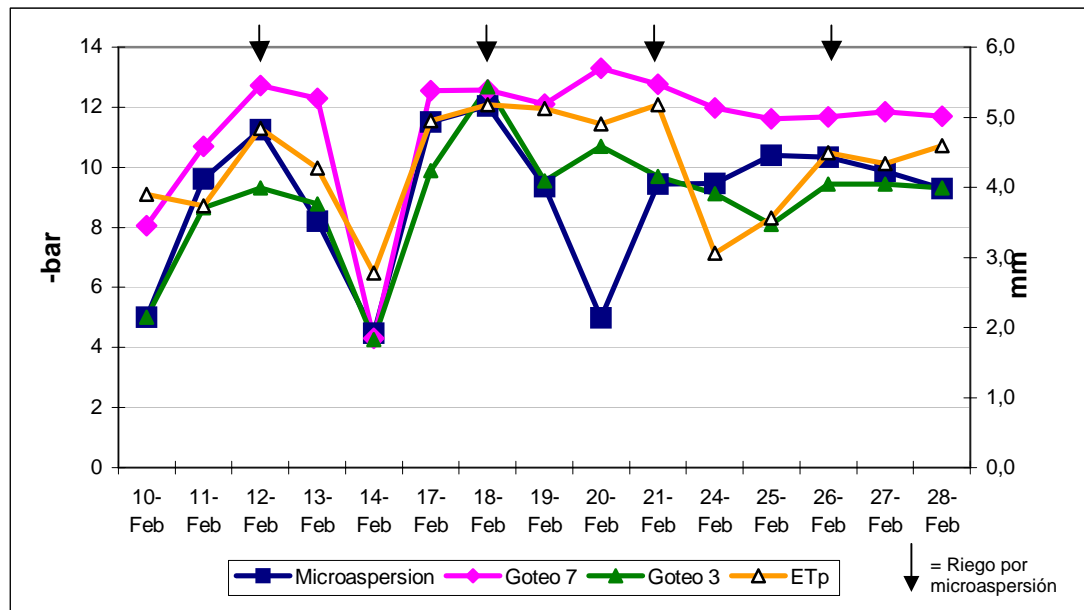


FIGURA 9. Registros de potencial hídrico en hojas de palto cv. Hass para cada tratamiento. La Invernada, febrero de 2002.

5. CONCLUSIONES

En el primer año de evaluación del ensayo, no se encontraron diferencias entre el tratamiento regado por microaspersión y el sistema de riego por pulsos.

Además, se puede determinar que la distribución de raíces no es alterada por el sistema de riego por pulsos en relación al riego por microaspersión.

El mayor crecimiento final de brotes se encuentra en el tratamiento de riego con 3 pulsos diarios comparado con los tratamientos de goteo de 7 pulsos diarios y microaspersión.

En relación con el potencial hídrico de la hoja, se encontró que el tratamiento de riego por goteo con 7 pulsos diarios obtuvo el menor estado hídrico en comparación con los tratamiento de goteo con 3 riegos diarios y microaspersión.

6. RESUMEN

Entre abril de 2002 y febrero de 2003, se realizó un ensayo con el objetivo de evaluar el sistema de riego por pulsos en palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass y, con esto, mejorar la eficiencia en el uso de la energía de la planta y los recursos de agua, con el fin de lograr incrementos en la producción.

Este trabajo se llevó a cabo en el predio La Invernada, ubicado en Nogales, Provincia y Comuna de Quillota, V Región (32°50' sur y 71°13' oeste). Se utilizaron 2.0 ha de árboles adultos de paltos cv. Hass, en estado de alta producción, con un marco de plantación de 6 x 6 m sobre camellones con un 5 % de pendiente.

El sector en estudio se dividió en 3 tratamientos, los cuales fueron goteo con 7 pulsos diarios y 3 pulsos diarios, y la frecuencia tradicional utilizada de 23 y 14 mm de evaporación de bandeja, para el riego por microaspersión. Cada uno de ellos con 3 repeticiones.

La respuesta de los árboles fue determinada evaluando el parámetro aéreo vegetativo de longitud de brotes. A nivel radicular se realizó un seguimiento de la distribución y densidad de raíces a través de calicatas confeccionadas en cada uno de los tratamientos, además de un análisis indirecto por medio de tensiómetros a 20, 40 y 80 cm de profundidad.

La temperatura de suelo se midió a 15 cm. La evapotranspiración potencial fue determinada a través de una estación meteorológica en el lugar de la investigación por medio de la ecuación de Penman Monteith, con el apoyo de una bandeja evaporimétrica.

Además, se midió el potencial hídrico de la hoja a través de una cámara de presión.

Los resultados obtenidos para la longitud final de brotes registraron un mayor crecimiento en el tratamiento de riego por goteo con 3 pulsos diarios. A nivel radical, no se detectó diferencias entre tratamientos, además, se encuentra que la totalidad de las raíces observadas están en los primeros 80 cm de profundidad.

En el potencial hídrico de la hoja, se encuentra efecto de los tratamientos de riego, siendo el regado por goteo con 7 pulsos diario el de menor estado hídrico.

7. LITERATURA CITADA

- ADATO, I. and LEVINSON, B. 1988. Influence of daily intermittent drip irrigation on avocado (cv Fuerte) fruit yield and trunk growth. *Journal of Horticultural Science* 63(4): 675-685.
- BORST, G. 1984. Reduce water use, improve efficiency. *Avocado Grower* (8)8: 30-31.
- BOSMAN, H.H. 1987. The influence of installation practice on evaporation from Symon's tank and American class A pan evaporimeters. *Agricultural and Forest Meteorology* 41: 307-323.
- BOZZOLO, E. 1993. Aproximación a la determinación de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de Quillota, V región. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 78 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC INC, 1998. Weather watch 2000, Evaporation monitoring system. Logan, USA. Campbell Scientific Inc. 41 p.
- CANTUARIAS, T. 1995. Transpiration rate and water status of a mature avocado orchard as related to wetted soil volume. Tesis Master of Science. Jerusalem, Hebrew University of Jerusalem. 94 p.
- CARDEMIL, G. 1999. Aproximación a los requerimientos hídricos del palto (*Persea americana* Mill) cv Hass, para la provincia de Quillota. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 154 p.
- CARRASCO, O. 1996. Optimización del riego y manejo del agua. In: Razeto y Fichet. Cultivo del palto y perspectivas de mercado. Santiago, Chile. Universidad de Chile. pp. 53-60.
- CHAIKIATTIYOS, S., MENZEL, C.M. and RASMUSSEN, T.S. 1994. Floral induction in tropical trees: Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science* 69(3): 397-415.

- CHIEW, F., KAMALADASA, N., MALANO, H. and M^C MAHON, T. 1995. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class A pan data in Australia. *Agricultural Water Management* 28: 9-21.
- COFFEY, M.D. 1991. Cause and diagnosis; Avocado root rot. *California Grower* 15(17): 22-23.
- CROCKER, T., BELL, W. and BARTHOLIC, J. 1974. Scholander pressure bomb technique to assess the relative leaf water stress of "Orlando" tangelo scion as influenced by various citrus rootstocks. *Hortscience* 9(5): 453-455.
- DE FINA, A. 1985. *Climatología y fenología agrícolas*. Buenos Aires. Argentina. Universitarias de Buenos Aires. 351 p.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. 1986. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma. Italia. FAO 190. (Estudio FAO de riego y drenaje N° 24).
- DU PLESSIS, S.F. 1991. Factors important for optimal scheduling of avocados orchards. *South African Avocado Grower's Association Yearbook* 14: 91-93.
- ESCOBAR, J. y CRISTOFFANINI, L. 1997. Manejo de riego en paltos. *Empresa y Avance Agrícola* N° 51. pp 14-16.
- FELDHAKKE, C.M. and BOYER, D.G. 1986. Effect of soil temperature on evapotranspiration by C3 and C4 grasses. *Agricultural and Forest Meteorology* 37: 309-318.
- FERREYRA, R y SELLES, G. 2000. Riego. In: Soquimich. *Agenda del Salitre*. 1500 p.
- FOOD AND Agriculture organization of the United Nations. 1998. In: Allen, R., Pereira, L., Raes, D., and Smith, M. eds. *Crop Evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper* 56.
- GARDIAZÁBAL, F. y ROSENBERG, G. 1991. *Cultivo del palto*. Quillota. Chile. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 201 p.

- _____. 1998. Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos. In: Soc. Gardiazabal y Magdahl. Seminario Internacional de Paltos. Viña del Mar, 4, 5 y 6 de Noviembre. pp. 17-38.
- GONZÁLEZ, J. 1996. Efecto de diferentes pulsaciones de riego en sistema sin suelo, sustrato compost en el cultivo de tomate bajo invernadero frío. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 88 p.
- GREGORIOU, C. and KUMAR, D.R. 1982. Some aspects of shoot and root growth of avocado under lowland tropical conditions. California Avocado Society Yearbook 66: 127-144.
- GUROVICH, L. 1998. Programación del riego para plantaciones frutícolas y viñedos con estaciones meteorológicas. In: Gurovich, L. Seminario taller de manejo óptimo del riego con estaciones meteorológicas. Santiago. Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. 27 de mayo.
- GUSTAFSON, C.D. 1976. Avocado water relations. California Avocado Society Yearbooks 60: 57-72.
- _____, MARSH, A., BRANSON, R. and DAVIS, S. 1979. Drip irrigation on avocado (six year summary of project). California Avocado Society Yearbooks vol 63. pp 95-134.
- HERNANDEZ, F. 1991. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv Hass, para la zona de Quillota, V Región. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 99 p.
- HONORATO, R. 2000. Manual de edafología. Santiago, Chile. Universitaria. 234 p.
- HOWELL, T., PHENEM, C. and MEEK, D. 1983. Evaporation from screened class A pans in a semi-arid climate. Agricultural and Forest Meteorology 29: 111-124.
- HSIAO, T. 1990. Fisiología general, estrés de agua y dinámicas de crecimiento y rendimiento de las plantas cultivables, Técnicas de medición del estado dinámico en la planta. In: Curso internacional manejo de agua en frutales. Universidad de Concepción. Chillan, 3-6 de enero. pp 1-102.

- KALMAR, D. and LAHAV, E. 1977. Water requirement of avocado in Israel 1: tree and soil parameters. *Aust J Agric Res* 28: 859-868.
- LAHAV, E. and KALMAR, D. 1983. Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. *Australian Journal Agriculture Research* 34: 717-724.
- _____ and TROCHOULIAS, D. 1981. The effect of temperature on growth and dry matter production on avocado plants (In Hebrew). *Alon Hanoteah* 3:1-8.
- LEVINSON, B. and ADATO, I. 1991. Influence of reduced rates of water and fertilizer application using daily intermittent drip irrigation on the water requirement, root development and responses of avocado trees (cv Fuerte). *Journal of Horticultural Science* 66(4): 449-463.
- LOVATT, C.J., 1987. Stress. *California Avocado Society Yearbook* 71: 251-255.
- _____, 1990. Factors affecting fruit set / early fruit drop in avocado. *California Avocado Society Yearbook* 74: 194-199.
- LUKE, G., MOORHEAD, S., CALDER, T., BURKE, K. and DEYL, R. 1995. Irrigation management on avocados on sandy soils in western Australia. Department of agriculture. Conference "The Way Ahead". *Western Australian*, april 1995. pp. 79-86.
- LYMAN, B. 1982. Irrigation analysis: Water: how much, how little, how many time?. *Avocado Grower* 6(6): 28-33.
- NOVOA, R., VILLASECA, R., DEL CANTO, P., ROANET, J., SIERRA, C. y DEL POZO, A. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Santiago. Chile. INIA. 221 p.
- OLALLA, L. 1991. El riego del aguacate en el litoral oriental Andaluz. In: *Jornadas de la Asociación de Productores de Frutos Subtropicales*. Almuñecar. España. pp 67-91.
- OSIADACZ, M. 1994. Caracterización del sistema radical del chirimoyo (*Annona cherimola* Mill) y aproximación al patrón de distribución y consumo de agua, bajo los sistemas de riego por microaspersión y goteo. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 100 p.

- PLOETZ, R., RAMOS, J., PARRADO, J. and SHEPARD, E. 1991. Shoot and root grown cycles of avocado in South Florida. Proc. Fla. State Hort. Soc. 104: 21-24.
- RAZETO, B. 1999. Para entender la fruticultura. 373 p.
- RODRIGO, J. 1992. Riego localizado. Madrid, Mundi Prensa. 405 p.
- RODRÍGUEZ, S. 1982. El aguacate. AGT editor. Buenos Aires, Argentina. 152 p.
- SALGADO, E. 1991. Manejo del riego. Curso internacional de producción, postcosecha y comercialización de paltas. Viña del Mar. Chile. 2-5 de octubre de 1990. pp. 11-116.
- _____. 1997. Apuntes de relación suelo agua planta. Universidad Católica de Valparaíso. 115 p.
- SALISBURY, F. y ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Ed Iberoamericana. 759 p.
- SÁNCHEZ-DIAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2000. Transporte de agua y balance hídrico en la planta. In: Azcon-Bieto, J. y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. España. pp 45-64.
- SELLES, G., FERREYRA, R y MALDONADO, P. 2002. Cuando la planta lo pide. Revista del Campo N° 1363 pp A4-A5
- SEPASKHAH, A. and BOERSMA, L. 1979. Thermal conductivity of soils as a function of temperature and water content. Soil Sci Soc Am J 43: 439-444.
- SHACKEL, K. 2000. Using the pressure chamber to monitor and manage irrigation in prunes. Fruit nut research information center. Crop Information <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/prune-pressure.html>.
- SHACKEL, K. 2001. The pressure chamber, a.k.a. "The bomb". Fruit nut research information center. Crop Information <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure-chambers.html>

- SLOWIK, K., LABANAUSKA, C., STOLZY, L. and ZENTMYER, G. 1979. Influence of rootstock, soil moisture on the uptake and traslocation of nutrients in young avocado plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 172-175.
- STERNE, R., KAUFMANN, M. and ZENTMYER, G. 1977. Environmental effects on transpiration and leaf water potential in avocado. *Physiologia Plantarum* 41: 1-6.
- TAPIA, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv Hass, para la zona de Quillota, V Región. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 135 p.
- TOUMEY, J. 1984a. New irrigation methods dictate new rules for fertilizer programs. *Avocado Grower* 8(1): 12-14.
- _____. 1984b. Efficiency is the key: Researchers find that some mature trees may require 25-40 percent less water. *Avocado Grower* 6(6): 28-33.
- UGARTE, M. 1996. Efecto del método de riego sobre el crecimiento y distribución de raíces en palto (*Persea americana* Mill) cv Hass en un suelo franco arcilloso. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 33 p.
- VILLABLANCA, I. 1994. Estudio comparativo de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (*Persea americana* Mill) cv Hass, en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión). Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 108 p.
- WHILEY, A.W., CHAPMAN, K.R. and SARANAH, J.B. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* Mill cv Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research* 39:457-467.
- WHILEY, A.W., SARANAH, J.B., CULL, B.W. and PEGG, K.G. 1988. Menage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agriculture Journal* 114:29-36.
- _____. 1991. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. In: Curso Internacional de producción, postcosecha y comercialización de paltas. 2-5 de octubre de 1990. pp. E1-E25.

WOLSTENHOLME, B. 1981. Root, shoot or fruit?. South African Avocado Grower's Association Yearbook 4: 27-29.

YURGALEVITCH, C., TENNY, L. and ULMER, D. 1995. Taking the pulse of irrigation. Irrigation Journal 45(2): 22-24.

ZACARIAS, L. y LAFUENTE, M. 2000. Etileno, ácido abscísico y otros reguladores del desarrollo. In: Azcon-Bieto, J. y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. España. pp 361-375.

ZUR, B. 1976. The pulsed irrigation principles for controlled soil wetting. Soil Science 122(5): 282-291.