

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA FRUTICULTURA

TALLER DE LICENCIATURA

**APROXIMACIÓN A LOS REQUERIMIENTOS
HÍDRICOS DEL PALTO (*Persea americana* Mill) cv.
HASS, PARA LA PROVINCIA DE QUILLOTA.**

GUSTAVO MARCOS CARDEMIL KATUNARIC

QUILLOTA-CHILE

1999

ÍNDICE DE MATERIAS

1. INTRODUCCIÓN
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
 - 2.1. Aspectos generales
 - 2.2. Características generales del árbol
 - 2.2.1. Sistema radicular
 - 2.2.2. Sistema vegetativo
 - 2.2.3. Sistema reproductivo
 - 2.2.4. Efectos del riego
 - 2.2.5. Coeficientes de cultivo
 - 2.3. Evapotranspiración
 - 2.3.1. Penman-Monteith
 - 2.3.2. Bandeja evaporimétrica
 - 2.4. Registros de humedad de suelo
 - 2.4.1. Sonda de neutrones
 - 2.4.1.1. Teoría 25
 - 2.4.1.2. Radioactividad
 - 2.4.1.3. Seguridad
 - 2.4.2. Tensiómetros
 - 2.5. Temperaturas de suelo
3. MATERIAL Y MÉTODO
 - 3.1. Ubicación
 - 3.2. Características del sector en estudio
 - 3.2.1. Clima
 - 3.2.2. Suelo
 - 3.2.3. Agua
 - 3.3. Material Experimental e Infraestructura
 - 3.3.1. Los árboles
 - 3.3.2. El sistema de riego
 - 3.3.3. Equipos de registro

- 3.3.3.1. Estación meteorológica
- 3.3.3.2. Aspersion de neutrones
- 3.3.3.3. Tensiómetros
- 3.3.3.4. Bandeja Evaporimétrica

3.4 Metodología de trabajo

- 3.4.1. Planificación del riego
- 3.4.2. Determinación de la absorción radicular
- 3.4.3. Determinación del coeficiente de cultivo
- 3.4.4. Temperatura de suelo

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Análisis de los registros climatológicos
- 4.2. Análisis de los registros de humedad de suelo
 - 4.2.1. Sonda de neutrones
 - 4.2.2. Tensiómetros
- 4.3. Análisis de la absorción radicular
- 4.4. Análisis de los coeficientes de cultivo
- 4.5. Análisis del crecimiento vegetativo
- 4.6. Análisis de los registros de temperatura de suelo
- 4.7. Análisis de los volúmenes de riego

5. CONCLUSIONES

6. RESUMEN

7. LITERATURA CITADA

(ANEXOS)

1. INTRODUCCIÓN

Tanto a nivel mundial como en Chile, la superficie plantada con paltos sigue aumentando cada año. Según el Censo Agrícola de 1997, la superficie total de paltos en producción en Chile corresponde a 11.107 ha, con 5.812 en formación. Ante esta realidad, se puede prever que la producción irá en aumento a una tasa mayor que la demanda. Ello implicaría a los productores retornos económicos cada vez menores, lo que los obligaría a ser cada vez más eficientes. Para mantener la rentabilidad, el productor deberá disminuir sus costos de producción o bien aumentarla. Sin embargo, el cómo aumentar o solamente mantener la producción del palto, es aún tema de múltiples investigaciones en los países productores.

Según CARRASCO (1996), los altos rendimientos sólo se logran si a nivel de los factores no controlables se tiene el menor número posible de limitaciones. Por lo tanto, el manejo de los factores controlables tendrá el mayor impacto productivo, entre los cuales, se encuentra el riego. Sin embargo, la ineficiencia del riego es causa, entre otros, del desconocimiento real de las necesidades hídricas sobre el rendimiento, particularmente en el caso del palto, especie muy sensible, tanto al déficit como al exceso de agua. Por su parte, el manejo del riego en los huertos de paltos es responsable directo del crecimiento y desarrollo de los árboles, como de la productividad y calidad de la fruta cosechada.

Es así como MEYER *et al.* (1990) obtuvieron con un 120% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) aumentos en la cosecha acumulada de dos años en comparación a otros porcentajes de ETc. De igual forma, LAHAV, STEINHARD y KALMAR (1992), con un

120% de un volumen sugerido como estándar en su zona de estudio obtuvieron mayor crecimiento del tronco, mayor crecimiento vegetativo y mayores cosechas. A su vez, FRANGÍS (1997) señala que con un 130% de ETc aplicado una vez por semana en suelos delgados con buen drenaje, se obtiene un 50% de aumento de la producción acumulada, con respecto a tratamientos de 90, 100 y 110% de ETc, ya sea regados dos veces por semana o todos los días.

Con respecto a las tasas de evaporación para paltos, múltiples han sido las propuestas, dependiendo de la localización y época del año. Es así como LAHAV y KALMAR (1977) obtuvieron valores de coeficiente de cultivo (Kc) de 0.06 a 0.92, ADATO y LEVINSON (1988) de 0.46 a 0.64, MEYER *et al.* (1990) de 0.35 a 0.55, y LAHAV y KALMAR (1992) de 0.39 a 0.54. En Chile, y específicamente para la provincia de Quillota, BOZZOLO (1993) intenta una primera aproximación a los requerimientos hídricos del palto cv. Hass en base al análisis de registros de riego y datos meteorológicos, obteniendo valores supeditados a las condiciones particulares de cada sector en estudio, imposibilitando la determinación de valores confiables.

Por otro lado, se suele estimar que el clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos (DOORENBOS y PRUITT, 1986). En los años 60, la organización meteorológica mundial (WMO) intentó recopilar y estandarizar la gran cantidad de información referente al tema que todavía estaba en plena evolución (GANGOPADHYAYA *et al.*, 1966); luego, en la década del 70, FAO desarrolló procedimientos prácticos para estimar los requerimientos hídricos de

los cultivos, que fueron ampliamente aceptados como estándares, en particular, para estudios sobre riego. Desde aquella publicación, conocida como FAO-N°24, nuevos conceptos y avances en investigaciones y tecnología han revelado defectos de algunas metodologías haciéndose necesaria su revisión y adaptación (SMITH, 1992).

En la actualidad, recientes avances tecnológicos han permitido tener sistemas de monitoreo de factores climáticos y humedad de suelo considerablemente exactos. La introducción de estas tecnologías en el manejo predial abren nuevas perspectivas en precisión del manejo del riego, las cuales traen múltiples beneficios para el productor, como mejores cosechas tanto en calidad como en cantidad, reducción de sobrerriegos y agua drenada.

Luego, en atención a que los requerimientos hídricos del palto (*Persea americana* Mill) no están establecidos en Chile y en especial en la provincia de Quillota, principal zona productora del país, y a la disponibilidad actual de instrumentos y metodologías de medición que permiten un adecuado control de variables climáticas y edáficas, se realiza el presente ensayo bajo la hipótesis de que distintas láminas y frecuencias de riego con un sistema de riego por microaspersión, generarán diferentes efectos sobre la parte aérea y/o radicular del palto, a partir de los cuales se pueden establecer pautas para realizar una aproximación a las necesidades hídricas; y con ello, junto a posteriores estudios, sentar las bases para determinar los volúmenes de agua anuales por hectárea y las frecuencias de los riegos que logren maximizar la producción de esta especie frutal.

En consecuencia, los objetivos del presente ensayo son:

- Realizar una aproximación a los reales requerimientos hídricos del palto para la provincia de Quillota, principal zona productora de Chile, estimando sus coeficientes de cultivo y volúmenes de agua anuales requeridos por hectárea.
- Determinar el modelo de absorción radicular de agua del palto, de manera de planificar correctamente los riegos.
- Determinar el efecto de diferentes volúmenes y frecuencias de riego sobre el desarrollo vegetativo.
- Establecer una relación entre la temperatura del suelo a 15 cm con distintos tratamientos de riego.
- Revisar la validez y correcto funcionamiento de algunos implementos de riego utilizados actualmente en paltos como es la bandeja evaporimétrica clase A y los tensiómetros, mediante la determinación de relaciones con la evapotranspiración potencial entregada por el método de Penman-Monteith y las lecturas de una sonda de neutrones, respectivamente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos generales:

Determinar los requerimientos hídricos del palto equivale a responder cuánto y cuándo regar. Para responder a esta interrogante es necesario, en una primera instancia, entender la función del agua en las plantas y sobre sus cosechas.

En la mayoría de las plantas, especialmente aquellas con fines hortícolas, se debe mantener un adecuado suministro hídrico para obtener máximas producciones. Las funciones del agua en las plantas que desencadenan tal comportamiento son diversas. El agua cumple un papel ecológico, distribuyendo la vida sobre la tierra en base a su presencia. Esta importancia ecológica del agua se debe a su importancia fisiológica, afectando procesos y condiciones internas de las plantas. El agua actúa en las plantas como disolvente, reactivo, participando en la división y ensanchamiento celular y, permitiendo el movimiento en las plantas. Además, es el constituyente principal del protoplasma (KRAMER, 1974), por lo que su participación en la composición de las cosechas es una resultante importante. Gran parte de los frutos están mayoritariamente compuestos por agua, y de ahí la necesidad de maximizar su contenido sin alterar la calidad del producto. Muchas veces uno de los factores de calidad de la fruta es su textura, la cual es dependiente, entre otras cosas, de la estructura del tejido, paredes celulares y presión de turgor (JONES y TARDIEU, 1998).

También provee el medio para el transporte a larga distancia, desde las raíces hasta las hojas, de nutrientes y reguladores de crecimiento, tanto en el xilema como en el floema. La transpiración, con el efecto termorregulador del agua es sin duda el principal factor que permite el desarrollo de cultivos en zonas de altas temperaturas, evitando que la canopia alcance temperaturas incompatibles con la vida vegetal. Del agua absorbida por la planta un 99% se pierde por el anterior proceso, quedando sólo alrededor de un 1% para los otros procesos fisiológicos de la planta.

La cantidad de agua requerida para satisfacer la transpiración depende de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y las características particulares de las plantas como son el tamaño, la edad, los niveles de producción y la estructura y distribución de las raíces (SALGADO, 1991).

2.2. Características generales del árbol:

2.2.1. Sistema radicular

La absorción de agua y minerales a menudo se supone que ocurre exclusivamente por la parte más joven del sistema radicular (ápices y pelos radiculares). Sin embargo, la absorción por las raíces blancas y leñosas es similar en base al área superficial, pero más alta en las raíces blancas en base a volumen (SILVA y RODRÍGUEZ, 1995). Ambos tipos de raíces translocan una proporción similar de materiales y absorben similares cantidades de agua. En el engramamiento de las raíces, los tejidos externos del periciclo degeneran y el diámetro de las

raíces aumenta debido a la producción de felógeno (corteza) y de xilema (madera). La absorción de las raíces leñosas puede deberse a la presencia de lesiones. La incapacidad del felógeno para actuar como una barrera al movimiento del agua y a los nutrientes en las raíces leñosas, puede estar relacionado con la deposición de la suberina en el interior de las paredes celulósicas, en lugar de estar entre la pared celulósica, como en el caso de la banda de Caspari. Así, la absorción de agua y nutrientes, aunque es significativamente menor en las raíces leñosas, representa un valor importante de la absorción total de las raíces (SILVA y RODRÍGUEZ, 1995), lo que explica la absorción de considerables volúmenes de agua en cultivos perennes en los meses de invierno, cuando la temperatura del suelo es desfavorable para el crecimiento radicular, o en condiciones de suelo seco, condición que a su vez genera muy pocas o ninguna raíz nueva sin suberificar (KRAMER, 1974).

El sistema radicular del palto es imperfecto en cuanto a absorción de agua. Ubicado a escasa profundidad de la superficie del suelo, generalmente entre 15 y 30 cm, se divide bajo condiciones adecuadas de crecimiento en ramificaciones, las cuales van asumiendo posiciones laterales. Estas laterales primarias se dividen en su mayoría bifurcándose en laterales secundarias, las cuales, a su vez, se vuelven a dividir, pero en ángulos más abiertos. Este sistema de ramificación desarrolla gran abundancia de raicillas. El color de las nuevas raíces activas es blanco (GREGORIOU, 1980).

Según WHILEY (1990), el palto presenta una estructura radicular superficial, extensamente suberizada, relativamente ineficiente en la absorción de agua, baja conductividad hidráulica y baja frecuencia de pelos radiculares, lo cual puede producir una variación diurna excesiva en

el contenido de agua del árbol, debido a que la pérdida por transpiración no logra ser satisfecha en su totalidad, lo que puede tener como consecuencia una pérdida de frutos durante las etapas críticas del desarrollo como la floración. En esta etapa aumenta el área superficial efectiva que contribuye a la pérdida de agua por parte del árbol, factor que se une a un mayor estrés ambiental impuesto durante la primavera.

SHALHEVET *et al.* (1981) citados por BOZZOLO (1993), establecieron que los paltos absorben el 95% del agua en los primeros 60 cm en texturas finas. HERNÁNDEZ (1991) encontró que bajo las condiciones de Quillota el 80% de la población de raíces se distribuía dentro de los 30 primeros centímetros de profundidad bajo el sistema de microaspersión. Según UGARTE (1996), bajo los sistemas de riego de microaspersión y goteo, la densidad de raíces absorbentes medidas en árboles en la zona de Quillota, en un suelo franco arcilloso, es mayor entre los 25 a 75 cm de profundidad. La máxima concentración de raíces se encuentra entre los 25 a 50 cm de profundidad y, entre los 130 a 150 cm desde el tronco, en todas las orientaciones cardinales, excepto norte y sur. Además encontró, tanto en riego por microaspersión como por goteo, crecimiento de raíces bajo los 75 cm de profundidad.

Debido a la mayor distribución superficial de las raíces absorbentes por debajo de la cubierta de hojas, se sugiere que el sistema de riego usado debiera cubrir entre un 50 y 70% de la superficie de la proyección de la canopia (KURTZ, GUIL y KLEIN, 1991). De igual forma CANTUARIAS (1995) observó efectos positivos sobre el estatus hídrico del palto durante períodos de alta demanda evapotranspirativa al ampliar la zona humedecida del suelo de un 25% a un 76% del área asignada por árbol.

Sistemas radiculares vigorosos, bien ramificados y con una alta proporción de raíces finas se desarrollan sólo en suelos bien aireados. Bajo estas condiciones las raíces menores a 2 mm pueden corresponder a un 40% del total del volumen o peso de raíces (SALAZAR y CORTEZ, 1986).

2.2.2. Sistema vegetativo

Los árboles espontáneos de palto pueden alcanzar hasta 20 metros de altura, con un diámetro de tronco muy superior a un metro. La corteza es suberosa y agrietada, con un espesor de cerca de 30 mm y color que varía del pardo oscuro al pardo rosáceo (CALÁBRESE, 1992).

Las yemas pueden ser apicales o axilares. Estas últimas, en la mayor parte de los casos, permanecen en estado latente o se desprenden, de tal forma que el crecimiento del palto tiene lugar, en la mayoría de los casos, a través de yemas apicales (CALÁBRESE, 1992).

El crecimiento de brotes esporádicos se produce en una canopia compuesta por hojas de edades y eficiencias variables. Los repentinos crecimientos de nuevos brotes en primavera tardan casi 40 días en alcanzar la transición de polo de atracción a fuente de carbohidratos (WHILEY, 1990).

Las hojas son perennes, pero en los ambientes más fríos, y en algunas variedades, pueden ser renovadas casi totalmente en el momento de floración. Esto sucede al cultivar Hass en climas fríos (CALABRESE, 1992).

Según HERNÁNDEZ (1991) y TAPIA (1993), para paltos en la zona de Quillota, el desarrollo vegetativo 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 que crecen en verano-otoño.

Pero, cuando las condiciones bióticas o abióticas generan algún tipo de estrés, el crecimiento de los brotes disminuye probablemente como estrategia para evitar el desarrollo pleno del árbol ante las posibles condiciones adversas. Cuando el crecimiento de los brotes se reduce o la expansión foliar es menor a lo normal por razones de estrés, la síntesis de proteínas disminuye y los aminoácidos no utilizados son catabolizados. Esto deja sin uso y a disposición amonio ($\text{NH}_3\text{-N}$,*). En forma adicional, durante el período de estrés la absorción de NC y su reducción a N_2 , NH_3 y NH_4^+ continúa, aumentando aún más el contenido de amonio en las hojas del palto. Las plantas detoxifican en general el exceso de amonio a través de la biosíntesis de arginina. Sin embargo, cuando este mecanismo falla, este compuesto se acumula a niveles tóxicos, causando quemadura terminal foliar, necrosis del margen, abscisión foliar y muerte de brotes (LOVATT, 1987).

2.2.3. Sistema reproductivo

La floración es un evento fisiológico mayor en el ciclo fenológico de los paltos, contribuyendo con casi un 8% del total de producción de materia seca (WHILEY *et al.*, 1988).

Las flores del palto se agrupan en racimos que se forman en la parte terminal de las ramas. Éstas son bisexuadas y tienen un pedúnculo corto y pubescente. Son pequeñas, de tal forma que en el momento de su apertura suelen medir de 1 a 1,5 cm de diámetro. El periantio aparentemente carece de corola, pero las piezas que lo constituyen están dispuestas en dos series cada una formada por tres elementos. Las piezas externas son más grandes, podría tratarse de tres pétalos y tres sépalos muy similares entre sí (CALÁBRESE, 1992).

El palto presenta un comportamiento floral muy particular, conocido como dicogamia protogínea de sincronización diurna. La dicogamia implica que las partes femeninas y masculinas maduran a destiempo. El término protogínea se refiere a que la parte femenina (el pistilo), madura antes que la masculina (los estambres) (GARDIAZABAL, 1998a).

Según WHILEY *et al.* (1988), la superficie de canopia disponible para transpiración aumenta en casi un 90% durante el período de floración y, hasta un 13% del total del agua transpirada por la canopia de los paltos puede ser atribuida a las estructuras florales. Sin embargo, tanto las estructuras florales como las hojas, tienen características morfológicas y anatómicas

destinadas a disminuir las pérdidas de agua. Las estructuras florales poseen estomas en la cara del envés de los sépalos y pétalos y son densamente pubescentes, aumentando con ello la profundidad efectiva de la capa límite sobre ellos. A pesar de estas características, las flores son susceptibles a déficit hídricos mayores que las hojas durante períodos de transpiración moderada desencadenando, en épocas de estrés hídrico excesivo, daños irreversibles en los órganos florales, limitando con ello el potencial de cuajar fruta y su posterior retención.

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 (LOVATT, 1987). Estudios en cítricos han demostrado que la intensidad de floración y la acumulación de amonio en hojas aumenta al incrementar la duración o la severidad de un estrés, sea este de tipo hídrico o por bajas temperaturas (LOVATT, ZHENG y HAKE, 1988). El estrés hídrico como inductor de la floración ha sido, y continúa aún hoy en día siendo usado para la producción de limones de verano, conocidos como "Verdelli".

Sin embargo, según LOVATT (1987), hasta la fecha sólo ha sido posible inducir floración en paltos usando bajas temperaturas y no déficit hídricos. En paltos, la aplicación de este estrés genera, por acumulación de amonio, quemaduras de hojas y muerte de brotes. Es posible que el mecanismo homeostático de la detoxificación de amonio a través de la biosíntesis de arginina falle bajo déficit hídrico y no con bajas temperaturas, no generando arginina, la cual subsecuentemente se convierte en poliamidas como la putrecina, correlacionada

positivamente con los procesos de inducción floral en muchas plantas (LOVATT, ZHENG y HAKE, 1988).

En concordancia a lo anterior, CHAIKIATTIYOS, MENZEL y RASMUSSEN (1994) observaron que sólo temperaturas bajas ($<25^{\circ}\text{C}$) y no los estrés hídricos inducen floración en paltos. Para el cultivar Hass, el punto de separación entre crecimiento vegetativo y floración es de 23°C día y 18°C noche. El estrés hídrico (potencial hídrico foliar al alba de -1.7 a -3.5 MPa) previene o disminuye el crecimiento vegetativo, pero no induce floración (LAHAV y KALMAR, 1983). Si ésta se produce por bajas temperaturas, un déficit hídrico retrasa la floración hasta que el árbol sea nuevamente regado en forma apropiada.

2.2.4. Efectos del riego

El riego ha sido identificado como un factor fundamental para el éxito de la producción de paltas. Las etapas de cuaja y crecimiento temprano de fruto han sido identificadas como críticas, debiendo evitarse los estrés hídricos (LUKE *et al*, 1995).

Diferentes autores han evidenciado una variación en la producción al suministrar láminas mayores a las utilizadas como estándares para el lugar y época en particular. Según TOMER (1987), en una experiencia realizada durante seis años, y sobre tres cosechas consecutivas en la zona de Negev, Israel, observó que con una cantidad de agua alta por riego (36 mm), lo que correspondió a $11.000\text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, había menos concentración de cloruros en las hojas, menos quemaduras en las puntas de las hojas y aumento en el rendimiento acumulado con

respecto a los tratamientos de riego medio y bajo. Las diferencias relativas entre la cantidad baja (70%), media (100%) y alta (140%) fueron mantenidas constantes durante todos los años.

Según MEYER *et al.* (1990), en un ensayo realizado en Corona (Riverside) y Cashin (San Diego), EE.UU., suministrando el 120% de ETc (Evapotranspiración real del cultivo) no habría diferencias significativas en la cosecha en base anual con respecto a otros tratamientos de riego (80% y 100%). Sin embargo, la cosecha acumulada 1988-1990 aumentó con el tratamiento de 120% de ETc. Los coeficientes de cultivo (Kc) se encontraban entre 0.35 y 0.55 y las láminas anuales para los tratamientos de 80, 100 y 120% de ETc eran 23, 28 y 32 pulgadas/acre lo que corresponde a volúmenes de 8.656, 10.537 y 12.042 m³/ha respectivamente. En un estudio económico, que en una de sus partes analiza como única variable el nivel de riego, los mayores retornos se obtuvieron con 100% de ETc, considerando un costo del agua de 150 dólares/acre. Mayores porcentajes de ETc no mejoraban los retornos (TAKELE *et al.*, 1990). Esto está dado principalmente por la eficiencia del riego en relación a la producción. Dado que la escasez de agua se está transformando en un factor habitual en muchas partes del mundo, la relación de kilos cosechados por unidad de agua aplicada está tomando cada vez más importancia.

Según ADATO (1988), en una experiencia con paltos cv. Fuerte, con un tratamiento "seco" ($K_b \times K_c = 0,46$) se obtuvo mayor eficiencia en el uso del agua, con 2.03 kg x m⁻³, en comparación a un tratamiento "húmedo" ($K_b \times K_c=0,64$) que dio la relación de 1.26 kg x m⁻³.

Luego, la interrogante de aplicar más o menos agua pasa también por la situación hidrológica de cada país, localidad, predio y/o costo del agua.

Entre 1991 y 1994, en Thornhill-Sierra, Camarillo, EE.UU., diversos bloques de riego recibieron diferentes porcentajes de ETo (de 37% a 185%), en forma semanal. Árboles con Kc mayores a 0.63 resultaron ser notoriamente mayores en relación al volumen de copa. Aquellos arboles con Kc de 0.37 a 0.5 mostraron mayores quemaduras en la punta de las hojas por sales. Con Kc inferiores a 0.63, los contenidos de cloruros eran mayores a 0.5%. No se observó diferencias en las cosechas anuales ni acumuladas. Sin embargo, los árboles con mayores Kc estuvieron altamente emboscados, y las lluvias no permitieron diferencias claras y acordes a los tratamientos en las lecturas de tensiómetros antes del verano.

Según LAHAV, STEINHARDT y KALMAR (1992), a mayor cantidad de agua (120% de un total sugerido comúnmente de 4.700 m³/ha), se obtiene mayor crecimiento del tronco, mayor crecimiento vegetativo y mayores cosechas. Una reducción de 1.000 m³/ha significa una baja en la cosecha de 2 ton/ha, lo que corresponde a un 20% de la cosecha en Hass. Sin embargo, es importante recalcar que la experiencia se llevó a cabo en suelos arcillosos, riego por goteo, buena calidad del agua de riego y lluvias promedio en la temporada de 600 mm.

En Grecia, paltos cv.Fuerte con sistema de goteo obtuvieron como promedio 2.380, 5.530 y 8.680 m³/ha según proporciones fijas de evaporación de bandeja clase A (ETb) de 0.3, 0.6 y 0.9 respectivamente. Estos volúmenes incluyen las precipitaciones que variaron considerablemente en los años en estudio. Se obtuvo menores cosechas con valores de ETb

de 0.3 que con aquellos de 0.6 y 0.9. No hubo diferencias significativas entre 0.6 y 0.9 en relación a las cosechas. De igual forma ocurrió entre todos los tratamientos en relación al tamaño individual de los frutos y el contenido de aceite (MICHELAKIS, VOUGIOCALOU y CLAPAKI, 1993). Sin embargo, hay que recordar que según LAHAV y KALMAR (1977a), los frutos de Fuerte crecen menos que aquellos de Hass, al aumentar la frecuencia del riego, y con ello los volúmenes aplicados. Además, las condiciones locales aportan lluvias considerables en la época de cuaja, lo que pudo afectar el resultado de la caída de frutos y con ello la cosecha final. Tal situación también puede ser causa del nulo efecto sobre el contenido de aceite.

En otra experiencia realizada en Ventura, California, 2.5 ha con árboles de 7 años (Hass sobre Duke 7 y patrones mexicanos), regados en base a diferentes Kc, de 0.37 a 0.85, a la tercera cosecha en 1995 se evidenció una mayor quemadura de hoja, con contenidos de cloruros sobre 0.5% en los tratamientos con Kc bajos. No se observó una buena correlación entre agua aplicada y cosecha anual o acumulada (FABER, ARPAIA y YATES, 1995).

Según FRANGÍS (1997), resultados preliminares sobre un nuevo estudio en San Diego, EE.UU., con datos de cosecha de los años 1993-1996 muestran un aumento de la producción acumulada del 50% con un 130% de ETc aplicado una vez por semana en suelos delgados con buen drenaje, con respecto a tratamientos de 90, 100 y 110% de ETc. Con respecto a las frecuencias de riego, el aumento en producción es menor regando cada 2 o todos los días. Tratamientos de 90%, 110% y 130% de ETc representan 25, 30 y 36 pulgadas/acre/año, lo que corresponde a 9.408, 11.290 y 13.548 m³/ha por año.

Sin embargo, riegos excesivos pueden ser causal de mayores daños que el no cumplimiento de cualquier otra práctica agronómica, debido principalmente a que favorece la presencia del agente causal de la podredumbre de las raíces provocada por el hongo *Phytophthora cinnamomi* Ranas (CALABRESE, 1992), y que es conocida comúnmente como "tristeza del palto".

La predisposición de la enfermedad ante excesos de riego se debe a que *Phytophthora cinnamomi* forma esporangios sólo en medios líquidos, a diferencia de otras especies del mismo género. Además, el medio líquido es esencial para la liberación de zoosporas desde el esporangio como para su subsecuente dispersión. Asimismo, las condiciones de alta humedad favorecen el desarrollo del hongo. Este hongo ataca y penetra las raicillas de 1 a 3 mm de diámetro (ZENTMYER, 1980 citado por DUCO, 1996). En concordancia con lo anterior, DU PLESSIS (1991) señala que en suelos pesados siempre existe el peligro de sobresaturar las primeras estratas cuyas condiciones físicas y químicas empeoran con el tiempo, afectando la zona donde se encuentra el mayor número de raíces.

Pero no sólo mayores volúmenes de agua afectan positivamente las producciones en paltos. Según LEVINSON y ADATO (1991), paltos bajo un tratamiento de riego por goteo "seco" probaron ser muy eficientes en el uso del agua y fertilizantes, y no se afectaron por períodos de estrés en relación a tratamientos "húmedos" por goteo y microaspersión. Produjeron un 64% más de fruta que el tratamiento con sobrerriego, y un 47% más que un riego por microaspersión. Los volúmenes aplicados fueron 8.940, 12.290 y 12.390 m³/ha para los

tratamientos secos por goteo, húmedo por goteo y control con microaspersión respectivamente. Sin embargo, estos resultados están íntimamente ligados al tipo de riego por goteo, conocido como riego intermitente. Riegos diarios de 20 minutos cada hora, logran aumentar la aireación del suelo, disminuir la percolación, y con ello aumentar la densidad radicular y su eficiencia, logrando reducir la pérdida de agua y nutrientes.

La aplicación de este sistema de riego en un huerto comercial dependerá de la capacidad técnica del agricultor para mantener el sistema funcionando continuamente, situación cuestionada en muchas partes del mundo.

Según WHILEY *et al.*, (1986), un fenómeno conocido como anillo del pedúnculo ("Ring neck") estaría relacionado con períodos de estrés hídrico durante el desarrollo del fruto. Este desorden fisiológico se manifiesta como una lesión corchosa en la unión del pedicelo y el pedúnculo, pero puede ocurrir entre el pedicelo y la unión con la fruta, o donde el pedúnculo se une a la rama, siendo todos estos sitios lugares naturales de abscisión.

Si el agua es un elemento restrictivo en la etapa de cuaja y crecimiento inicial del fruto, se establecerá una fuerte competencia entre éstos y las hojas. El resultante de tal evento es que las hojas extraerán el agua del fruto, deshidratándolo a tal punto, que este abortará (LAHAV y KALMAR, 1992).

Por otro lado, se ha evidenciado que durante la etapa de segunda caída de fruta, un buen riego aminora el impacto del ajuste de la carga en el rendimiento final (WHILEY, 1990).

2.2.5. Coeficientes de cultivo

Según LUKE *et al.* (1995), distintas tasas de evaporación para paltos han sido recomendadas dependiendo de la localización y época del año. De esta forma LAHAV y KALMAR (1983) obtuvieron valores de ET/ET_o entre 0.39 - 0.54, ADATO y LEVINSON (1988) de 0.46 a 0.64, KALMAR y LAHAV (1977a) de 0.43 a 0.6 y WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988) de 1.0 a 1.2. De igual forma, LUKE (1981), PAULIN (1981) y SLABBERT (1981) citados por LUKE *et al.* (1995) obtuvieron valores de 1.2, 1.0 a 1.2 y 0.06 a 0.92, respectivamente. Coeficientes de cultivo para árboles adultos han sido calculados para la zona de Corona, California de 1987 a 1990, obteniéndose un máximo de 0.55 y un mínimo de 0.35 (MEYER *et al.*, 1990). Sin embargo, pueden producirse errores en los riegos de hasta 190 mm en una temporada cuando se usan coeficientes de cultivo desarrollados bajo una condición específica en climas o administraciones prediales diferentes (JAPTAP y JONES, 1989).

Según BOZZOLO (1993) en base a un análisis de láminas aplicadas a dos huertos de paltos cv. Hass y datos meteorológicos se estimaron coeficientes de cultivo para la zona de Quillota. Coeficientes de cultivo cercanos a 0.50 durante primavera, 0.65 durante el verano y 0.55 hacia otoño se asociarían a buenas producciones. Sin embargo, reconoce que las condiciones particulares de cada uno afectan directamente los valores, imposibilitando la determinación de coeficientes confiables. Datos correspondientes a dos cuarteles de paltos cv. Hass en Huerto California Ltda. entre los años 86 y 92 muestran volúmenes promedio anuales de 5.460 y 9.298 m³/ha, con desviaciones estándar de 1.620 y 1.615 m³/ha, respectivamente.

2.3. Evapotranspiración:

2.3.1. Penman-Monteith

El método de Penman-Monteith es aceptado por la FAO desde el año 1996 como un 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 necesaria la redefinición de ETo, como la tasa de evapotranspiración de un cultivo hipotético de 12 cm y una resistencia fija de su canopia de 70 s x m^{-1} y albedo 0.23, 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).

El método de Penman modificado FAO-24 estima valores de ETo un 20 a 40% mayores que el de Penman-Monteith (Anexo 1). Comparaciones entre bandejas evaporimétricas clase A y el método de Penman-Monteith para ETo 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 deberían obtenerse comparando los datos de ésta con los de Penman-Monteith. Si las condiciones climáticas son estables en la zona en particular, es posible estimar coeficientes de bandeja a partir de datos de ETo de estaciones cercanas. En áreas donde datos climáticos no estén disponibles, las tablas FAO-24 pueden servir de guía para seleccionar los coeficientes apropiados (CHIEW *et al.*, 1995; SMITH, 1992).

Según VAN ZYL, DE JAGER y MAREE (1987) la ecuación de Penman-Monteith no es mejorada al ajustar ésta a la estabilidad atmosférica, pudiendo ser usada con confianza en el manejo de programación de riegos.

2.3.2. Bandeja evaporimétrica

A pesar de existir muchos métodos para estimar la evaporación potencial, el uso de la bandeja evaporimétrica seguirá teniendo validez, dada su sencillez de operación, su bajo costo y la utilidad de los datos que entrega. Es así, como por ejemplo en Israel, país reconocido por su tecnificación del riego, la bandeja evaporimétrica ocupa aún un sitio importante en todo el sistema de planificación de riegos (LAHAV, 1998)*. Sin embargo, la información de evaporación debe ser tratada con cautela. Errores significativos se pueden obtener producto de bandejas no estandarizadas y/o de las condiciones de instalación. La alteración del entorno inmediato de la bandeja ha sido reconocido como uno de los mayores factores de variación (HOWELL, PHENEM y MEEK, 1983).

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 aquella 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.

* LAHAV, E. PhD. 1998. Jefe del Departamento de Frutales. The Volcani Center, Ministerio de Agricultura, Israel. Comunicación Personal.

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

Al usar la evaporación de bandeja pueden aparecer errores marcados en una base diaria. Esto se debería a la gran cantidad de energía termal acumulada en el agua durante el día, que junto a bajas velocidades del viento y menor presión de vapor durante la noche, alterarían a la bandeja durante las horas de la tarde y la noche (VAN ZYL, DE JAGER y MAREE, 1989 ; BOUGHTON y Mc PHEE, 1987).

Hay que recordar que los coeficientes de bandeja dados por DOORENBOS y PRUITT (1986), sólo son válidos para bandejas clase A galvanizadas, pintadas anualmente de color aluminio interior y exteriormente y sobre una base de madera . Si la bandeja es de metal Monel o galvanizada sin pintura, los coeficientes de bandeja debieran reducirse en un 5 %. En general, el agua debiera mantenerse limpia, no afectando la turbidez mayormente sobre ETb. Sin embargo, la contaminación con residuos oleosos debe ser evitada a toda costa (JENSEN, BURMAN y ALLEN, 1990).

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 usado en todo el mundo. Aunque la representatividad de la evapotranspiración potencial dada por las bandejas evaporimétricas se cuestionan muchas veces, hay que recordar que un porcentaje importante del error se debe, a la mala recolección de los datos, condiciones de instalación y mantención de la misma (JENSEN, BURMAN y ALLEN, 1990).

De igual forma, el material de la base de la bandeja genera diferencias significativas en una base mensual. En una base anual las diferencias mensuales se anulan, no generando varianzas significativas. No existen diferencias manifiestas entre bandejas galvanizadas y aquellas pintadas de color aluminio, siempre sobre la base estándar de madera (BOSMAN, 1987).

Del mismo modo, según DOORENBOS y PRUITT (1986), habrá poca diferencia en la ET_b cuando las superficies interna y externa estén pintadas de blanco, pero se puede ver aumentada al pintarlas de negro. La turbidez del agua no repercute en los datos de evaporación en más de un 5%. Sin embargo, es aconsejable mantener el agua en buenas condiciones para no afectar el poder reflectante o sus propiedades físicas y así obtener datos más representativos de ET_o.

Con respecto al tratamiento químico del agua para evitar el crecimiento de algas sólo hay reducción de la evaporación con sólidos disueltos, en el orden del 1% por cada 1% de incremento en la gravedad específica, hasta que la precipitación se produzca en 1,3. Sin embargo, este comportamiento es errático, encontrándose reducciones del 1,5% en aguas con un 30% y 100% (saturado) de NaCl. El tratamiento con sulfato de cobre $1 \text{ mg} \times \text{T}^{-1}$, tiene el

mismo porcentaje de reducción en base a la gravedad específica antes mencionada, y no tiene mayor influencia en la evaporación en base anual (ESPILDORA *et al.*, 1975; BOSMAN, 1987).

Debido a la gran variedad de bandejas evaporimétricas usadas en todo el mundo y a la falta de datos de los variados entornos cercanos del lugar de instalación, no es posible relacionar correctamente todas estas posibilidades entre sí. Se sugiere mantener la cubierta de césped sólo en lugares en donde esto sea posible sin riego. En regiones áridas debiera mantenerse la cubierta de suelo desnudo. Además debe evitarse el uso de piedras trozadas alrededor del evaporímetro, y sólo utilizar bases de madera tratada (BOSMAN, 1987).

2.4. Registros de humedad de suelo:

2.4.1. Sonda de neutrones

Hoy en día, recientes avances en tecnología han logrado desarrollar sistemas de monitoreo de humedad de suelo altamente precisos. El aspersor de neutrones es un avanzado equipo para este propósito, que ha sido usado en múltiples experiencias de relaciones hídricas con muy buenos resultados (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1996).

La medición del contenido de humedad por medio de la dispersión de neutrones ha sido utilizada en investigaciones por más de cuarenta años. Desde aquel entonces las sondas de neutrones han sido mejoradas tanto en portabilidad, programabilidad, peso y tamaño, como

también se han perfeccionado los detectores y fuentes radioactivas, las que son cada vez más pequeñas y seguras (ELDER y RASMUSSEN, 1994).

2.4.1.1. Teoría

Las sondas de neutrones son fuentes de neutrones rápidos, que se mueven radialmente en torno a la fuente radioactiva. A medida que los neutrones rápidos pasan a través de la materia, estos interactúan con los núcleos y son dispersados al azar. Los neutrones no tienen carga eléctrica y pueden perder energía sólo por interacciones con núcleos. Cada colisión entre un núcleo resulta en la transferencia de energía desde el neutrón al núcleo. A este proceso se le llama "termalización de neutrones", por la conversión de la energía cinética (velocidad) en energía térmica (calor) que tiene lugar. La transferencia de energía depende del número de colisiones y la masa atómica del núcleo chocado. Un neutrón rápido pierde mayor cantidad de energía en cada colisión mientras menor sea la masa atómica del núcleo chocado. La probabilidad estadística de que se produzca una colisión está relacionada con el concepto de "sección transversal de dispersión" o STD, que en un núcleo es el área proporcional a la probabilidad de colisión entre él y el neutrón (SALGADO, 1996).

Las eficiencia relativa para desacelerar y dispersar o absorber neutrones de los elementos más comúnmente encontrados en los suelos se hallan en el Anexo 2. La relación entre el contenido de humedad en el suelo y los neutrones termalizados está dada por una curva de calibración. Para la mayoría de los suelos minerales los equipos traen calibraciones. Para

condiciones especiales o resultados más precisos es conveniente realizar una calibración propia.

Algunos factores que pueden afectar la calibración del aspersor son: contenidos de materia orgánica mayores al 5%, presencia de sales con altos contenidos de boro, litio, cloro y fierro, y mediciones a menos de 18 cm de la superficie, lo que podría generar el escape de algunos neutrones y no permitir su registro (SANTA OLALLA, 1993). Para este último caso en particular puede usarse la sonda bajo una cubierta de polietileno. En suelos con humedades cercanas a capacidad de campo, el radio de influencia es de 15 cm variando a 60 cm en suelos secos (cercaos al punto de marchitez permanente). Por otro lado, salinidades del suelo sobre 100 meq/l tienen un efecto bajo sobre las mediciones (GRISMET, BALI y ROBINSON, 1995).

Según ELDER y RASMUSSEN (1994), la medición del contenido de humedad con sondas de neutrones requiere calibraciones particulares para el sitio de interés. La calibración es función del diseño de la sonda, las propiedades geológicas del material y la geometría de la perforación de acceso. El diseño de la sonda involucra la potencia de la fuente, el tamaño y composición de la fuente radioactiva, y la posición del detector en relación a la fuente. La geometría de la perforación involucra el diámetro del tubo, el material y la densidad y tipo del material de relleno del espacio entre el tubo y la perforación. Por su parte las propiedades del material involucran hidrógenos en formas diferentes al agua, la presencia de compuestos absorbentes de neutrones como el boro, la densidad aparente y temperatura del medio.

Para el acceso de la sonda a la profundidad deseada es necesario hacer perforaciones que disturben el suelo lo menos posible para poder instalar los tubos de acceso de la sonda en suelo representativo al entorno.

Es importante evitar los espacios de aire entre el tubo y el suelo. Tubos plásticos deben ser descartados debido a la alta dispersión de neutrones. Los tubos deben ser de aluminio u otro material con baja STD, como el hierro galvanizado, que es resistente, durable y más económico que aquellos de aluminio (EVETT y STEINER, 1995).

Para la calibración es conveniente tomar muestras de suelo de tubos en un sitio húmedo (capacidad de campo) y otro seco. La muestra debe tomarse sin disturbar, puesta en un recipiente impermeable y sellada. Luego debe ser pesada, puesta en un horno a 105°C por 48 hr y vuelta a pesar. Se determina la densidad aparente para así obtener la humedad volumétrica del suelo (EVETT y STEINER, 1995).

La precisión de la sonda de neutrones para estimar el contenido de humedad es maximizado al reducir la magnitud de la varianza total, la cual tiene tres componentes: Error del lugar, involucrando el error de tubo a tubo, error de calibración y error del instrumento. En la mayoría de los lugares, el error por concepto de ubicación puede ser disminuido aumentando el número de tubos. El error por efecto del instrumento es insignificante en los equipos modernos, lo que deja al componente de calibración como factor limitante. Muchas de las sondas vienen con calibraciones de fábrica, pero estas deben ser verificadas en el suelo en

particular (Mc KENZIE *et al*, 1990), siendo preferidas las de terreno mediciones (GRISMET, BALI y ROBINSON, 1995).

Puede ser aconsejable sellar los tubos en su base. El conteo de 16 segundos es adecuado debido a la precisión de los equipos. Al aumentar el número de tubos por sobre 10, se obtienen mejoras significativas en la precisión, pero el costo de instalar y monitorear éstos debe ser considerado. Por ello el uso de tres tubos por sector es adecuado en la mayoría de los casos (Mc KENZIE *et al*, 1990; IRRICROP TECHNOLOGIES, 1998).

Según CARRIJO Y CUENCA (1992), al aumentar el número de mediciones de uno a dos por profundidad (lo que equivale a aumentar el número de tubos), aumenta la precisión en la determinación del contenido volumétrico de humedad en un 30%. El aumento en la precisión es menor con cada medición adicional. Luego de la quinta medición, la reducción adicional es de un 4%.

Bajo mediciones de 16 segundos por profundidad y estratas de 30 cm, las lecturas de la sonda no detectan efectivamente cambios en la humedad volumétrica del suelo para períodos menores a algunos días o una semana. Este error en la determinación de agua contenida en el suelo en profundidad fue reducido linealmente al disminuir el grosor de las estratas a analizar, es decir, al disminuir la distancia entre mediciones. Al aminorar la distancia de las mediciones de 30 a 10 cm, disminuyó la varianza de la medición de la humedad volumétrica para la estrata en cuestión en un factor de 9 (CARRIJO Y CUENCA, 1992).

La utilización de estratas de 10 cm para experiencias que requieren balances hídricos ha sido utilizada con éxito por CALVACHE (1996); VACHAUD *et al.* (1996); BAZZA y TAYAA (1996) y MORENO *et al.* (1996), en un programa de investigación conjunto entre la FAO y la Agencia Internacional de Energía Atómica, IAEA.

Según RIUS (1996) e IRRICROP TECHNOLOGIES (1998), las profundidades típicas a tomar por una sonda de neutrones para el manejo y planificación de riegos son de 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 120 cm. Mediciones a estas profundidades en conjunto con tres registros por semana reducen en la mayoría de los casos los aportes de agua a los cultivos debido a una mejor planificación del riego, reduciendo excesos de agua que finalmente no quedan a disposición del cultivo.

Según (GRISMET, BALI y ROBINSON, 1995)., las sondas de neutrones no son recomendadas para suelos arcillosos y las curvas de calibración presentadas en la literatura están invariablemente incorrectas. Esto, debido al resquebrajamiento y contracción del suelo adyacente al tubo, factor que afecta significativamente la calibración lineal de los suelos arcillosos. El error por esa causa puede representar hasta un 30% de las estimaciones. Al momento de evaluar los tubos de acceso el principal error en contenido de humedad es la variación de la curva de calibración. Para un conjunto de tubos la variación local o variación espacial es el error dominante.

Debido a la pérdida de neutrones en la superficie es recomendable no incluir este dato en las curvas de calibración. Sin embargo, el caso debe ser analizado en forma particular, tratando

en lo posible de incluir esta estrata cuando las condiciones lo permitan. Por otro lado, muestras de suelo tomadas para obtener el contenido de humedad del mismo tubo de acceso durante su instalación y muestras recolectadas fuera de este tubo dan calibraciones distintas, pero errores en el contenido de humedad y coeficientes de regresión similares. Sin embargo, la toma de muestras al momento de la perforación parece ser la forma más simple y correcta de obtener datos para la calibración. De igual forma el uso de curvas de calibración individuales por tubo u otras generales, dependen del nivel de exactitud que se desee. El beneficio de usar curvas generales es dar más significancia estadística, debido al mayor número de observaciones usadas (GRISMET, BALI y ROBINSON, 1995).

La utilización efectiva de la sonda de neutrones para el estudio de balances hídricos está sujeta a procedimientos correctos de su uso por parte del operador, en especial si los datos de evapotranspiración serán utilizados en períodos menores a una semana. Algunos procedimientos para mejorar su precisión son dividir el suelo en horizontes relativamente delgados con 10 cm como probable mínimo; tomar múltiples lecturas para una misma profundidad y/o aumentar el tiempo por lectura. A pesar de los inconvenientes de los procedimientos y del consumo de tiempo producto de la no automatización de las lecturas a diferentes profundidades, y la limitante que esto significa para los estudios de balances hídricos, el aspersor de neutrones continuará siendo usado como componente en estos estudios (CARRIJO Y CUENCA, 1992).

Sin embargo, según MOUTONNET *et al.* (1998), el reciente desarrollo de sondas de neutrones automáticas ha simplificado el proceso de adquisición de datos lo que abre un nuevo horizonte en los estudios hídricos.

2.4.1.2. Radioactividad

Un elemento inestable o radioisótopo es llamado radioactivo cuando decae a un estado estable entregando energía en el proceso. Una radiación es ionizante cuando tiene suficiente energía para sacar a un electrón de su órbita. Hay cuatro tipos de radiaciones ionizantes de interés: Alpha, Beta, Gamma y Neutrones. La luz del sol, microondas, radio, etc., son radiaciones no ionizantes.

- La partícula Alpha está compuesta por dos protones y dos neutrones y su carga eléctrica es +2. El poder de penetración es pequeño, siendo frenada por la piel del cuerpo o una hoja de papel.
- La partícula Beta tiene la misma masa y carga eléctrica que un electrón y proviene de un átomo inestable. Viaja algunos metros en el aire y es detenida por madera o una delgada capa de aluminio.
- La radiación Gama está compuesta por ondas electromagnéticas y es capaz de viajar cientos de metros en el aire. Es detenida por una gruesa capa de concreto o plomo.
- Los neutrones tienen masa, pero carecen de carga eléctrica, siendo por ello muy penetrantes. Un neutrón puede pasar a través de un cuerpo sin ser detenido, entregando parte de su energía cinética en la piel y órganos internos. Viaja cientos de metros en el aire y es detenido por varios centímetros de agua o concretos especiales.

La vida media de un material radioactivo es el tiempo que toma en perder la mitad de su energía. Dos tipos de material radioactivo son usados en detectores de humedad, el Cesio-137 y el Americio-Berilio-241, con vidas medias de 30 y 458 años, respectivamente (CPN, 1997a).

2.4.1.3. Seguridad

Cuando únicamente los rayos X eran conocidos por el hombre, la exposición a este tipo de rayos fue definida en Roentgens. Sin embargo, este término ya no es usado, pues no tomaba en cuenta los efectos biológicos de la radiación. Fue reemplazado por el RAD, y luego por el rem (Roentgen dose Equivalent with respect to Man). Un hombre está expuesto a fuentes naturales y artificiales de radiación continuamente. Por ejemplo, una persona que vive en una casa de concreto en la latitud $22^{\circ} 30'$ (Calama), ve televisión cuatro horas al día, vuela en avión diez veces al año y debe tomarse una radiografía al año recibe 250 mrem (Mill-rem). La Organización Mundial de la Salud, OMS ha impuesto límites ocupacionales de 5.000 mrem por año, con un máximo de 100 mrem semanales. Para extremidades (brazos y piernas) el límite es diez veces mayor.

La radiación de las fuentes radioactivas de Cesio-137 y Americio-Berilio-241 cuando están expuestas, es decir, cuando están fuera del blindaje son de 3,3 y 3,41 mrem/hora respectivamente. Cuando la barra de la fuente se encuentra en posición de seguridad (dentro

del blindaje), la dosis que recibe una persona en todo el cuerpo a un metro de distancia es de 0,5 y 0,3 mrem/hora

Luego, un operador de una sonda de neutrones que emplea la sonda 2 horas al día, 5 días a la semana y durante 50 semanas de trabajo al año, recibe 150 mrem, lo que corresponde al 3% de la máxima dosis anual permitida (CPN, 1997a).

La posesión y uso de equipos de este tipo está regulado por leyes relacionadas con radioactividad particulares de cada país. En Chile, el responsable del desarrollo de la ciencia y tecnología nuclear del país y que atiende los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía nuclear es la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN, 1997).

La revisión de la legislación no será analizada por no atenerse a problemas propios del presente estudio, pudiéndose obtener en las instituciones respectivas.

2.4.2. Tensiómetros

Las medidas directas en campo del potencial mátrico pueden efectuarse únicamente con tensiómetros. Estos dispositivos también pueden emplearse para calcular el contenido hídrico del suelo (KRAMER, 1974).

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 son variables dependiendo del tipo de suelo, sistema de riego, profundidad de raíces, entre otros factores.

En general, se ha establecido que el límite de agotamiento hídrico durante el período crítico será de un 30 a un 60 por ciento del agua aprovechable. Estos límites corresponden a potenciales matrices de entre -25 a -50 KPa en suelos de texturas finas y -30 a -40 KPa en los de texturas gruesas. Regando con estos niveles se obtienen producciones y calidad de fruta aceptables y hay una reducción importante en la severidad de los ataques de *Phytophthora* (DU PLESSIS, 1991; LAHAV y KALMAR, 1983). Según VUTHAPANICH *et al.* (1995), árboles regados al alcanzar los -20KPa tuvieron el doble de cosecha en base mayormente a número de frutos que aquellos regados a los -70KPa.

Según VILLABLANCA (1994), las tensiones mátricas en el suelo entregadas por tensiómetros reflejan claramente que aquellos puntos con mayores cambios tienen su justificación en la acción conjunta de las raíces absorbentes y la demanda evaporativa de la atmósfera.

Según MICHELAKIS, VOUGIOCALOU y CLAPAKI (1993) el crecimiento radicular es mayor con contenidos volumétricos de agua de 20 a 30%, lo que correspondie a potenciales matrices del suelo de -5 a -30 KPa para el suelo en estudio.

La utilidad de los tensiómetros en el control y planificación de riego ha sido ampliamente tratada para patos por LAHAV y KALMAR (1976; 1977a; 1977b; 1983); WHILEY *et al*, (1986); DU PLESSIS (1991); LEVINSON y ADATO (1991); SALGADO (1991); CARRASCO (1996) y DUCO (1996), entre otros, razón por la cual su uso como instrumento no necesita mayor justificación.

2.5. Temperatura de Suelo:

La conductividad térmica del suelo es función de las propiedades del material sólido, la textura del suelo, distribución y tamaño de poros, contenido de humedad y temperatura del medio. Así, los flujos de calor ocurren por conducción a través de las partículas sólidas, el agua presente como capas continuas sobre las partículas y el aire en los poros del suelo. En las tres texturas de suelo, (arenoso, limoso y arcilloso), la conductividad térmica no aumenta significativamente en el rango de contenido de humedad volumétrico bajo ($<0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), posiblemente debido a que las capas de agua sobre las partículas de suelo son de apenas unas pocas moléculas. Luego, se produce un rápido aumento de la conductividad, por cada unidad de agua adicionada, para nuevamente disminuir la tasa al alcanzar contenidos cercanos a la saturación. La cantidad necesaria para formar capas de agua conductoras de calor depende de la superficie específica de las partículas, que es función a su vez del tamaño y forma. Las partículas de arcilla tienen una superficie específica mayor que las partículas de arena, luego requieren mayor cantidad de agua para producir las capas del grosor necesario. El aumento en la conductividad térmica por unidad de agua proporcionada es mayor en suelos de texturas gruesas que en aquellos de texturas finas (SEPASKHAH y BOERSMA, 1979).

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 sólo función de la temperatura, pero la relación varía entre especies y es influida por adaptaciones propias de éstas (FELDHAKE y BOYER, 1986).

Según FELDHAKE y BOYER (1986) hay una relación entre la radiación solar y ETc al variar la temperatura de suelo. Se observó que al aumentar la temperatura de suelo se incrementaba la pendiente de la correlación entre la radiación solar y ETc como también el coeficiente de correlación R^2 . Al analizar las temperaturas de canopia se observó que estas eran inversamente proporcionales a ETc, que es un indicador de que mayores ETc significan mayor enfriamiento del follaje. La temperatura de la canopia de las diferentes especies son influencia de resistencias internas de la planta. Para la experiencia realizada se observó una disminución en la temperatura de canopia a medida que se aumentaba la del suelo de 13 a 21°C. Este comportamiento indicaría, como lo han demostrado varios estudios, que la resistencia hidráulica es menor para plantas con raíces "tibias" que para aquellas con raíces "frías".

Según WHILEY *et al.* (1987) el crecimiento radicular se ve significativamente disminuido con temperaturas inferiores a 13°C. Las mayores tasas de crecimiento de raíces se obtienen entre los 18 y los 23°C. De igual forma, el crecimiento vegetativo se ve aumentado con temperaturas de suelo superiores a 13°C. Luego, según WHILEY (1990), con un incremento progresivo de las temperaturas del suelo al avanzar la primavera y el efecto ejercido por la brotación y floración sobre la activación del sistema radicular, se produce un aumento en la capacidad de absorción de agua.

Según ZAMET (1995), en una experiencia bajo condiciones controladas, una variación inicial en primavera de las temperaturas ambientales de 17°C día y 10°C noche a 21°C día y 14°C noche aumentan en un 150% la materia seca de las raíces en paltos Hass. Sobre 21°C día y 14°C noche la actividad radicular disminuyó. También se encontró correlación entre la temperatura de suelo a 30 cm con la producción nacional de paltas en Israel. Durante los 27 años en estudio, la máxima diferencia en temperatura de suelo a 30 cm fue de 5°C para el mes de marzo (inicio de primavera). Luego, suponiendo que una diferencia de 4°C aumentó un 150% la actividad radicular, un incremento en la temperatura de 1,5°C podría aumentar ésta en un 50%. Esto sería especialmente importante en un momento crítico como es la floración y formación temprana del fruto, aumentando el abastecimiento de agua demandado por el árbol y la absorción de nutrientes para favorecer la cuaja. En concordancia con lo anterior, PLOETZ (1991) se refiere a la correlación encontrada entre el desarrollo radicular y la temperatura del suelo. Uno de los manejos que puede afectar la temperatura del suelo superficial a comienzos de primavera es el riego.

Finalmente, la temperatura del suelo también tiene un efecto directo sobre el desarrollo de *Phytophthora cinnamomi*, hongo que crece activamente entre los 15°C hasta los 30°C, con un óptimo para la infección y crecimiento de 21°C a 24°C (COFFEY, 1991). Ésta condición de temperatura se presenta en nuestro país en los meses de verano, meses en que hay gran cantidad de raíces finas susceptibles a la infección por el hongo.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Ubicación:

El presente ensayo se realizó entre marzo de 1998 y enero de 1999 en el predio La Invernada, ubicado en la comuna de Nogales, provincia de Quillota, V Región (32°50' Sur y 71°13' Oeste).

3.2. Caracterización del sector de estudio:

3.2.1. Clima

El predio se encuentra inserto en el agroclima Quillota, ubicado en el sector poniente del Valle del Aconcagua, latitudes 32°50'S a 33°10'S, constituyendo un clima muy local dentro de la zona. La ubicación del sector, de 110.000 ha, se observa en el Anexo 3. 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 de 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). Evaporaciones de bandejas, según diferentes fuentes, se encuentran en el Anexo 4.

Las velocidades de viento promedio y su dirección dominante como la pluviometría para la zona de Quillota se encuentran en el Anexo 5. La humedad relativa de la zona es más bien alta, siendo uniforme a lo largo del año (entre 67 y 83%), presentándose mayormente en los meses de invierno (83%) y durante las primeras horas de la mañana (MARTÍNEZ, 1981).

3.2.2. Suelo

El suelo sobre el cual se realizó la experiencia pertenece a la serie Calera, que es miembro de la FaMilla franca fina, mixta, térmica de los Typic Haploxerolls (Mollisol). Es un suelo sedimentario de origen aluvial, muy profundo, de textura franca y de color pardo oscuro en el matriz 7.5 YR en profundidad. El substrato aluvial está constituido por gravas redondeadas de composición petrográfica mixta. Ocupa una posición de terraza aluvial remanente y más alta que los suelos que lo rodean. Es un suelo de permeabilidad moderada y bien drenado. El pH en los primeros 40 centímetros es de 8.2 y la conductividad eléctrica es de 0.7 mmhos/cm. De los 40 a los 110 cm de profundidad es frecuente encontrar pH de 7.7 a 7.8 , y conductividades eléctricas de 0.5 a 0.6. La ubicación característica de la serie es 100 metros al sur del camino internacional y en la salida poniente de la ciudad de La Calera (CIREN, 1997).

El rango de variaciones de la serie comprende una profundidad efectiva de entre 60 a 110 cm. El drenaje varía de bien drenado hasta imperfecto y la pedregosidad superficial desde libre de ella hasta moderada, cual es el caso del predio La Invernada. El primer horizonte presenta dos texturas, franca y franco arcillo limosa, de estructura de bloques subangulares medios a finos,

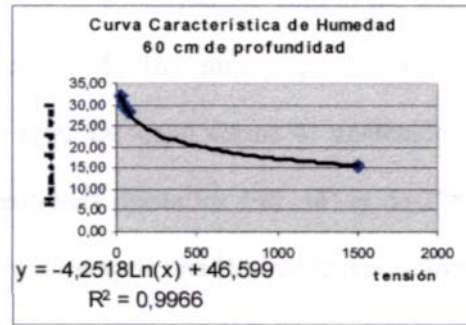
débiles a moderados. En el segundo horizonte la textura es fundamentalmente franca y ocasionalmente franco arenosa muy fina. En el tercer horizonte la textura varía entre franco arcillo limosa a arcillo limosa, con estructura de bloques subangulares medios a finos, moderados a débiles. En el cuarto horizonte la textura varía entre franco arcillo limosa a franco arenosa muy fina y el color es pardo oscuro a pardo amarillento oscuro en el matiz 10 YR, el valor varía entre 3 y 4, y el croma entre 3 y 4 (CIREN, 1997).

Las características propias del suelo del predio se asemejan en mayor grado a las características de la variación CAL-4, que corresponde a la fase de textura superficial franca, ligeramente profunda, plana, bien drenada y con ligera pedregosidad. Se clasifica en:

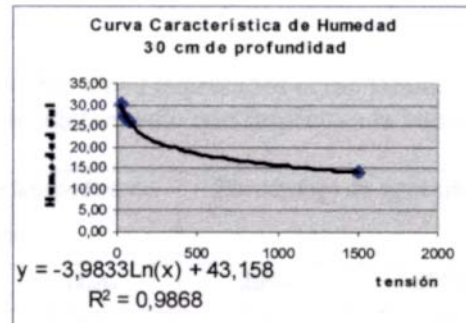
Capacidad de Uso	:IIIso	Clase de Drenaje	:5
Categoría de Riego	:2s	Aptitud Frutal	:C
Erosión	:0	Aptitud Agrícola	:3

El análisis de suelo del sector en estudio (Anexo 6), arrojó porcentajes de arcilla, limo y arena de 26.80, 22.70 y 50.50, respectivamente. Según HONORATO (1993), este suelo se clasifica con textura de franco arcillo arenosa. Se obtuvo la curva característica de humedad para las profundidades equivalentes a la ubicación de los tensiómetros, éstas son 30, 60 y 90 cm desde el nivel del suelo (Figura 1). En el Anexo 7 se encuentra la descripción de la calicata del huerto. Las muestras de densidad aparente, como las utilizadas para obtener los datos que relacionan tensión con humedad se calcularon de unidades de suelo no disturbadas de variados tamaños. A 30, 60 y 90cm de profundidad las densidades aparentes del suelo resultaron ser 1.61, 1.7 y 1.8 gr/cm³, respectivamente.

(a)



(b)



(c)

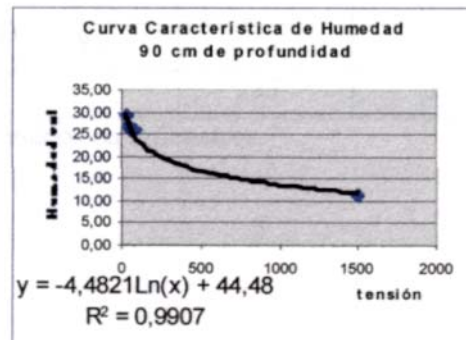


FIGURA 1. Curva característica de humedad para el suelo. (a) 30 cm (b) 60cm y (c) 90cm de profundidad.

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. De igual forma el contenido de agua en todo el perfil analizado por la sonda de neutrones (hasta los 130 cm) 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 aprecia un resumen de las características del suelo en relación a la retención de humedad.

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

Estrata	Contenido de humedad en mm		Porcentaje de agotamiento de Humedad aprovechable (H.A.)			
	Total	H.A.	20%	30%	50%	60%
0-30	70	41	8	12	20	25
0-50	116	68,1	14	20	34	41
0-70	161	94	19	28	47	57
0-130	298	174	35	52	87	104

Todos los valores están expresados en milímetros.

3.2.3. Agua

El agua de riego se obtiene de un pozo somero, a orillas del río Aconcagua, y no presenta ninguna contraindicación sobre el cultivo del palto, pues cumple con una conductividad eléctrica menor 0.75 mmhos/cm, menos de 2.8 meq/litro de cloruros y menos de 0.2 meq/1 de boro (GARDIAZABAL, 1998b). Las características físico químicas del agua se encuentran en el Anexo 8.

3.3. Material experimental e infraestructura:

3.3.1. Los árboles

El ensayo se realizó en un cuartel de paltos (*Persea americana* Mill), cultivar Hass, plantados en 1992 a una distancia de 6 metros entre hileras y 6 metros sobre hileras. Los árboles están sobre camellones de 1 metro de profundidad. Tanto la ubicación de dispositivos de medición como la elección de árboles para las mediciones se basó en árboles homogéneos, tanto en tamaño, vigor, sanidad y producción. Esta uniformidad se debe entender como relativa, debido al patrón de tipo franco y a las características que éste confiere a la variedad.

El sector se encuentra en un Piedmont con una pendiente de 4 a 5%. Los tratamientos conforman bloques de 35 a 50 árboles. El análisis foliar (Anexo 9) de marzo de 1998 indicó niveles normales para todos los nutrientes. El huerto en la temporada 97-98 presentó un cosecha alta, encontrándose en un marcado añerismo. La curva de producción del huerto hasta el presente ensayo y el detalle de la cosecha de 1998 se encuentra en el Anexo 10. Para el análisis del crecimiento vegetativo se escogieron tres árboles por tratamiento, de los cuales se midieron cuatro ramas vigorosas en cada una de las posiciones cardinales. Los datos se analizaron bajo el modelo de diseño completamente al azar en bloques con arreglo multifactorial.

3.3.2. El sistema de riego

Un sistema de riego presurizado se instaló especialmente para la experiencia. Se diseñó para posibilitar el riego simultáneo de hasta tres bloques de riego o unidades experimentales. Los emisores corresponden a microaspersores autocompensados de 55 l/h, con un gasto aforado de 48 l/h en el rango de los 20 a 35 m.c.a. El diámetro de mojado es de 5,5 metros.

3.3.3. Equipos de registro

3.3.3.1. Estación meteorológica

El equipo consiste en una estación Campbell Scientific Inc, modelo Weather Watch 2000. Fue utilizado para registrar en forma diaria datos sobre humedad relativa, temperatura del aire, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento con el objetivo de estimar la evaporación de referencia (ET_o) por medio del programa computacional PC 120 y ETpro adaptado especialmente para la estación. Estos funcionan con cualquier PC compatible y bajo ambiente DOS. La ecuación utilizada para obtener el valor de ET_o es la de Penman-Monteith (Anexo 11). Posteriormente se actualizó este programa por una versión de ambiente WINDOWS, llamado WINDS, de Weathernews Inc. Las condiciones de instalación de la estación cumplen con todos los requisitos para permitir la correcta toma de datos meteorológicos (CAMPBELL SCIENTIFIC Inc., 1998; TEJOS, 1998).

3.3.3.2. Aspersor de neutrones

El equipo es una sonda de aspersión de neutrones, Modelo 503DR Hydroprobe® de CPN International Inc., ampliamente utilizado en estudios hídricos en el mundo (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1996) . Para la evaluación de los datos se utilizó el programa "PRXM" en su versión en español llamado "La sonda" de Irricorp T. Pty Ltd. El programa permite procesar los datos de humedad del suelo, determinando el consumo de agua por la planta a diferentes profundidades, conocer las cantidades efectivas de riego y lluvia, determinar el drenaje, entre otras funciones. En cada bloque de riego, correspondiente a un tratamiento, se dispusieron tres tubos de aluminio de 50 mm de diámetro y 1,5 metros de largo, a una profundidad de 140 cm. Debido a que los tubos se instalaron antes que el sistema de riego y a que el microaspersor tenía hipotéticamente un diámetro de mojado de 6 m, y a estar ubicado a 3 metros del árbol sobre la hilera, los tubos quedaron situados a 1,5 metros del tronco del árbol sobre la línea de plantación, lo que corresponde al 50% del recorrido del radio de mojado del emisor. Cada tubo tiene una tapa inferior soldada y hermética de aluminio para prevenir el ingreso de agua en caso de que un exceso de aguas lluvias hiciese subir las napas freáticas.

Todas las mediciones se realizaron en la mañana, al igual que BAZZA y TAYAA (1996). Estas acontecían en conjunto con las lecturas de tensiómetros. Debido a que la toma de datos exigía como mínimo 3 horas (25 minutos por tratamiento), se siguió siempre el mismo orden de los tratamientos para anular el efecto de consumo diferencial de agua por parte de la planta, según aumenta la demanda evaporativa a través del día. Este factor fundamental debe

ser considerado, debido a que no todos los cultivos tienen el mismo patrón de consumo diario de agua (IRRICROP TECHNOLOGIES, 1998).

Si las lecturas no se realizan a la misma hora del día, existen bases de datos según cultivos, que en conjunto con un programa computacional, pueden ajustar los datos en base a la hora en que fueron recolectados.

3.3.3.3. Tensiómetros.

Se utilizó un total de 36 tensiómetros marca Irrrometer Inc. A cada unidad experimental se le instaló una batería de tensiómetros de 30, 60 y 90 centímetros. Se emplearon como medida comparativa al aspersor de neutrones, ya que en base a éstos se realizan los programas de riego en muchos de los huertos de palto en Chile. La instalación se realizó al lado opuesto del microaspersor en el cual se dispusieron los tubos de acceso para la sonda de neutrones.

3.3.3.4. Bandeja evaporimétrica

Según DOORENBOS y PRUITT (1986), las dimensiones de una bandeja clase A, corresponden a una cubeta circular, de 121 cm de diámetro y 25,5 de profundidad. Es de hierro galvanizado (calibre 22) y está montada en una plataforma de madera abierta y el fondo está a 15 cm sobre el nivel de la tierra. El suelo llega hasta 5 cm del fondo de la cubeta que está en forma horizontal. Contiene agua cristalina, que llega hasta 5 cm del borde, y el

nivel del agua no baja a más de 7,5 cm con respecto al mismo. La cubeta está pintada de color blanco.

El sitio donde se encuentra la bandeja está rodeado por un rejilla metálica de 1,8 metros de altura a una distancia 2 metros del evaporímetro. Para evitar que las cubetas sean utilizadas por pájaros como bebedero, se dispuso de un recipiente lleno hasta el borde, cerca del evaporímetro.

Debido a un error, una vez iniciada la experiencia, se constató que las características del material de la bandeja y las condiciones de instalación sobre su base no correspondían a un evaporímetro clase A. El material era metal monel de 2 mm con bordes y uniones de 5 mm, sobre una base de concreto de 10 cm. El apoyo de madera entre el concreto y el evaporímetro era de 7 cm. La estructura de madera no permitía la circulación de aire bajo la cubeta. A raíz de esto se decidió disponer otra bandeja, con todas las características que la hacen estándar, adyacente a la inicial.

3.4. Metodología de trabajo:

El experimento consistió en dividir el material experimental en 12 bloques de riego, correspondiendo cada uno a un tratamiento de riego designado al azar, representando a un 90, 100, 110 y 130% de la evaporación de cultivo (ETc), con tres frecuencias distintas (diarias, dos veces por semana y una vez por semana). En el Anexo 12 se puede apreciar la

distribución espacial de los tratamientos en el huerto. Cada bloque de riego corresponde a una unidad experimental. Estimaciones de los volúmenes a aplicar según los distintos tratamientos se encuentran en el Anexo 13.

3.4.1. Planificación del riego.

La planificación del riego, y por consiguiente los volúmenes a aplicar por riego, se calcularon en una primera instancia en base a una bandeja evaporimétrica. Las mediciones se tomaron todos los días a las 8 de la mañana. Cada uno a dos meses se repuso completamente el agua luego de lavar la bandeja, teniendo la precaución de usar agua con aproximadamente la misma temperatura, proveniente de un tanque de almacenaje abierto, que se mantenía cerca del evaporímetro. En los meses de verano, para combatir el crecimiento de algas, durante cada cambio se añadió una pequeña cantidad de sulfato de cobre diluido (DOORENBOS, 1976). La dosis fue de 1 mg/l (BOSMAN, 1987) correspondiente a 233 mg para el volumen de la cubeta.

Los coeficientes de bandeja utilizados inicialmente fueron aquellos recomendados por DOORENBOS y PRUITT (1986). Debido a que las condiciones particulares se ajustaban a cubetas con una cubierta herbácea muy pobre o un suelo desnudo y seco, donde la distancia a barlovento del barbecho de secano es de 10 metros, con humedades relativas altas (>70%), y con vientos débiles (<175 km/día) el coeficiente K_b utilizado para los meses de invierno (abril a agosto) fue de 0.8 (DOORENBOS y PRUITT, 1986) Esta condición se da en el valle de Quillota entre los meses de abril y agosto, aproximadamente. Para los meses de

primavera-verano, cuando para la misma condición los vientos aumentan (175-425 km/día) el coeficiente K_b es 0.7. Tal condición predomina en los meses más calurosos en la zona, de septiembre a marzo (Anexo 5).

Debido a causas que se analizarán más adelante, al cabo de un mes de iniciado el riego diferenciado, se decidió basar el dato de evaporación potencial en aquel entregado por la estación meteorológica en función de la ecuación de Penman-Monteith (Anexo 11), reemplazando a la bandeja evaporimétrica. Debido a la dificultad técnica de poder acceder al valor calculado por el programa meteorológico de E_{To} en forma diaria, el cambio se realizó ajustando el coeficiente de bandeja cada 15 días. Tal decisión se tomó dado que las mediciones de E_{To} entregadas por la ecuación de Penman-Monteith estaban, como era de esperar, correlacionadas positivamente con el E_b del evaporímetro, con un coeficiente de correlación para el mes de julio y agosto de 0.69 y 0.75, respectivamente (Anexo 19 y 20).

Luego, teniendo los valores diarios de E_{To} y E_b , el valor de coeficiente de bandeja (K_b) se ajustó en base a la siguiente ecuación:

$$E_{To} = E_b \times K_b \quad \text{luego} \quad K_b = E_{To} / E_b$$

donde E_{To} = Evapotranspiración potencial (En este caso según Penman-Monteith) E_b = Evaporación de bandeja K_b = Coeficiente de bandeja

El coeficiente K_b ajustado representa el promedio de los coeficientes reales diarios del período anterior al ajuste.

La planificación de los riegos se ejecutó por medio de un programador de riego marca TORO, con cuatro programas independientes. Un esquema de una planilla de riego típica se observa en el Anexo 14. Todos los tratamientos se programaban con 16 horas de anticipación. Cada día, luego de la medición de bandeja, se ajustaban los tiempos de los tratamientos según correspondía.

La organización básica fue la siguiente:

- PROGRAMA A: Riegos diarios. Tratamientos 1, 2, 3 y 4 correspondientes a 90, 100, 110 y 130% de ETc respectivamente.
- PROGRAMA B: Riegos dos veces por semana, días miércoles y sábado. Tratamientos 5, 6, 7 y 8 correspondientes a 90, 100, 110 y 130% de ETc.
- PROGRAMA C: Riego semanal, el día lunes. Tratamientos 9 y 10 con 90 y 100% de ETc.
- PROGRAMA D: Riego semanal, el día jueves. Tratamientos 11 y 12 con 110 y 130% de ETc.

Cada programa es capaz de controlar 15 válvulas solenoides en forma sucesiva. Las distintas láminas se aplicaron variando el tiempo de riego para cada sector.

Los aumentos de presión ocasionados por la superposición y desfase de bloques se mantuvieron dentro de los límites permisibles por medio de la capacidad reguladora de cada microaspersor autocompensado y reguladores de presión dispuestos en cada bloque de riego, obteniéndose coeficientes de uniformidad bajo todas las condiciones y para todos los bloques de riego superiores al 95%.

Las láminas a agregar se obtuvieron de la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

donde: ET_c = Evapotranspiración real del cultivo (mm/día)
 ET_o = Evapotranspiración potencial (mm/día)
 K_c = Coeficiente de cultivo

3.4.2. Determinación de la absorción radicular

El equipo de neutrones fue utilizado para medir la variación en el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades y para poder determinar el modelo de extracción de agua de las raíces del palto. Las profundidades desde la cima del camellón fueron 20, 30, 40, 60, 80, 90, 100 y 120 cm. Paralelamente se realizaron mediciones con tensiómetros a tres profundidades distintas con el fin de tener un punto de comparación con las lecturas efectuadas con el aspersor de neutrones. Las mediciones de la sonda de neutrones se registraron en la unidad de conteos (conteos de neutrones termalizados), dado que de esta forma es más ágil el procesamiento de los datos. Todas las lecturas tuvieron una duración de 16 segundos en concordancia a la satisfactoria precisión que se alcanza (CPNb, 1997; IRRICROP, 1998).

3.4.3. Determinación de los coeficientes de cultivo

Los coeficientes de cultivo utilizados durante el ensayo se observan en el Anexo 15. La elección de estos valores se basó en aquellos recomendados en el año 1996 por GARDIAZABAL (1998)*. Estos valores fueron considerados como adecuados para una primera aproximación a los coeficientes reales, evitando déficit muy marcados en los tratamientos de 90% de ETc y excesos de riego, con las consecuentes asfixias radiculares y posibles ataques de *Phytophthora* en los tratamientos de 130%.

Para poder determinar el Kc real se utilizó una estación meteorológica computarizada la cual proporciona la evapotranspiración de referencia por medio del método de Penman-Monteith. Dado que $Kc = ETc/ETo$, se utilizará el método del balance hídrico (EqO que requiere mediciones periódicas del contenido de humedad en la zona de las raíces, el registro de las precipitaciones, aplicaciones de riego y evacuación por drenaje.

$$(Eq_1): ETc = R + P - D - ES \pm \Delta H$$

Donde:

ETc =	Evapotranspiración del cultivo
R =	Riego
D =	Drenaje
P =	Lluvias
ES =	Escurrimiento superficial
ΔH =	Humedad del suelo en el período

Las variables se expresan en mm/día

* GARDIAZABAL, F. Ing. Agr. 1998. Profesor Cátedra de Frutales de Hoja Persistente. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

Dado que el riego en el presente ensayo fue por microaspersión y que el agua efectivamente no escurre superficialmente durante los períodos de riego fuera del sector en estudio, el escurrimiento superficial se consideró nulo. La variación en el contenido de humedad se obtuvo de la diferencia correspondiente a los contenidos de agua volumétricos del suelo entre dos mediciones en un intervalo de tiempo determinado.

3.4.4. Temperatura de suelo

Para establecer una relación entre la temperatura del suelo a 15 cm con distintos tratamientos de riego se instaló un termómetro de suelo por tratamiento. No hubo repeticiones, razón por la cual no se realizó un análisis de varianza.

A pesar de no tener respaldo estadístico, se midió la temperatura de suelo a 15 cm en cada uno de los tratamientos dos veces por semana en la mañana, para poder tener una pauta del comportamiento de la temperatura de suelo bajo diferentes regímenes de riego, y poder compararlo con trabajos anteriores.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los registros climatológicos:

Luego de un mes de la puesta en marcha del ensayo (julio), decidió basar el dato de ETo en aquél dado por la ecuación de Penman-Monteith.

Según DOORENBOS y PRUITT (1986) el coeficiente de bandeja máximo para el evaporímetro clase A es 0,85. Para el mes de julio se ocupó el valor Kb tabulado en literatura (0.8) que se ajustaba a las condiciones de ubicación de la bandeja en el ensayo. En la primera semana de agosto se obtuvieron tensiones en el suelo con valores inferiores a -60 KPa, a 30 cm para todos los tratamientos de riego diario y los tratamientos 5, 6 y 7 de riego dos veces por semana, además del tratamiento 9 y 11 de riego semanal. Los potenciales matrices a 60 y 90 cm, aunque más heterogéneos, también tendían a valores más bajos (< -40 KPa), incluso en tratamientos con un 130% de ETc, lo que denotaba que los aportes de riego en dichos casos no satisfacían las necesidades evapotranspirativas de los árboles.

Aunque la información sobre los potenciales mátricos aconsejables para manejar en paltos es aún tema de discusión, no es recomendable sobrepasar los -50 KPa en suelos con un componente arcilloso importante, ni los -30 Kpa en los más arenosos (DU PLESSIS, 1991).

La precipitación aforada del sistema de riego y el coeficiente de uniformidad fueron determinados previamente y correspondían a 1.33 mm/h y 97% respectivamente, por lo que el déficit hídrico en el suelo no se debía al sistema de riego en sí.

Por otro lado, se revisaron los valores entregados por la ecuación de Penman-Monteith en relación a otros métodos para estimar ETo (Anexo 16), ajustándose éstos a las diferencias esperadas, a excepción de la bandeja evaporimétrica con valores inferiores a Penman-Monteith, siendo que debería esperarse valores de un 14 a un 21% superiores (Anexo 1) (SMITH, 1992).

Además, luego de un análisis de los materiales de la bandeja evaporimétrica se evidenció que estos no se ajustaban estrictamente a las características de un evaporímetro clase A. Su principal diferencia consta en el material (metal monel) y en su grosor de 2 mm. Luego, en forma adicional se dispuso una cubeta con las características que la hacen estándar. A pesar que el evaporímetro instalado inicialmente no correspondía estrictamente a uno clase A, se decidió conservarlo para compararlo con aquel estándar, pues las características del primero son idénticas a las cubetas dispuestas en muchos huertos de paltos en Chile, e incluso en instalaciones meteorológicas de algunas instituciones, por lo que su análisis pasó a ser un punto relevante para la futura aplicación de un real requerimiento hídrico del palto en base a este instrumento.

Debido a que por dificultades técnicas no era posible disponer del valor de ETo-Penman-Monteith en forma diaria, y en base a las relaciones anteriormente citadas, se procedió a

ajustar los valores de K_b en relación a la ecuación de Penman-Monteith según lo recomiendan SMITH (1992) y CHIEW *et al.* (1995), en este caso cada 15 días, de manera tal de representar con la mayor fidelidad posible la evapotranspiración potencial.

Contrariamente a lo tabulado en literatura, los coeficientes de bandeja resultaron en algunos meses superiores a 1 (Figura 2), llegando incluso a 1.3, lo que implicaba déficit hídricos de hasta un 64%. Tales valores de evaporación de bandeja (ET_b) inferiores al valor de ET_o se dieron entre el 15 de junio y los primeros días de septiembre. Los valores diarios de ET_o y ET_b se encuentran de los Anexos 17 al 25.

Los citados déficit en los riegos, producto de la mala representatividad del valor de ET_o obtenido por medio de la bandeja evaporimétrica, debieron ser corregidos mediante riegos recuperativos. Además, debido a que el valor de K_b ajustado variaba en el tiempo, fue necesario realizar balances del riego suministrado para el período anterior al siguiente ajuste. Luego, si el coeficiente K_b utilizado era mayor o menor a aquel observado durante el período se producían excesos o déficit en los riegos. Estas diferencias se manifestaron mayormente en los meses de septiembre y noviembre, ya que es esta época los valores de K_b se modificaron a una tasa mayor que las rectificaciones realizadas (cada 15 días). A partir del mes de diciembre el valor de K_b se mantuvo constante, no necesitando realizar balances sobre los riegos aportados. Las modificaciones del coeficiente de bandeja y los eventos de riego no programados se observan en los Cuadros 2 y 3.

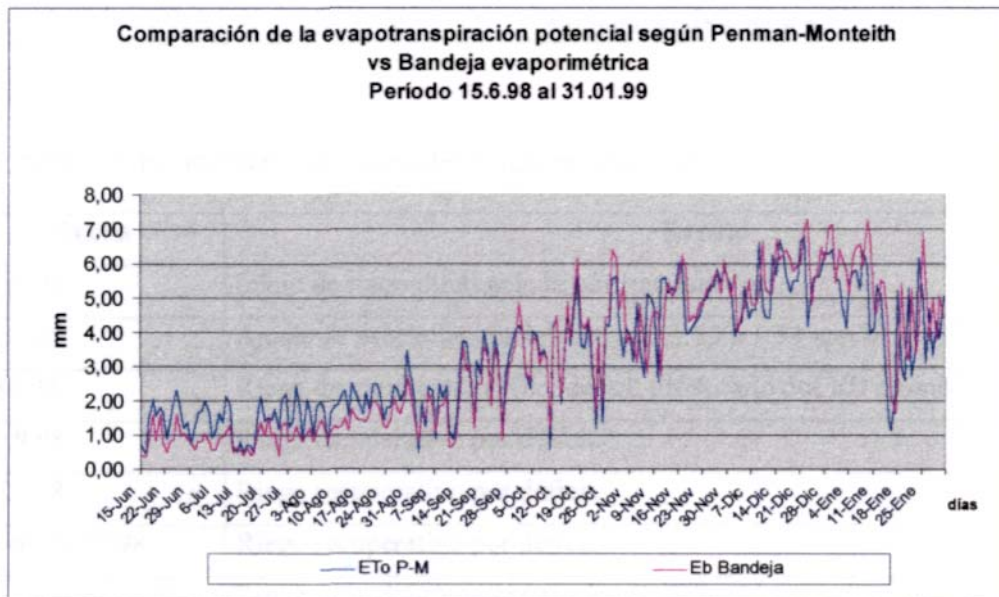


FIGURA 2. Comparación de la evapotranspiración potencial según el método de Penman-Monteith y la Bandeja evaporimétrica instalada inicialmente.

CUADRO 2. Ajustes del coeficiente de bandeja de acuerdo a la evaporación potencial entregada por la ecuación de Penman-Monteith.

FECHA	AJUSTE
17.8.98	Ajuste del coeficiente de bandeja (0.8 a 1.1)
10.9.98	Ajuste Kb de 1.1 a 1
16.11.98	Ajuste de Kb de 1 a 0.9
23.11.98	Ajuste de Kb de 0.9 a 0.7
3.12. al 31.1.99	Coeficiente de bandeja real constante de 0.75. No hubo ajustes de Kb.

CUADRO 3. Eventos del riego fuera del programa preestablecido.

Fecha	Evento
17.6.98	Inicio de riego diferenciado por tratamientos.
11.7.98	Ajuste de precipitación del sistema (1.53 a 1.33 mm/h)
18.8.98	Riego de recuperación (del déficit provocado por Kb erróneo).
10.9.98	Riego recuperativo por déficit.
12.9.98	Riego recuperativo por déficit.
21 al 29.10.98	Riego recuperativo por déficit.
23.11 al 3.12.98	Restricción del riego por superávit.

El Cuadro 4 muestra los coeficientes de bandeja teóricos y ajustados para el período de junio a enero, observándose que las mayores diferencias fueron registradas en invierno, de igual forma que lo observado por BOSMAN (1987).

CUADRO 4. Evolución del coeficiente de bandeja teórico y ajustado en base a la ecuación de Penman-Monteith durante el ensayo.

MES	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Kb teórico^a	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Kb P-M b1^b	1.12	1.31	1.10	0.91	0.74	0.83	0.76	0.75
Kb P-M b2^c	---	---	---	0.95	0.80	0.87	0.80	0.80
Delta 1^d	-40%	-64%	-38%	-30%	-6%	-19%	-8%	-7%
Delta 2^e	---	---	---	-35%	-14%	-24%	-14%	-14%

a: Coeficiente para bandejas clase A según DOORENBOS y PRUITT, (1986) para las condiciones de instalación del ensayo.

b: Coeficiente de bandeja calculado en base a la ecuación de Penman-Monteith (bandeja presente en el predio La Invernada).

c: Coeficiente de bandeja calculado en base a la ecuación de Penman-Monteith (bandeja clase A).

d: Delta en relación al déficit o superávit de riego resultante en base a la bandeja tipo invernada

e: Delta en relación al déficit o superávit de riego resultante en base a la bandeja clase A.

Estos datos, aunque extremos, no son exclusivos del ensayo. HOWELL, PHENEM y MEEK (1983) observaron evaporaciones de bandeja correspondientes a un 91 y 95% de E_{To} como promedio en los meses de invierno para bandejas sin rejilla protectora. En aquellas con protección durante estos mismos meses los valores fluctuaron entre un 100 y un 120% de E_{To} , lo que corresponde a K_b de 1 y 1.2, respectivamente.

JAYAWARDENA (1989) observó para los meses de invierno evaporaciones medidas de bandejas evaporimétricas menores a las estimadas. En el resto de los meses éstas fueron iguales o mayores.

Para la región de Bajgah, Irán, coeficientes de bandeja de 1.14, 1.34, 1.55 y 1.37 corregían la evaporación de bandeja a E_{To} en los meses estivales de mayo, junio, julio y agosto respectivamente (MALEK, 1987).

Luego, una posible causa de los valores de K_b registrados durante el ensayo en base a los datos de la estación meteorológica y mayores a los tabulados sea, la cercanía de la malla protectora, alrededor de 1,5 metros, tenga alguna influencia sobre la evaporación pues claramente no cumple con el radio de 50 metros libres de estructuras mayores a 1 metro alrededor de la cubeta (DOORENBOS y PRUITT, 1986), o por otro lado, que simplemente las condiciones de viento, y humedad relativa supuestas para la elección del coeficiente (verificadas durante varios años en numerosos estudios) no hayan sido las correctas, lo que ratifica la utilidad de ajustar el valor de K_b en base a una ecuación de E_{To} confiable, como por ejemplo Penman-Monteith (CHIEW *et al.*, 1995).

Ahora bien, la causa de la diferencia de los coeficientes de ambas bandejas es sin duda el material de la primera (metal monel de 2 mm) y la base de concreto (10 cm) de ésta. Además, la base de madera (de 7 cm) entre el concreto y el evaporímetro no permitía la circulación de aire, requisito indispensable según lo establecen DOORENBOS y PRUITT (1986) y DOORENBOS (1976).

El material y la base tienen conductividades térmicas y propiedades irradiativas diferentes a las de los materiales utilizados como estándar. El efecto de la conducción de calor desde y hacia la bandeja se puede entender por las siguientes relaciones: a) La razón de flujo calórico

a través de la bandeja es directamente proporcional al área, es decir cuánto mayor sea el área disponible más calor fluirá por unidad de tiempo, b) El flujo es inversamente proporcional al grosor, es decir, mientras más grueso el material menos calor fluirá por unidad de superficie, c) Como factor ambiental se puede añadir que cuánto más grande sea la diferencia de temperatura más calor fluirá por unidad de tiempo. Finalmente, hay que introducir el factor de conductividad térmica k , que es propia de cada material. Compuestos o elementos con valores de k grandes son buenos conductores del calor, como por ejemplo el cobre ($k=428 \text{ W/m x K}$), mientras que materiales con k bajos son malos conductores o buenos aislantes, como es el caso del aire ($k=0.026 \text{ W/m x K}$) o la madera ($k=0.1 \text{ W/m x K}$) (RESNIK, HALLIDAY y KRANE, 1996). Luego, es comprensible el efecto del material de la base del recipiente, como la especificación del metal a utilizar en la construcción del evaporímetro, lo cual explica la necesidad que hubo de instalar una cubeta de tipo estándar (DOORENBOS, 1976) para poder hacer los datos comparables a cualquier estudio y en cualquier parte del mundo.

Aunque los valores de E_{To} dados por la ecuación de Penman-Monteith fueron finalmente, y a modo general, concordantes con el comportamiento de los árboles bajo los diferentes tratamientos, cabe la posibilidad que estos valores hayan sido sobre estimados en los meses invernales. Esto dado que los factores meteorológicos medidos por la estación fueron todos aquellos necesarios para el cálculo de E_{To} , con excepción del dato de temperatura de suelo.

Según JAYAWARDENA (1989), en los meses invernales la temperatura de suelo es generalmente más alta que la del aire transfiriendo energía al ambiente, y por lo tanto,

umentando la disponible para evaporación. Es por esto, que el no considerar la temperatura de suelo puede subestimar los valores de evaporación.

Sin embargo, para poder explicar el déficit de ETo de la bandeja con respecto a Penman-Monteith a través de la falta del dato de temperatura de suelo, se debería haber presentado una sobre estimación por tal efecto, contrario a lo planteado por JAYAWARDENA (1989).

Además, según JENSEN, BURMAN y ALLEN (1990); SMTTH (1992); CAMPBELL SCIENTIFIC Inc, (1996), la energía retenida y luego desprendida por el suelo es fácilmente estimable en una base diaria y mensual. Incluso, dado que la magnitud del flujo de calor bajo la canopia en períodos de 10 a 30 días es relativamente pequeña, el valor puede ser descartado y considerado igual a cero. JENSEN, BURMAN y ALLEN (1990) agregan que la acumulación de calor de un día a otro es generalmente baja, restando importancia de este componente en el balance energético para estimar ETo.

Las consecuencias de esta merma del riego en julio y a comienzos de agosto (Cuadro 4), podría afectar el contenido hídrico total en el suelo a comienzos de primavera, cuando el árbol se dispone a florecer y posteriormente cuajar fruta. Los daños en tal período por este efecto podrían ser mayores en la variedad Hass, cultivar de maduración primaveral, aunque la cantidad de agua que necesitan los paltos es menor durante el período invernal de semi-actividad, cuando las funciones de crecimiento son las mínimas.

Cualquier restricción hídrica en el período anterior afectará negativamente el calibre y el contenido de aceite. El palto crecer por división celular hasta la cosecha, y cada una de estas células puede optar a un tamaño potencial máximo dependiendo de las condiciones a las cuales es sometida. Dado que el supresor más importante del crecimiento celular es el déficit hídrico, al disminuir solo -0,1 MPa el potencial hídrico externo a la célula, hay una disminución apreciable en el crecimiento celular (SALISBURY y ROSS, 1992). Esto es verificado por LAHAV y KALMAR (1977b), quienes observaron una mayor tasa de crecimiento, mayor tamaño final y mayor contenido de aceite final a la cosecha de frutos, a medida que se daban riegos con menor frecuencia entre sí. Menores frecuencias implicaron mayores volúmenes por hectárea.

Además, hay que considerar que en el palto, al igual que en otros cultivos, hay transferencia de agua de los frutos a hojas o ramillas en períodos de estrés hídrico, afectando con ellos el peso individual de cada fruto (WffILEY *et. al.*, 1986).

Según TELLO (1991), al aplicar mayores volúmenes de riego se obtienen mayores porcentajes de fruta con calibre de primera.

Sin embargo, según GARDIAZABAL (1998)*, en la mayoría de los huertos de paltos en Chile que disponen de bandejas evaporimétricas, los coeficientes K_b de primavera-verano y otoño-invierno ocupados son 0,75 y 0,8 y las productividades de los huertos no presentan en general grandes anomalías. Esto se podría deber, primero a la presencia de lluvias en

* GARDIAZABAL, F. Ing. Agr. 1998. Profesor Cátedra de Frutales de Hoja Persistente. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

invierno, que en la mayoría de los casos lleva el estado hídrico del suelo a saturación, expresándose como superávit de agua, desencadenando en algunos casos problemas de asfixia radicular y pudriciones por *Phytophthora cinnamomi*. Es por esto que en invierno se recomienda, en general, mantener los tensiómetros con lecturas relativamente bajas en lo que a potencial mátrico se refiere, con un mínimo de -60 KPa en suelos arcillosos y -40 KPa en suelos arenosos, como medida preventiva ante las inminentes lluvias. Según LAHAV y KALMAR (1983), con ello se logra disminuir el estrés por exceso de agua a comienzos de la estación de lluvias, además de ahorrar en alguna forma este elemento.

Pero por otro lado, la recomendación general es que, superados estos niveles, se apliquen riegos hasta recuperar el valor de capacidad de campo. Esta acción podría ser la explicación a la normalidad de las producciones en la mayoría de los huertos de paltos. Dado que a inicios del presente ensayo los riegos fueron planificados estrictamente en base a la evapotranspiración potencial dada por la bandeja evaporimétrica y a la ausencia casi total de lluvias, tales ajustes no fueron realizados, expresándose en un déficit hídrico generalizado, incluso en los tratamientos de un 130% de ETc. Posteriormente, al ajustar los valores de ETo a aquellos determinados por la ecuación de Penman-Monteith, la situación hídrica tendió a ser concordante con los tratamientos, a excepción de ciertas salvedades que se relacionan con dificultades en la actualización quincenal del Kb.

Con respecto a las diferencias reales de las lecturas entre los dos tipos de bandeja (Figura 3), es posible apreciar en una primera instancia que éstas fueron relativamente similares, al menos entre los meses de septiembre y enero de 1998. No fue posible instalar el segundo

evaporímetro durante los meses de invierno, que es cuando se observaron las mayores anomalías con respecto al coeficiente de bandeja.

Las diferencias diarias son pequeñas, sin embargo, nótese que en los días de alta evaporación seguidos de uno de baja demanda, la bandeja tipo invernada acrecentó las diferencias. Es decir, mantuvo una influencia del día anterior (de alta evaporación) en la lectura siguiente. Esto se aprecia con claridad los días 19 de octubre, 18 de noviembre y 27 de enero (Figura 3). Ambas fechas precedieron días con casi el doble de la evaporación presentada. Es posible que una mayor capacidad de acumulación de calor, ya sea en el entorno de la bandeja, de los materiales de instalación de su base o de fabricación propia del evaporímetro, estén generando las alteraciones en las evaporaciones. Por otro lado en los días 14 de septiembre y 4 de octubre, fechas aún más templadas, la evaporación de la bandeja tipo invernada fue menor a la cubeta clase A, lo cual implica coeficientes de bandeja mayores para igualar el valor de E_{To} . Esto podría sugerir un comportamiento invernal distinto al observado en los meses de verano, situación que merece ser analizada en posteriores trabajos.

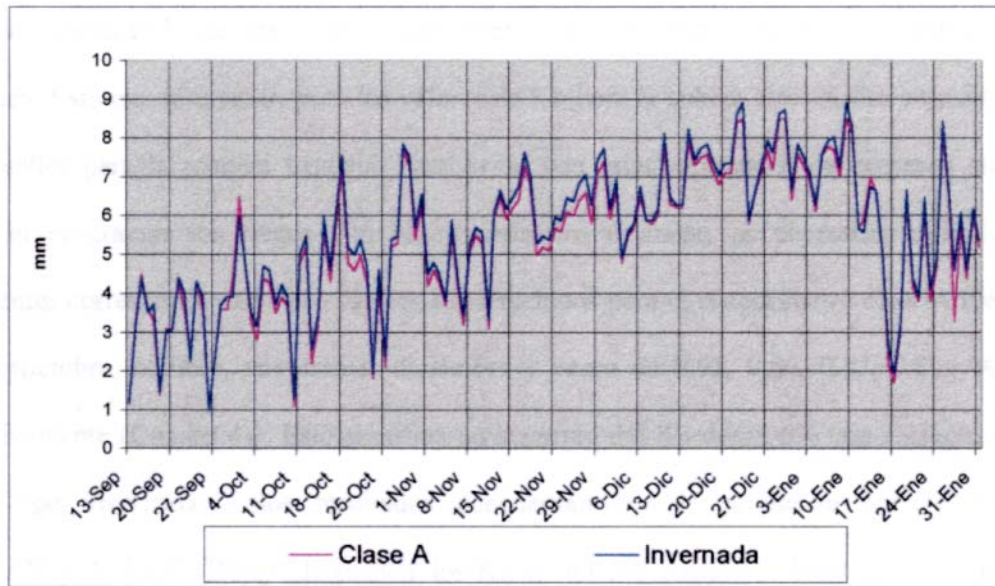


FIGURA 3. Evolución de la evaporación de bandeja (ETb) para las dos cubetas instaladas.

Por lo tanto, es posible afirmar que la inercia térmica es sin duda la causante de las malas correlaciones resultantes entre la evaporación en base a Penman-Monteith y la bandeja evaporimétrica en los meses de verano (Anexo 24 y 25).

La evaporación acumulada, desde el momento en que se contó con la bandeja que cumplía cabalmente las especificaciones para un evaporímetro clase A, es decir, desde el 13 de septiembre hasta el 31 de enero, arrojó una diferencia de 30 mm en favor a la bandeja tipo invernada. Esto era de esperar, pues los valores de K_b para la cubeta clase A fueron mayores que aquellos para la primera bandeja. Para evitar que estas diferencias se expresen en un déficit al programar los riegos con el evaporímetro estándar, es necesario utilizar los coeficientes correspondientes. Los valores K_b detectados para el evaporímetro clase A fueron para septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero de 0.95, 0.80, 0.87, 0.80 y 0.80 respectivamente (Cuadro 4). Esto significa un aumento del K_b de un 6% con respecto a la cubeta tipo invernada. Estos resultados concuerdan con lo propuesto por JENSEN, BURMAN y ALLEN (1990) de reducir los K_b en un 5% cuando la bandeja es de metal Monel, como es el caso de la cubeta tipo invernada.

Luego, se precisan más mediciones en el período de abril a septiembre, para poder establecer conclusiones de algún tipo. De este modo, queda la inquietud de estudiar un tema que parece sencillo o de poca importancia, y que sin embargo tiene una incidencia enorme sobre los cultivos agrícolas regados bajo este sistema.

Como medida para mantener el agua del evaporímetro en buenas condiciones, es decir, sin crecimiento de algas y presencias de organismos vivos, una dosis de 233 mg de sulfato de cobre (BOSMAN, 1987) por cubeta al momento del llenado, significó no tener que realizar más limpiezas de las bandejas instaladas desde el mes de noviembre 1998 a enero de 1999, contrario al lavado mensual que se realizaba previo a añadir producto. Sin duda esta sencilla labor significaría una mayor representatividad de la evaporación de bandeja en muchos huertos en Chile, en donde por descuido o falta de mantención la calidad del agua se deteriora rápidamente afectando con ello la estimación correcta de ETo.

Finalmente, las correlaciones entre ambos tipos de evaporímetro y la ecuación de Penman-Monteith se observan en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Correlaciones entre ETo según las bandejas evaporimétricas y Penman-Monteith

Período	Bandeja inicial (Invernada)	Bandeja clase A
15 junio al 31 enero	$R^2 = 0.824$	---
13 septiembre al 31 enero	$R^2 = 0.7603$	$R^2 = 0.7608$

Para el período del 15 de junio al 31 de enero, el coeficiente R^2 para las variables ETo Penman-Montetih y ETo según bandeja inicial (Figura 2) fue de 0.824, en una base diaria. Para los mismos meses, pero con datos en una base semanal, el valor R^2 fue de 0.978, lo que ratifica lo planteado por HOWELL, PHENEM y MEEK (1983); SALGADO (1985); BOUGHTON y Mc PHEE (1987) y VAN ZYL, JAGER y MAREE (1989) quienes indicaron que se producen errores en la estimación de ETo al considerar la evaporación de bandeja en una base diaria. Datos diarios para el período analizado se encuentran en los Anexos 18 al 25.

Al comparar las correlación de ambas bandejas para el mismo período (Cuadro 5), es posible observar que prácticamente no hay diferencias en el coeficiente R^2 (0.7603 y 0.7608). Este valor podría deberse a los pocos meses utilizados para la correlación (septiembre a enero) y las características climáticas del período, que producen un comportamiento aún más disímil de cualquier bandeja con la evapotranspiración potencial. Por lo tanto, es probable que los valores de K_b en los meses de junio, julio y agosto sean muy similares entre sí, manteniendo un 5% de diferencia entre ambas o más dependiendo del comportamiento térmico de ambos materiales ante temperaturas bajas del ambiente.

Luego, déficits de hasta un 64% podrían manifestarse para ambos tipos de cubetas en próximos inviernos, producto de condiciones climáticas particulares de estos meses como por ejemplo, fuertes vientos invernales del nor-oeste con presencia de lluvias (NOVOA *et al.*, 1992), situación asociada a altas humedades relativas del aire, factores que afectan en definitiva los valores de K_b .

4.2. Análisis de los registros de humedad de suelo:

4.2.1. Sonda de neutrones

Debido a que los resultados referentes al coeficiente de cultivo exigen exactitud en el balance hídrico, es de suma importancia la correcta calibración de los datos aportados por la sonda de neutrones. Al respecto, RAMOS, CASTEL y GÓMEZ DE BARREDA (1988) determinaron que la sonda de neutrones puede llegar a sobrestimar en promedio un 22% los datos, debido a presumir que el contenido de humedad volumétrico (considerado variable independiente en la regresión) no está sujeto a error. Además, hay que considerar el tipo de suelo, localización del tubo y un sin número de variables largamente descritas en artículos sobre el tema.

Por otro lado, la curva de calibración original para la sonda utilizada, entregaba valores de humedad volumétrica incluso superiores a un 100%, lo que inegablemente representa una situación irreal.

Luego, en busca de exactitud, y al igual que lo señalado por ELDER y RASMUSSEN (1994) e IRRICROP TECHNOLOGIES (1998), se prefirió realizar una curva propia, debido primero a la cantidad de piedras presentes en el terreno, y segundo, a la imperfección y falta de base científica de la curva aportada por la fábrica, en el sentido del rango de aplicabilidad de ésta.

La presencia de piedras en el suelo es relevante, por cuanto éstas ocupan un volumen en el perfil, reemplazando con ello suelo y porosidad capaz de almacenar agua. Es decir, y al igual

a lo evidenciado por VILLANUEVA (1998), hay una disminución de la capacidad de retención de agua del suelo.

Realizar una curva de calibración exige obtener muestras gravimétricas de humedad para luego transformarlas a una expresión en base a volumen . Obtenido este dato se establece la correlación lineal con los conteos. El error en la calibración se produce si el suelo tiene un componente importante de piedras debido a que la muestra de suelo analizado en laboratorio no contiene partículas mayores a 2 mm que resultan de un proceso de tamizado (SADZAWKAR, 1990).

Así, al transformar el resultado gravimétrico de humedad, w (masa de agua x masa de suelo seco⁻¹), a uno volumétrico, θ (volumen de agua x volumen total de la muestra⁻¹), se excluye el volumen de todas aquellas partículas mayores a 2 mm, entre las cuales se encuentran las piedras.

Por lo tanto, es necesario ajustar la curva característica de humedad obtenida para el suelo en estudio al volumen de piedras contenidos en él, para poder obtener una curva que relacione conteos de neutrones termalizados con la humedad volumétrica real. Así, este valor real queda expresado por la ecuación:

$$\theta_r = \omega \times Da \times (1-P)$$

Donde:

θ_r = Humedad volumétrica real (cc/cc) del suelo (incluyendo piedras).

ω = Humedad gravimétrica (gr/gr) del suelo determinada por secado en estufa.

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cc).

P = Porcentaje de piedras en base al volumen ocupado en el suelo.

Para determinar el contenido volumétrico de piedras es necesario obtener muestras de suelo de volumen conocido, sin disturbar y que contenga piedras. Estas muestras se tamizan a 2 mm, y se determina el volumen de todos aquellos fragmentos superiores al diámetro del tamiz. De esta manera, el porcentaje de piedras queda determinado por:

$$\text{Porcentaje del volumen de piedras} = \frac{\text{Volumen desplazado por partículas} > 2\text{mm}}{\text{Volumen de la muestra}} \times 100$$

En base a estas relaciones se detectó un 36% de piedras. Luego se procedió a obtener muestras gravimétricas para la calibración de sectores con contenidos de humedad altos y bajos (EVETT y STEINER, 1995), encontrándose bajo estas condiciones los tratamientos 11 y 5 al momento del análisis.

Las muestras gravimétricas se obtuvieron de un camellón contiguo a un tubo de acceso con ubicación equivalente al tubo, al árbol y al microaspersor. Las muestras no se tomaron inmediatamente adyacentes al tubo, para no afectar las raíces del árbol bajo medición, ya que

las piedras presentes exigen realizar una excavación para poder obtener muestras de suelo sin disturbar (necesarias para determinar la densidad aparente) de 90 a 120 cm de profundidad. La curva resultante se puede observar en la Figura 4.

Esta curva (Figura 4), aunque con fundamento científico, carece de confiabilidad por el bajo número de muestras tomadas (GRISMER, BALI y ROBINSON, 1995). Luego, para obtener mayor exactitud en la calibración se utilizaron los datos de lecturas diarias de tensiómetros que, a través de la ecuación de Gardner, $Y_m = a \theta^{-b}$, expresan el contenido de humedad volumétrico. Los valores de a y b se obtuvieron con anterioridad de una curva característica de humedad realizada para el suelo.

Con ello se incorporaron datos de todos los sectores a tres profundidades éstos fueron 30, 60 y 90 cm. Se correlacionaron con mediciones de la sonda de neutrones a la misma profundidad, en meses en que estos datos equivalentes en humedad ($\theta \text{ cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) se correlacionaban positivamente con valores r de Person mayores a 0.7.

Este procedimiento se realizó con todos los tratamientos, obteniéndose una curva que representa la totalidad de los sectores de la experiencia. La correlación obtenida se aprecia en la Figura 5.

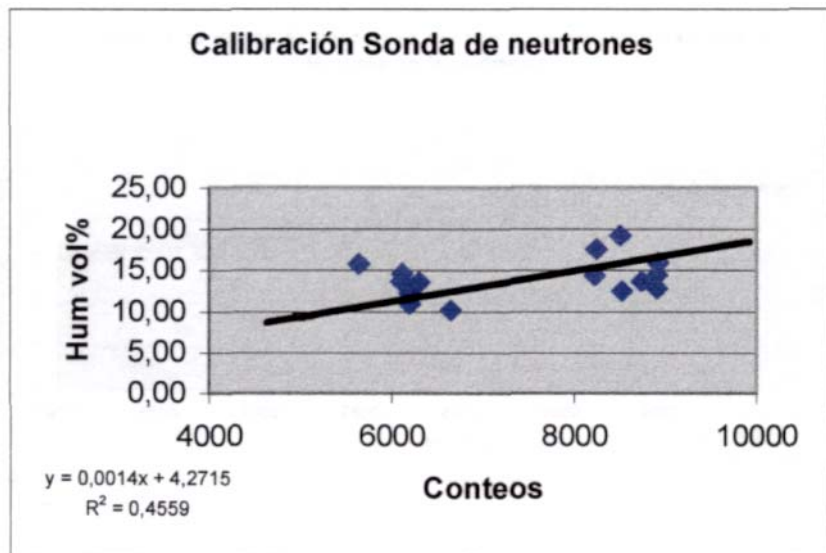


FIGURA 4. Correlación entre 16 pares de muestras gravimétricas de humedad y lecturas de sonda de neutrones.

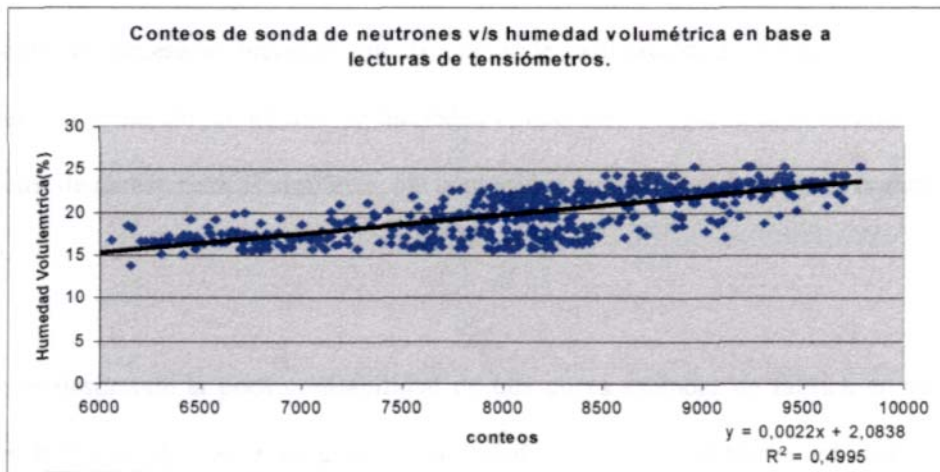


FIGURA 5. Correlación entre contenidos de humedad volumétricos en base a lecturas de tensiómetros y neutrones termalizados. Tanto el modelo como la pendiente de la recta son significativos con un $\alpha=0.05$

La curva de calibración final para el suelo del sector en estudio aplicable al equipo con el cual fue confeccionada es:

$$\text{Humedad volumétrica (cc/cc)} = 0.0022 \times \text{Conteos} + 2,0838 \text{ El}$$

coeficiente de correlación r de Pearson presentó un valor 0.71 y el R^2 0.4995

Finalmente, es necesario recordar que la curva de calibración de fábrica es realizada en tambores con arena con contenido de humedad conocidos. Luego, la aplicabilidad de ésta es para suelos de características similares, sin contenidos importantes de materia orgánica (CPN, 1997b).

De esto se desprende la poca confiabilidad de una curva estándar de fábrica en estudios de balances hídricos, debido a la gran variabilidad de suelos existentes en cualquier país, especialmente respecto al porcentaje de piedras y textura, más aún, si ésta no especifica las condiciones de suelo en la cual es aplicable. Sin embargo, cuando el objetivo es analizar tendencias o estados hídricos del suelo en comparación a momentos de saturación, la curva de calibración adolece de tal importancia, pudiéndose estudiar la evolución de los contenidos de humedades en la zona radicular entre riegos.

En relación a la seguridad del uso de la sonda de neutrones, los registros dosimétricos obtenidos durante el ensayo se encuentran en el Anexo 27.

Con respecto a la evolución de los contenidos hídricos en los diferentes tratamientos bajo mediciones de la sonda de neutrones, es posible evidenciar claramente el efecto de riego sobre la humedad del suelo. Las figuras 6 a 17 muestran su desarrollo a través de la temporada a tres profundidades, equivalentes a las lecturas de tensiómetros, es decir 30, 60 y 90 cm de profundidad. Los tratamientos de 90% de ETc de riego diario (Figura 6) y dos veces por semana (Figura 10), muestran una disminución del contenido de humedad volumétrico a 30 y 60 cm de profundidad casi constante hasta el mes de octubre con respecto al estado inicial, muy cercano a capacidad de campo. Desde esta fecha al mes de enero, la tendencia parece mantenerse pero en menor grado. El tratamiento 9 de 90% ETc semanal (Figura 14) no evidencia una disminución tan marcada, pero con contenidos de humedad bajos en comparación a tratamientos de 100, 110 y 130% de ETc, (Figuras 15, 16 y 17 respectivamente) lo que significa que los aportes de riego de 90% de ETc no logran cubrir las necesidades del cultivo, produciendo el sostenido agotamiento de la humedad aprovechable en el suelo.

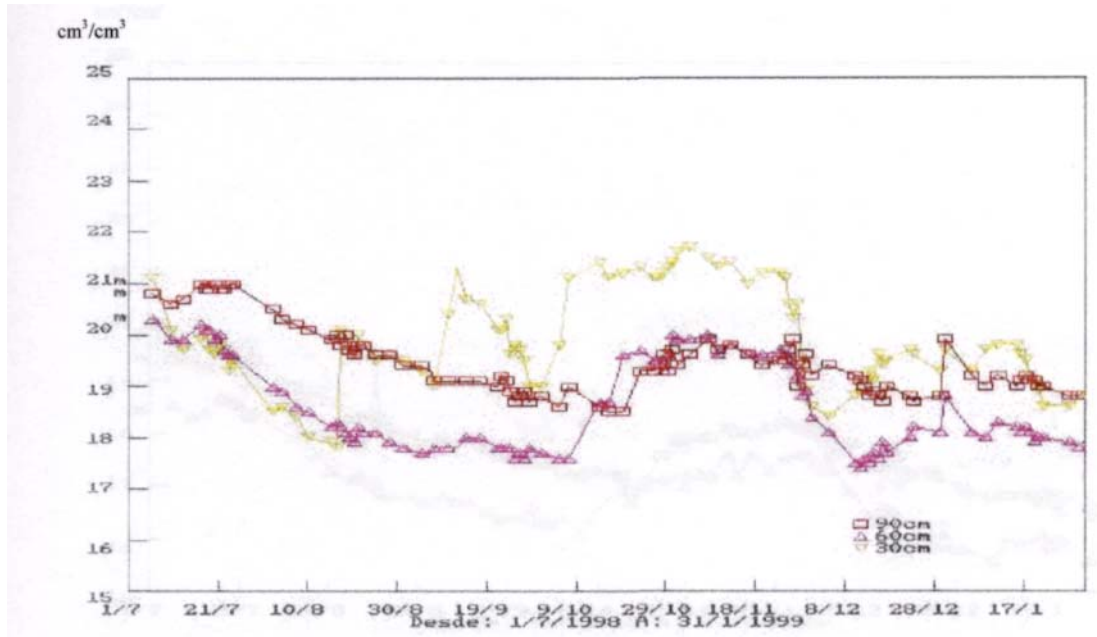


FIGURA 6. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm Tratamiento 1 (90% ETc-Riego diario). Período 1.7.98 - 31.1.99.

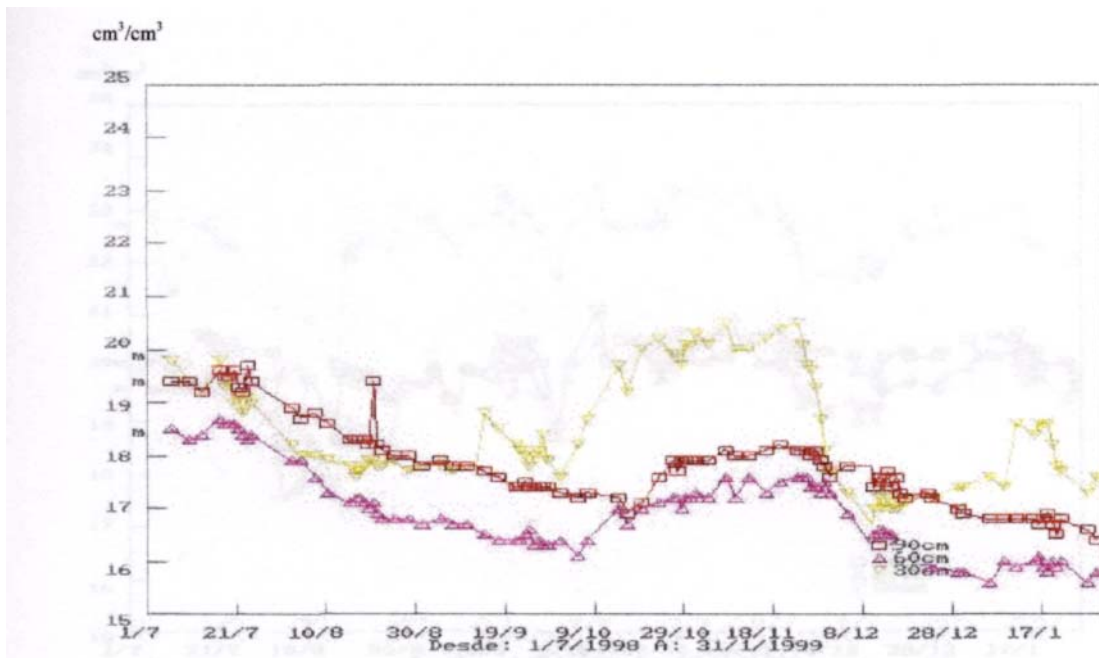


FIGURA 7. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 2 (100% ETc-Riego diario). Período 1.7.98 - 31.1.99.

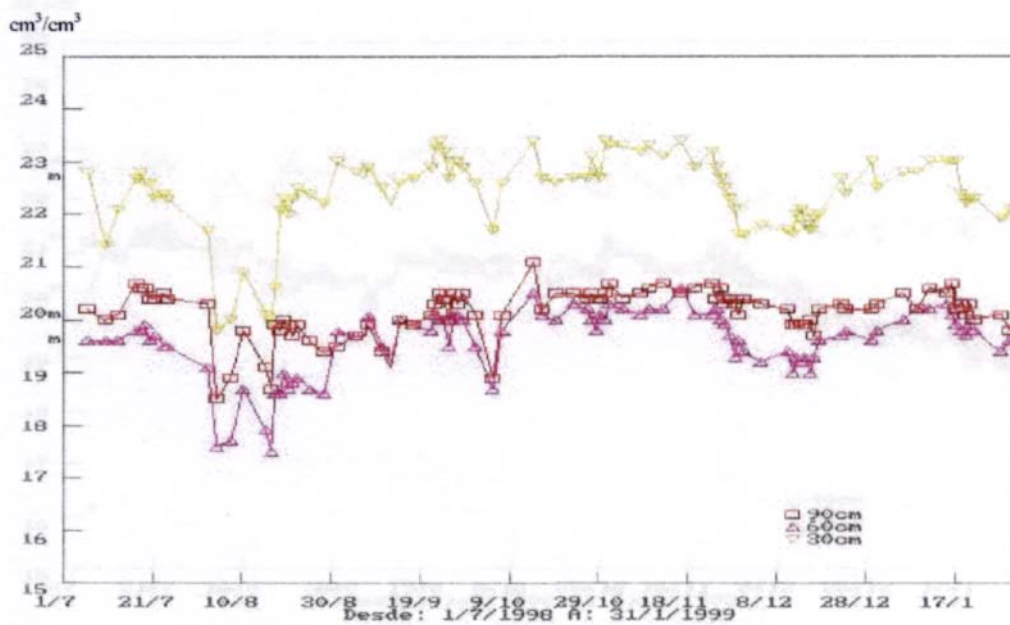


FIGURA 8. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 3 (110% ETc-Riego diario). Período 1.7.98 - 31.1.99.

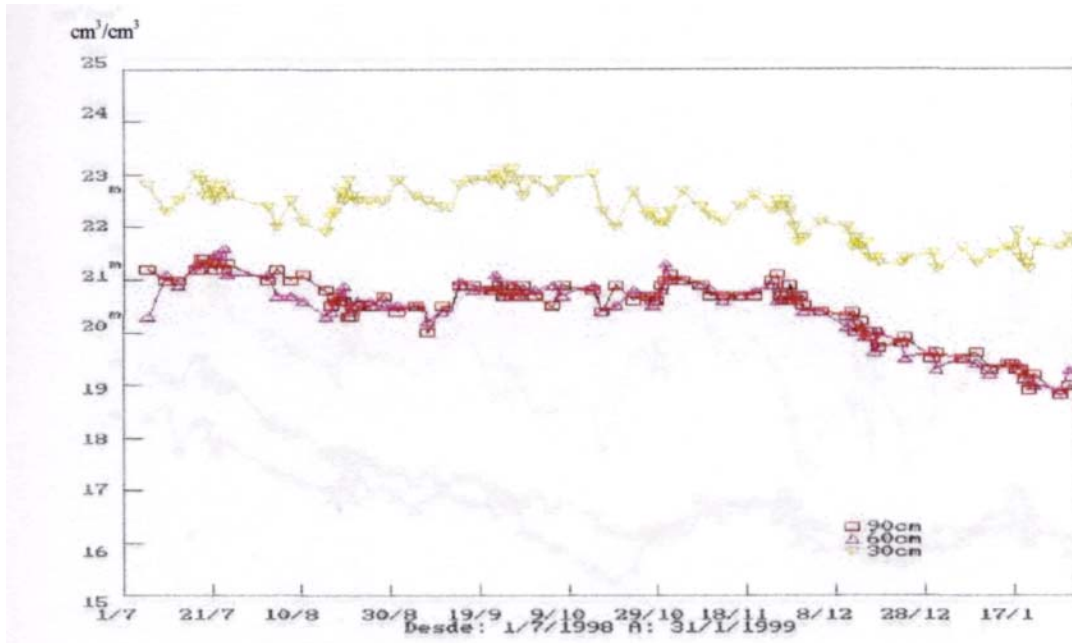


FIGURA 9. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 4 (130% ETc-Riego diario). Período 1.7.98 - 31.1.99.

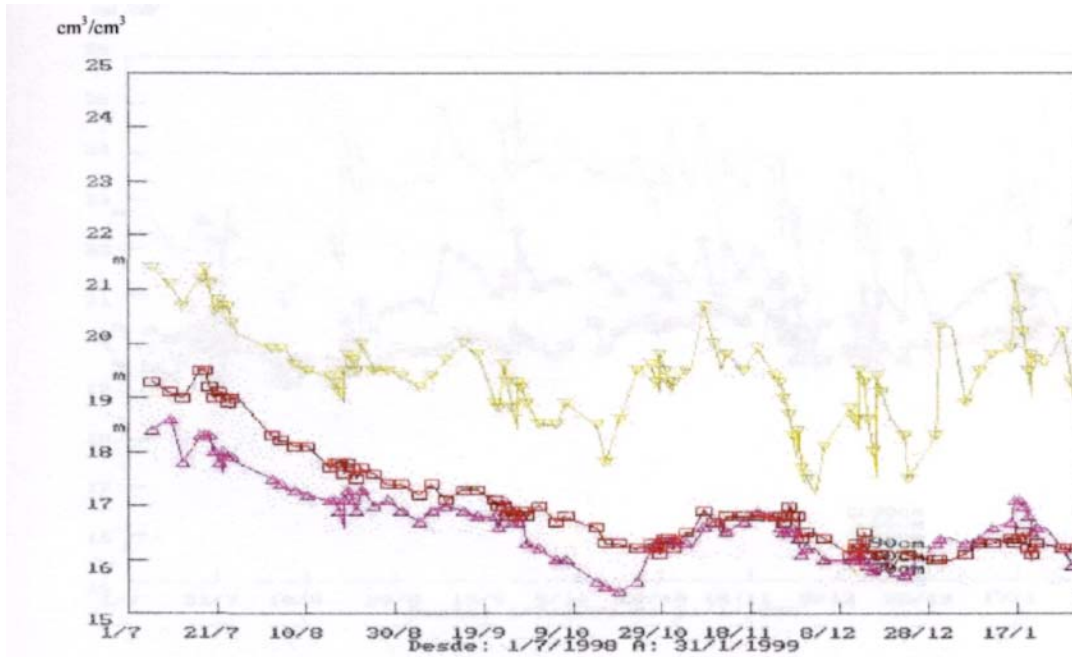


FIGURA 10. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 5 (90% ETc-Riego 2 veces por semana). Período 1.7.98-31.1.99.

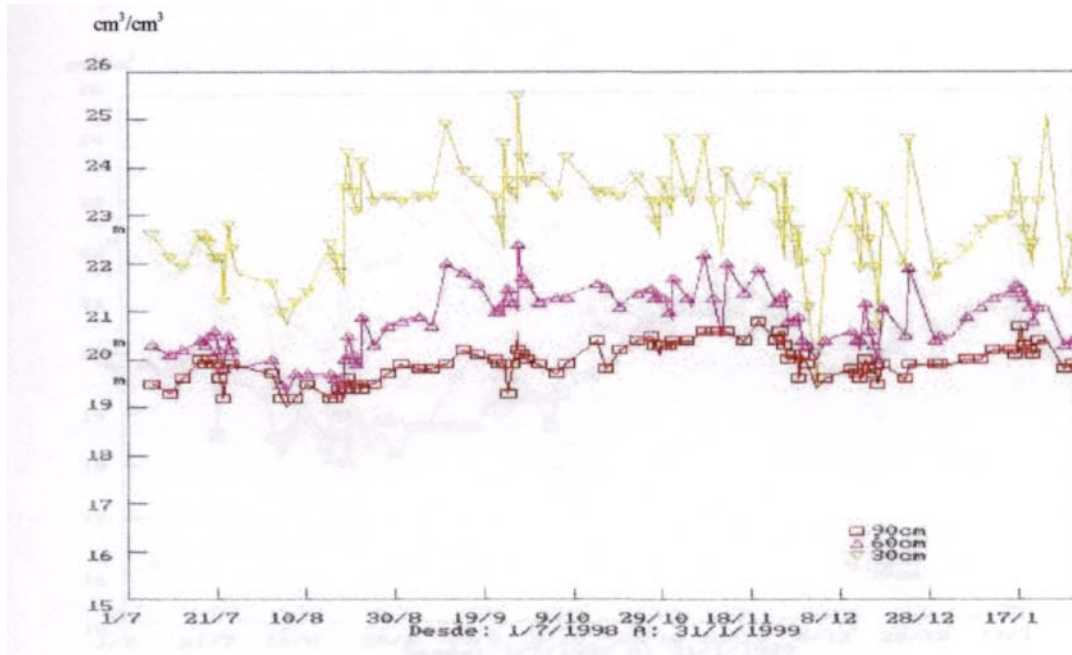


FIGURA 11. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 6 (100% ETC-Riego 2 veces por semana). Período 1.7.98-31.1.99.

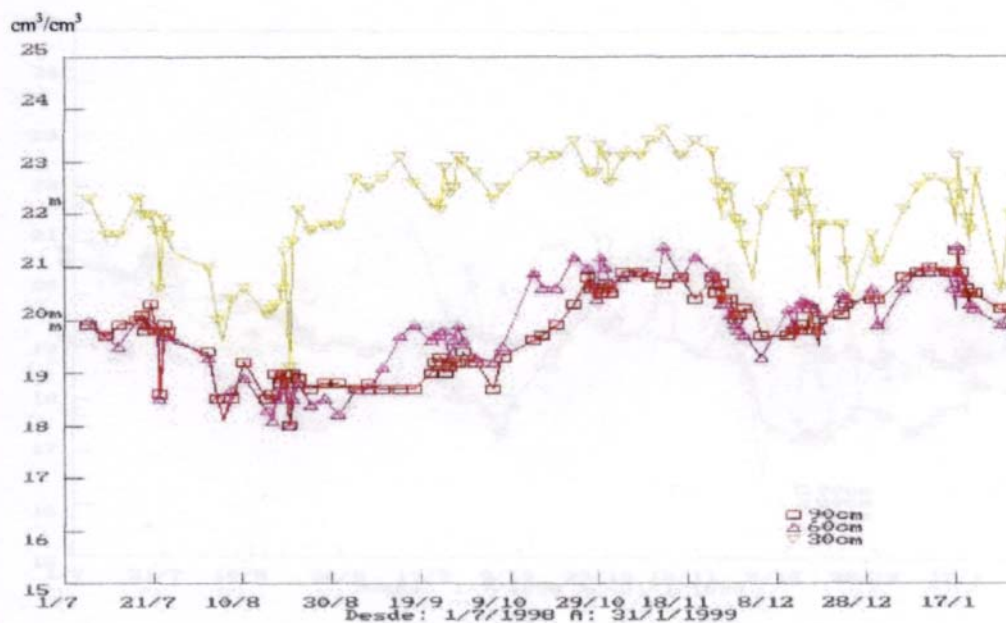


FIGURA 12. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 7 (110% ETc-Riego 2 veces por semana). Período 1.7.98-31.1.99.

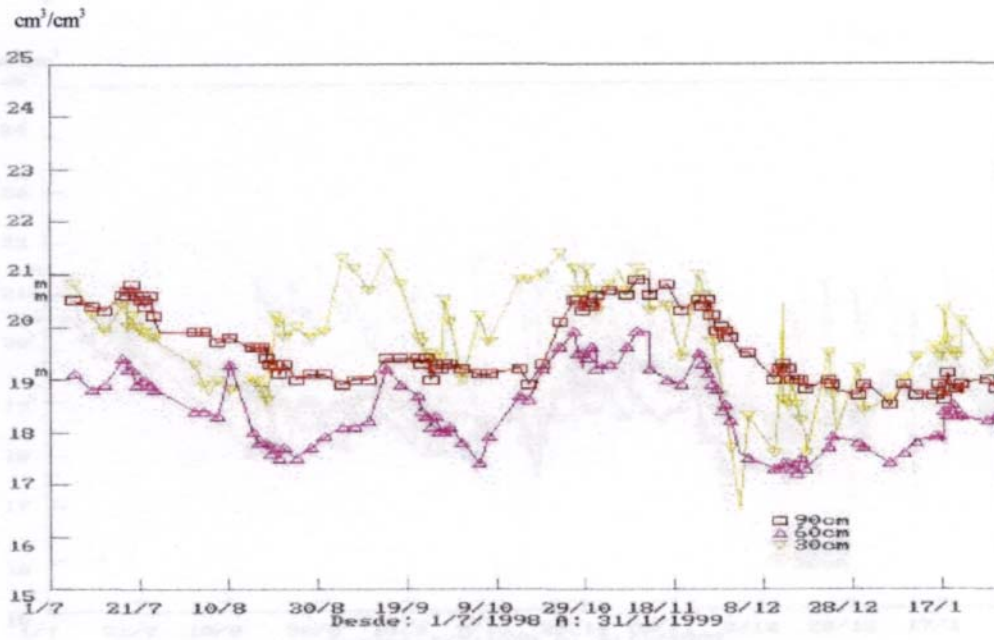


FIGURA 13. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 8 (130% ETc-Riego 2 veces por semana). Período 1.7.98-31.1.99.

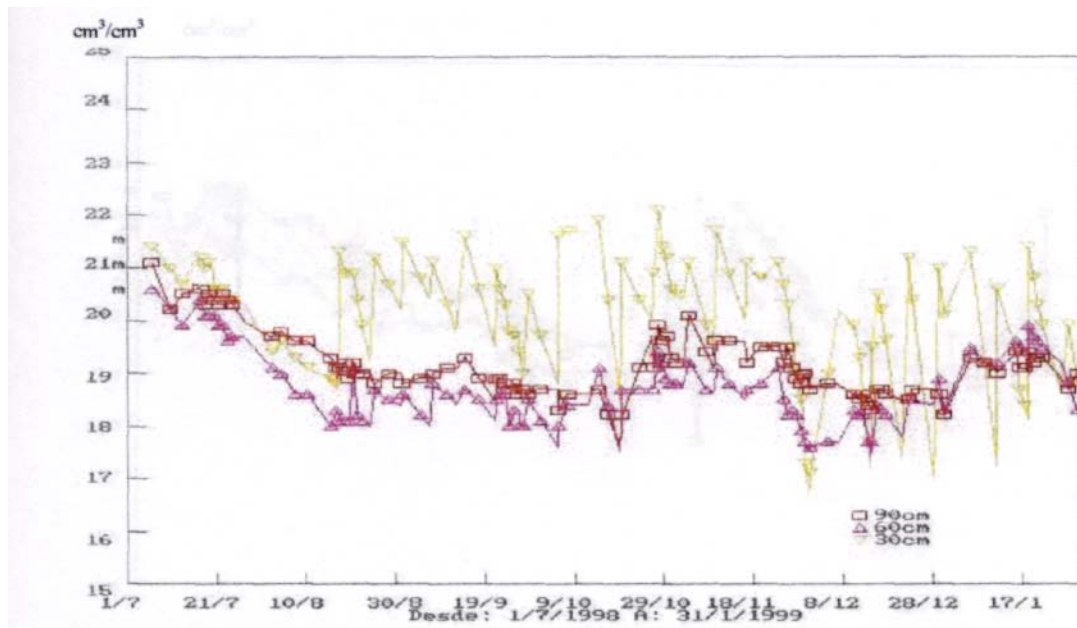


FIGURA 14. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 9 (90% ETc-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

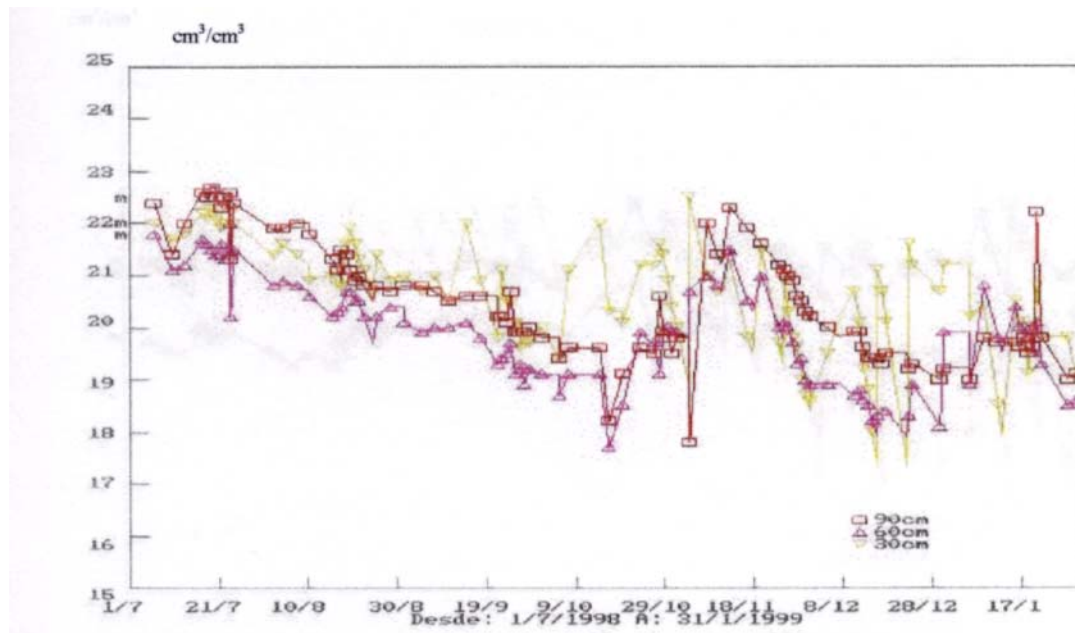


FIGURA 15. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 10 (100% ETc-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

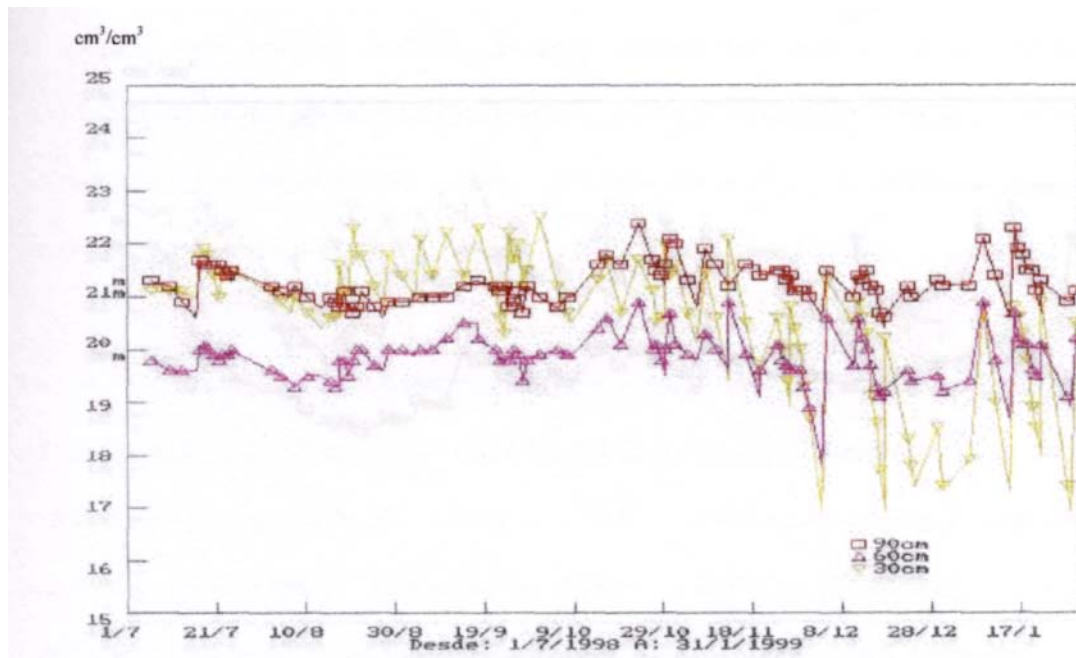


FIGURA 16. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^3^{-1}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 11 (110% ETc-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

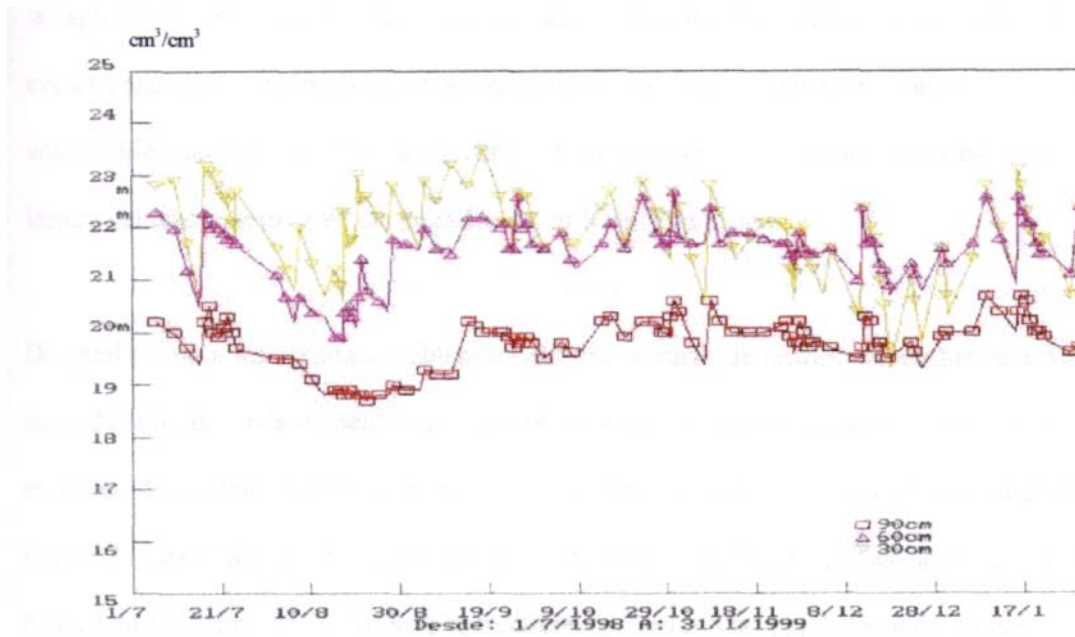


FIGURA 17. Evolución del contenido de humedad volumétrico ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$) a 30, 60 y 90 cm. Tratamiento 12 (130% ETC-Riego semanal). Período 1.7.98 – 31.1.99

Las Figuras 14 a 17 manifiestan claramente la frecuencia de riego semanal en la lectura de 30 cm y en menor grado a 60 y 90 cm de profundidad hasta el mes de octubre. A partir del mes de noviembre, y por efecto de riegos de mayor duración, las lecturas de 60 y 90 cm comienzan a variar en mayor medida en forma posterior a los riegos. Esta es una evidencia de la aplicación de mayores láminas de agua durante los períodos de alta demanda evapotranspirativa, en especial en el tratamiento 130% ETc semanal (Figura 17), situación que también se presentó con las lecturas de tensiómetros y que se manifestó como una lectura del tensiómetro a 90 cm superior a -20 KPa (Figura 28).

De igual forma a los resultados obtenidos por las lecturas de tensiómetros, que se analizarán más adelante, la sonda de neutrones registró los déficit y superávit hídricos, pero en este caso en forma de agotamiento de la humedad en la zona radicular y su posterior recarga con los riegos (Figuras 18 a la 25). Este efecto se observa en la Figura 18, en donde el contenido hídrico en los primeros 70 cm para el tratamiento 5 estuvo la mayor parte del tiempo cercano al punto de recargo. Este punto o estado hídrico del suelo se estableció como referencia al momento en que el sector debería recibir el siguiente riego y representa para todos los tratamientos un potencial mátrico a 30 y 60 cm de -SOKPa.

Luego, los tratamientos 5 y 9 (Figuras 18 y 22), mantuvieron una menor lámina de agua aprovechable a la profundidad respectiva, lo cual se reflejó bajo una escala visual en una decaimiento general del árbol, menor número de brotes y menor área foliar. Por su parte, los tratamientos con aportes mayores de ETc de 100 y 110% evidencian un claro aumento de la cantidad de agua presente (Figuras 23 y 24) con respecto a los tratamientos 5 y 9 (Figuras 18

y 22), lo que a su vez produjo árboles más vigorosos, y con una brotación en su copa mayor a los citados tratamientos deficitarios. Los tratamientos de 130% de ETc con frecuencia diaria y dos veces por semana manifestaron una situación intermedia en base a los aspectos visuales señalados anteriormente. Excepción fue el tratamiento de 130% de ETc semanal que presentó un decaimiento similar a los tratamientos de 90% de ETc en cualquier frecuencia, pero en este caso por un efecto de un exceso de agua en la zona radicular, como lo señalan las Figuras 17 y 25. De igual forma, en dicho tratamiento (tratamiento 12) se obtuvieron lecturas por sobre el punto lleno, fijado para el estado de capacidad de campo, que representan mediciones luego de riegos que llevaron al suelo por un lapso de tiempo a saturación. Concordante con esto, a medida que las láminas de riego iban aumentando en la temporada, estos momentos de saturación se hacían más frecuentes (Figura 25), lo que se manifiesta en el gráfico como líneas que sobrepasan el punto de recargo. La lectura siguiente, sin embargo, es notablemente inferior, lo cual representa la pérdida de agua en profundidad.

Al analizar la evolución de las humedades a las diferentes profundidades en las Figuras 6 a la 17 se observa un período posterior al mes de septiembre, en el cual la humedad aumenta notoriamente para luego disminuir en el mes de diciembre. Tal aumento inicial se debería al término de la cosecha de la fruta hacia fines de septiembre en conjunto con una caída de hojas viejas que disminuyeron probablemente las demandas de evapotranspiración de los árboles. Tal causa se evidencia notablemente en las Figuras 6 a la 8. Este mismo comportamiento se observó con las lecturas de potencial mátrico de tensiómetros, resultados que se analizarán en el punto siguiente.

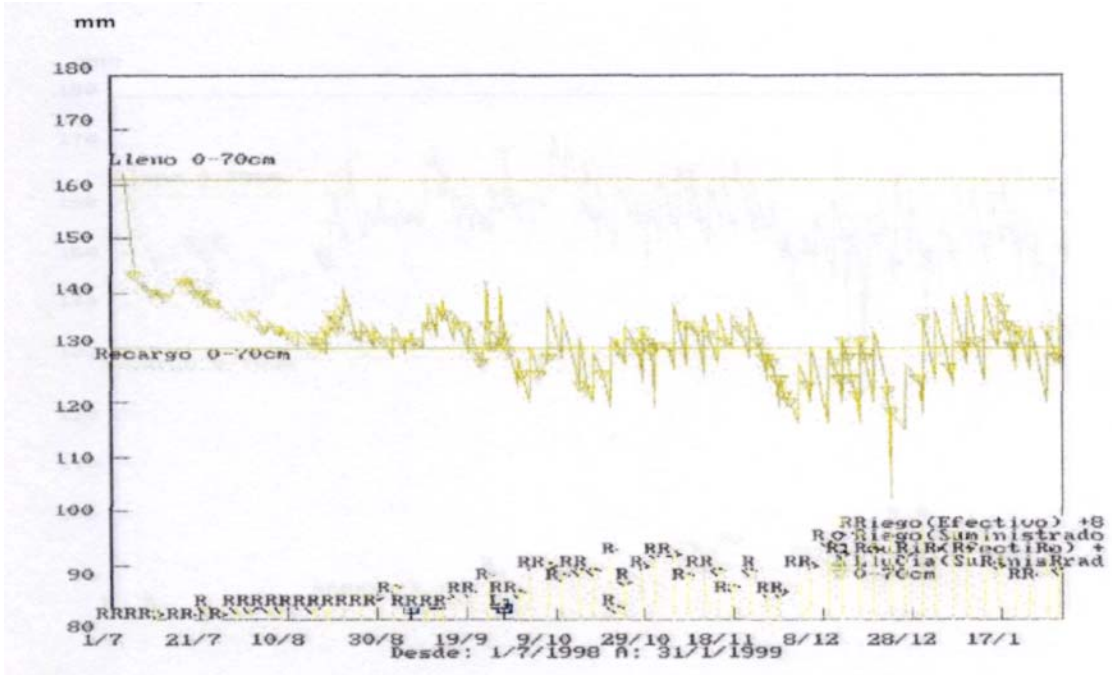


FIGURA 18. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70cm, para el tratamiento 5 (90% ETc-Riego dos veces por semana). Período 1.7.98 - 31.1.99.

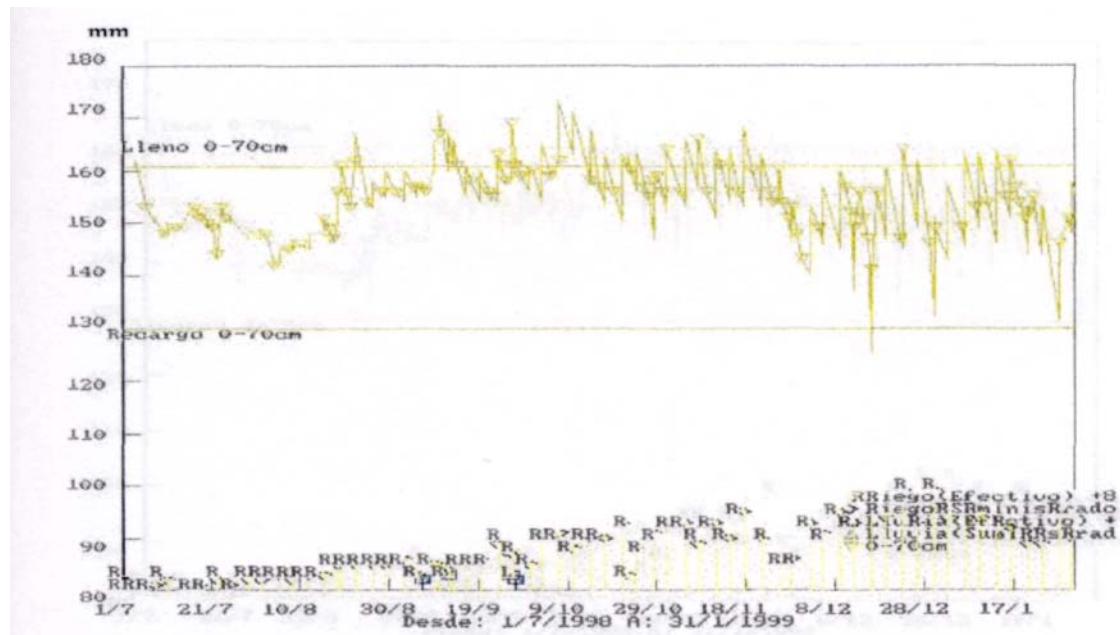


FIGURA 19. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 6 (100% Etc-Riego dos veces por semana). Período 1.7.98 - 31.1.99.

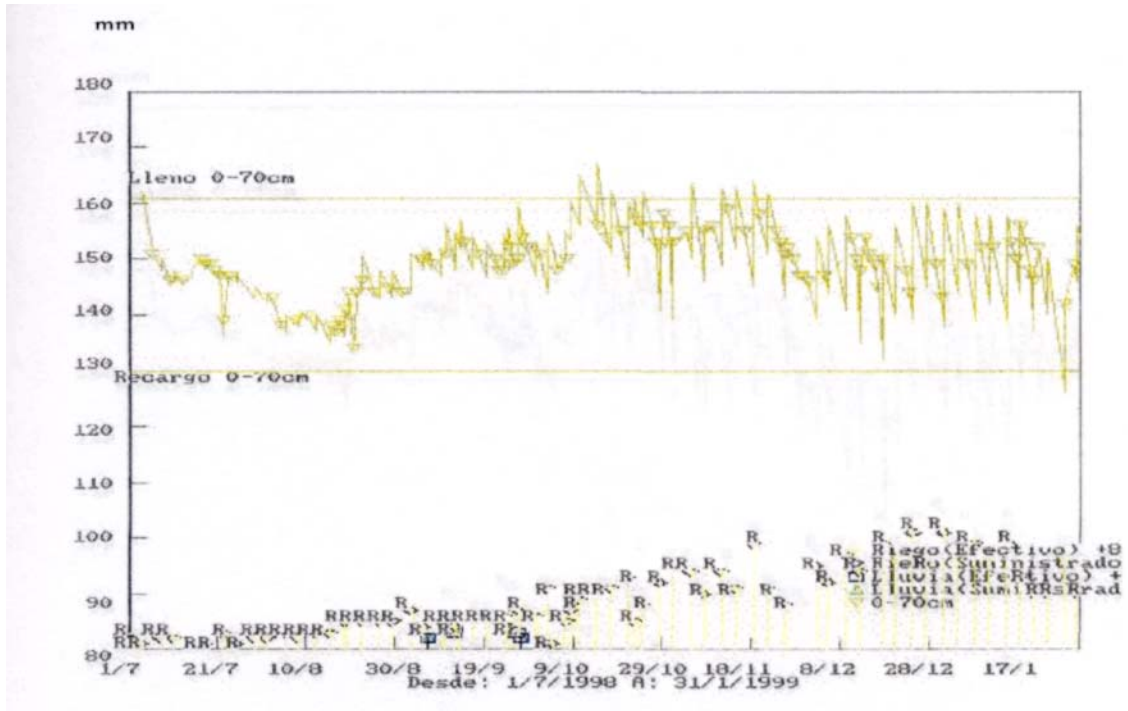


FIGURA 20. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70cm, para el tratamiento 7 (110% ETc-Riego dos veces por semana). Período 1.7.98 - 31.1.99.

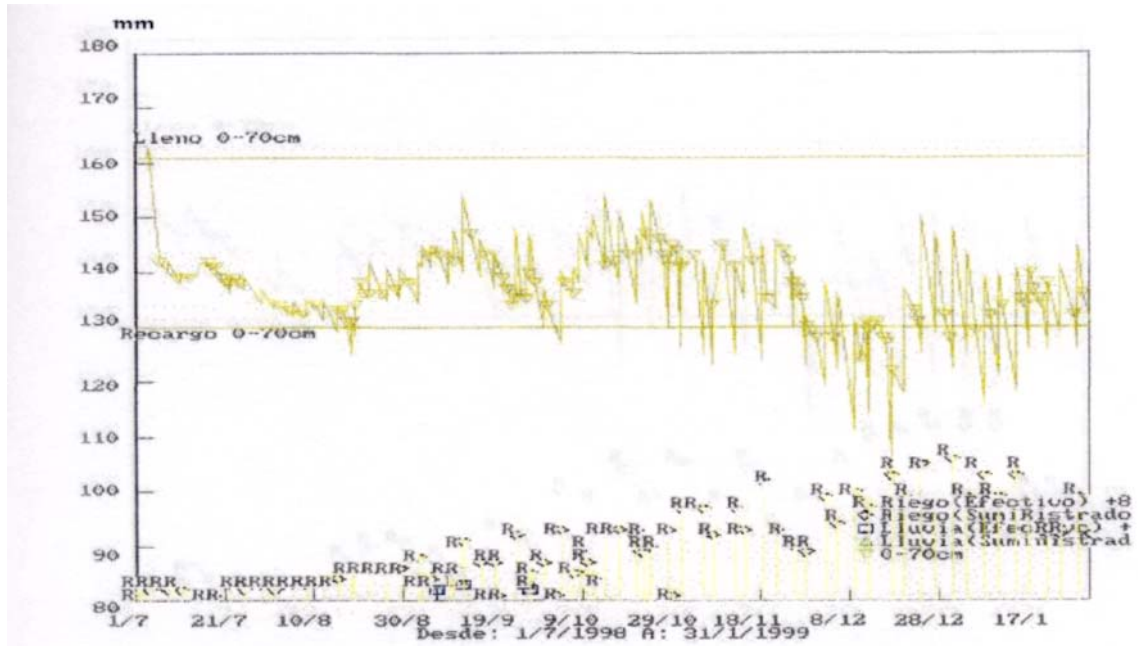


FIGURA 21. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 8 (130% ETc-Riego dos veces por semana). Período 1.7.98 - 31.1.99.

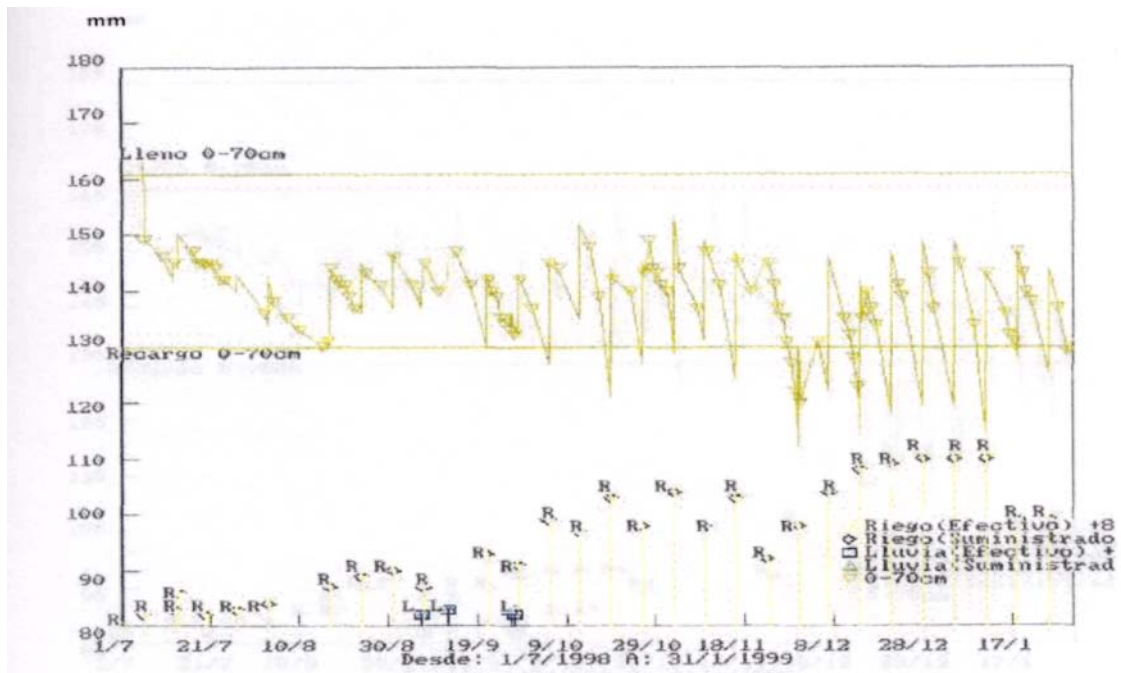


FIGURA 22. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 9 (90% ETc-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

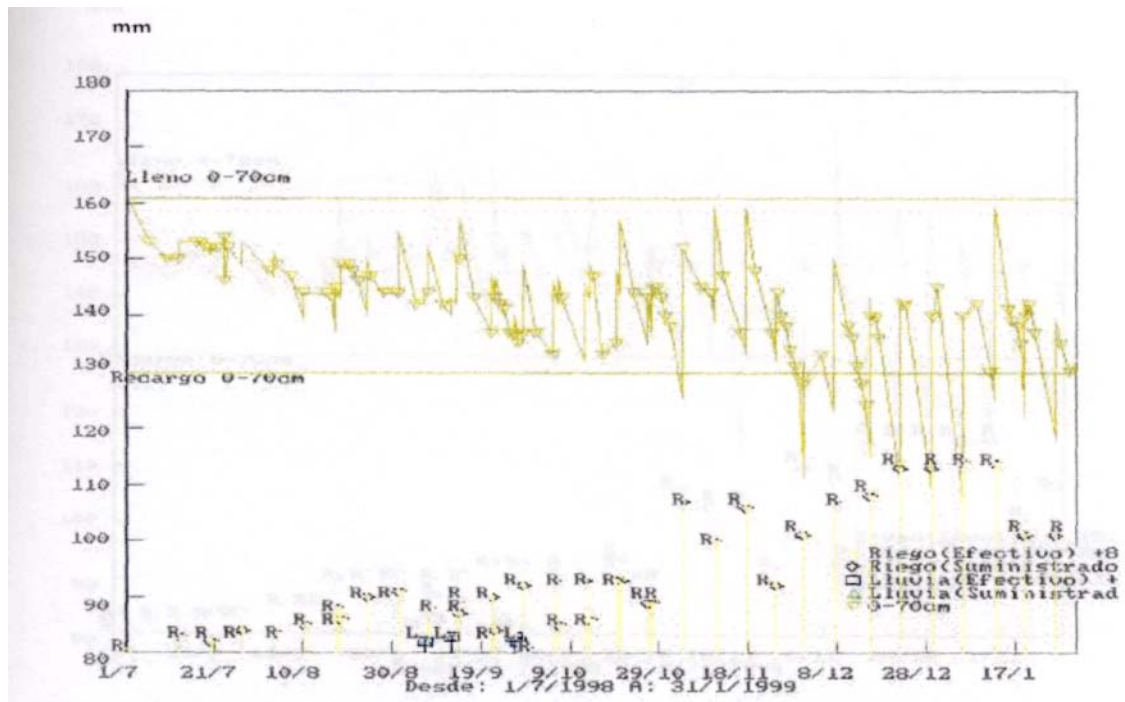


FIGURA 23. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 10 (100% ETC-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

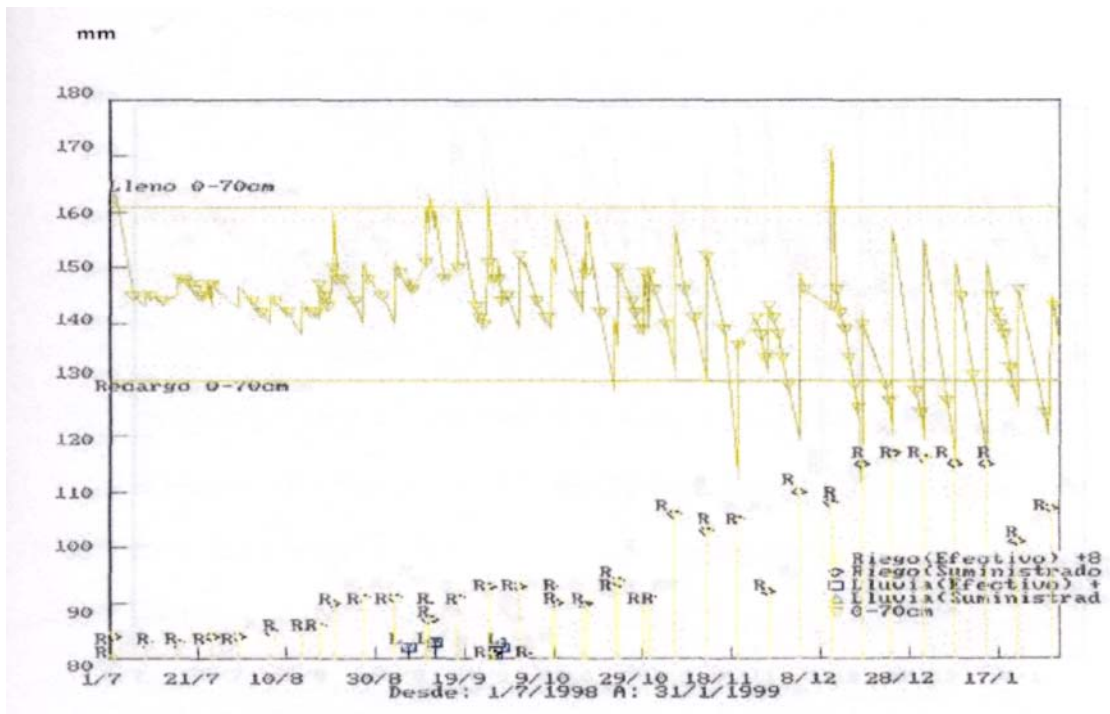


FIGURA 24. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 11 (110% ETC-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

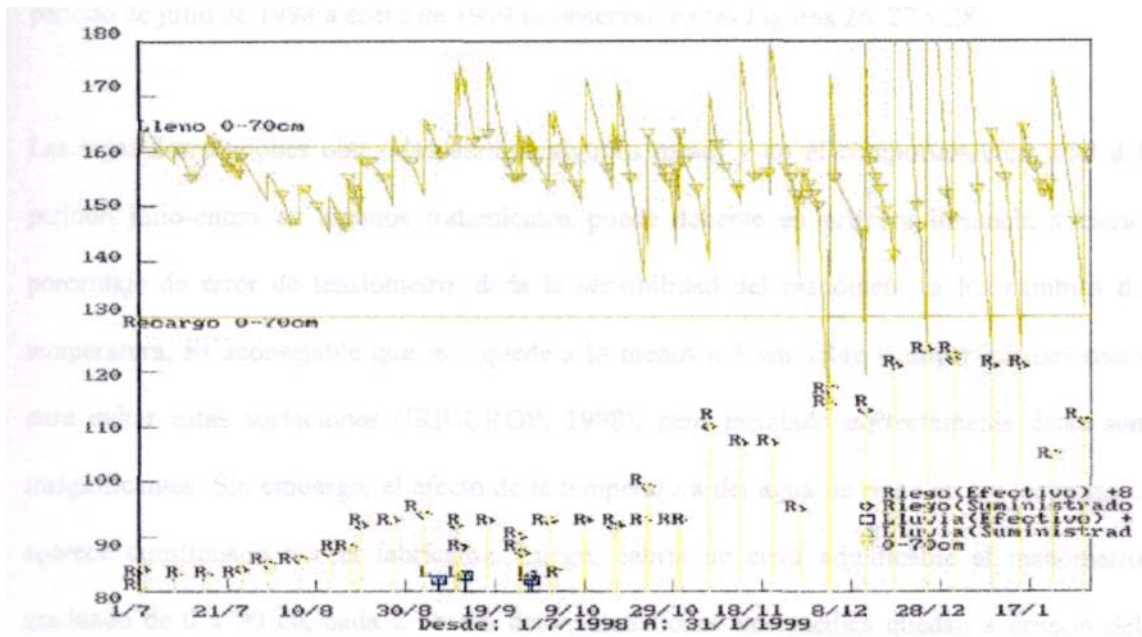


FIGURA 25. Lámina de agua en milímetros contenida en la estrata 0-70 cm, para el tratamiento 12 (130% ETC-Riego semanal). Período 1.7.98 - 31.1.99.

4.2.3. Tensiómetros

Las correlaciones de los contenidos de humedad entre las mediciones obtenidas en base a tensiómetros y la sonda de neutrones se aprecian en el CUADRO 6. Las lecturas para el período de julio de 1998 a enero de 1999 se observan en las Figuras 26, 27 y 28.

Las bajas correlaciones obtenidas durante algunos meses y en el comportamiento total del período julio-enero en algunos tratamientos puede deberse en primera instancia a cierto porcentaje de error de tensiómetro, dada la sensibilidad del manómetro a los cambios de temperatura. Es aconsejable que este quede a lo menos a 5 cm sobre la superficie del suelo para evitar estas variaciones (IRRICROP, 1998), pero instalado correctamente éstas son insignificantes. Sin embargo, el efecto de la temperatura del agua de riego en las lecturas no aparece cuestionado por el fabricante. Luego, cabría un error adjudicable al manómetro graduado de 0 a 90 cb, cada 2 cb. Es decir, mediciones intermedias quedan a criterio del operador. Si esto lo relacionamos con los conteos del aspensor de neutrones, que toma datos de 5 cifras, se podría explicar la mala correlación de algunos tensiómetros o incluso valores negativos dados en algunos meses. Esto claramente refleja un mal comportamiento de los tensiómetros del sector en cuestión, pues un aumento en los conteos no puede significar una disminución en el contenido hídrico, debido a las explicaciones del caso expuestas en la revisión bibliográfica. Otra posible causa puede ser la natural heterogeneidad del suelo en asociación al sistema radical del palto, en el sentido que es imposible asegurar que el entorno de la cápsula porosa y del tubo de acceso de la sonda tengan la misma concentración de raíces, y por lo tanto la misma tasa de extracción de agua.

CUADRO 6. Correlación entre contenido de humedad registrada en base a lecturas de tensiómetros v/s Sonda de Neutrones. Coeficiente de regresión r de Pearson.

Sector	Profundidad (cm)	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	Jul98-Ene99
		r	r	r	r	r	r	r	r
101	90cm	-0,55*	0,92*	0,57*	-0,38	0,23	0,17	-0,33	0,81*
101	60cm	0,71	0,05	0,29	0,91*	0,82*	0,26	-0,10	0,76*
101	30cm	0,55	0,47	0,52	0,96*	0,94*	0,01	0,64*	0,83*
102	90cm	-0,04	0,42	0,42	0,80*	0,29	0,25	-0,71*	0,79*
102	60cm	0,58	0,12	0,42	0,75*	-0,18	-0,53	0,11	0,62*
102	30cm	0,07	-0,68*	0,71*	0,83*	0,77*	0,48	-0,01	0,52*
103	90cm	0,06	-0,21	0,79*	0,42	0,71*	0,65*	-0,02	0,54*
103	60cm	0,28	-0,28	0,34	0,52	0,74*	0,53	0,43	0,70*
103	30cm	0,34	-0,17	-0,36	0,34	0,93*	0,67*	0,67*	0,56*
104	90cm	-0,30	0,76*	-0,68*	0,27	-0,39	0,93*	0,74*	0,64*
104	60cm	-0,46	0,48	0,63*	0,32	-0,32	0,86*	-0,45	0,73*
104	30cm	0,11	-0,38	0,47	-0,31	0,07	0,82*	-0,07	0,45*
105	90cm	0,40	0,96*	0,73*	0,14	-0,22	-0,63*	-0,13	0,88*
105	60cm	0,42	-0,51	-0,17	0,16	0,05	0,32	-0,22	0,18
105	30cm	0,63	-0,59*	0,27	0,22	0,61*	0,27	0,77*	0,11
106	90cm	0,02	-0,38	0,19	0,13	-0,32	-0,21	0,10	-0,30*
106	60cm	0,16	0,78*	-0,13	0,01	0,77*	-0,18	0,28	0,38*
106	30cm	0,14	0,93*	0,06	-0,49	0,80*	-0,16	0,44	0,66*
107	90cm	0,43	0,14	-0,27	0,80*	0,84*	0,78*	0,88*	0,85*
107	60cm	0,25	0,47	0,44	0,56*	0,93*	0,63*	0,75*	0,83*
107	30cm	0,49	0,29	0,86*	0,42	0,84*	0,81*	0,87*	0,72*
108	90cm	0,05	0,73*	0,60*	0,69*	0,77*	-0,51	-0,17	-0,03
108	60cm	0,51	0,07	-0,21	-0,11	0,70*	0,11	-0,24	0,13
108	30cm	0,28	0,58*	0,08	0,05	0,02	0,63*	0,55	0,27*
109	90cm	0,63	0,95*	0,70*	0,72*	0,66*	0,41	-0,02	0,62*
109	60cm	0,66	0,04	0,48	0,42	0,92*	0,03	0,33	0,18
109	30cm	0,75*	0,74*	0,55*	0,73*	0,64*	0,80*	0,23	0,56*
110	90cm	0,07	0,83*	0,46	0,56*	0,85*	0,20	0,46	0,15
110	60cm	0,65	0,60*	0,47	0,37	0,40	0,48	0,86*	0,32*
110	30cm	0,60	0,67*	0,59*	0,79*	0,86*	0,68*	0,54	0,59*
111	90cm	-0,22	0,72*	-0,02	0,73*	0,72*	-0,25	0,31	0,51*
111	60cm	-0,01	0,83*	0,11	0,53	0,70*	0,72*	0,51	0,65*
111	30cm	0,35	0,73*	0,60*	0,10	-0,21	0,76*	0,69*	0,42*
112	90cm	0,11	0,89*	-0,09	0,69*	0,27	0,35	0,27	0,42*
112	60cm	-0,14	0,65*	0,30	0,59*	0,27	0,07	-0,32	0,37*
112	30cm	-0,30	0,29	0,23	0,59*	-0,02	0,92*	0,83*	0,22*

*: El modelo es representativo y existe Regresión lineal, con un 5% de significancia.

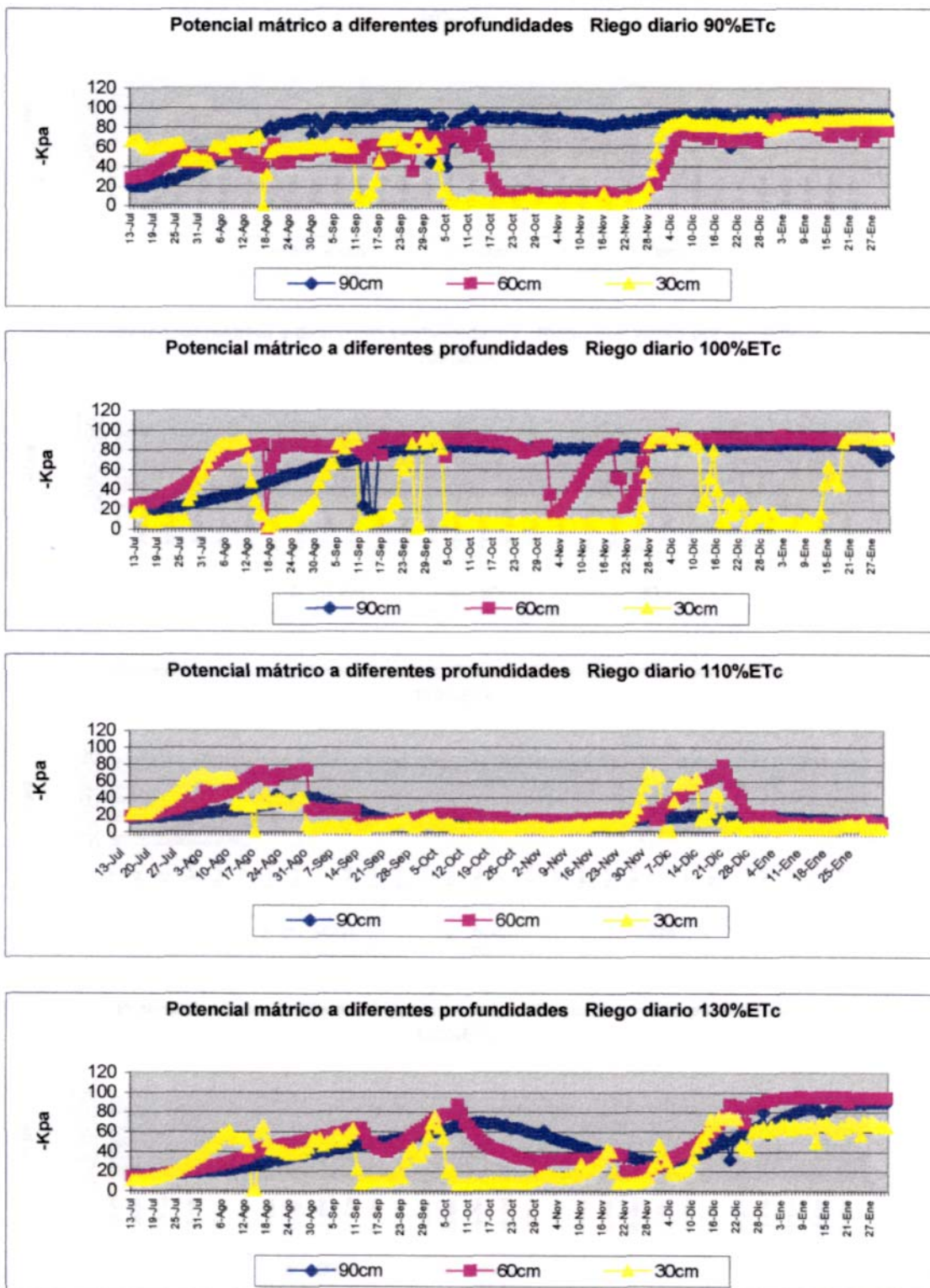


FIGURA 26. Potencial mátrico a 30, 60 y 90cm de prof. en tratamientos de riego diario.

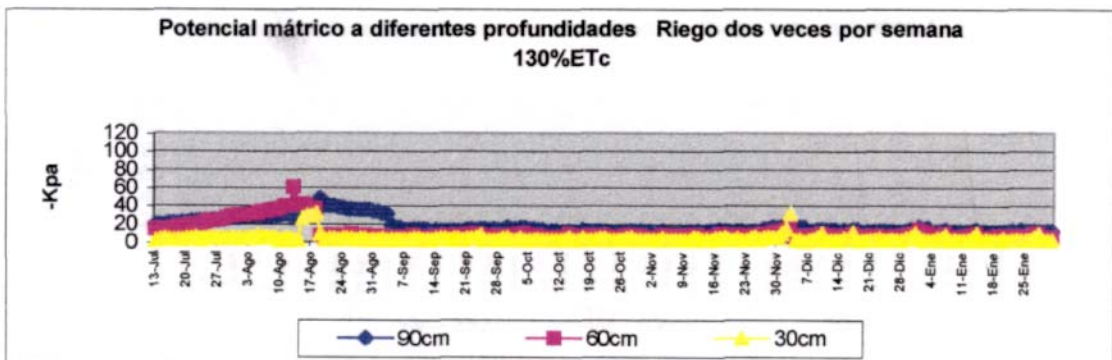
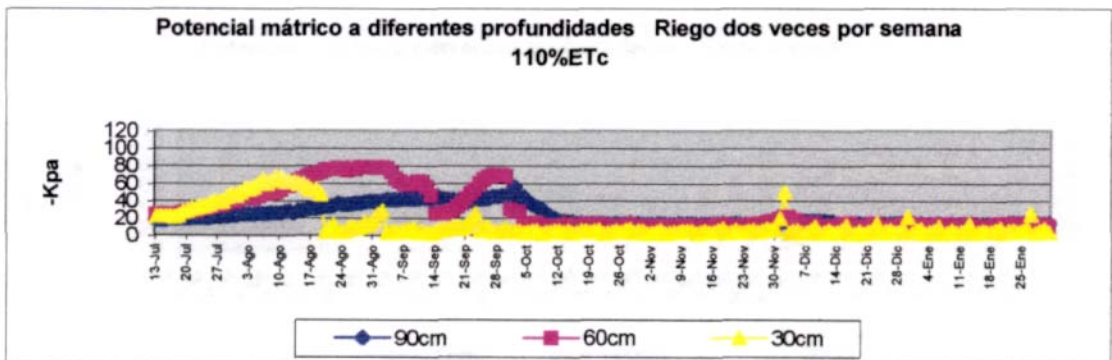
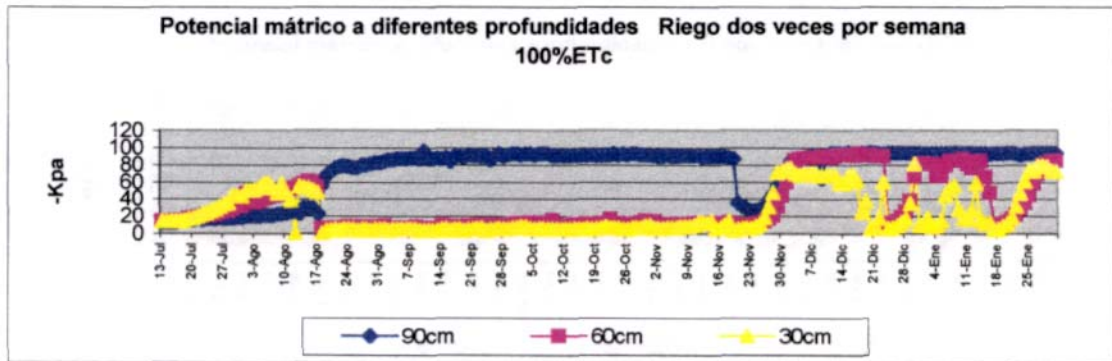
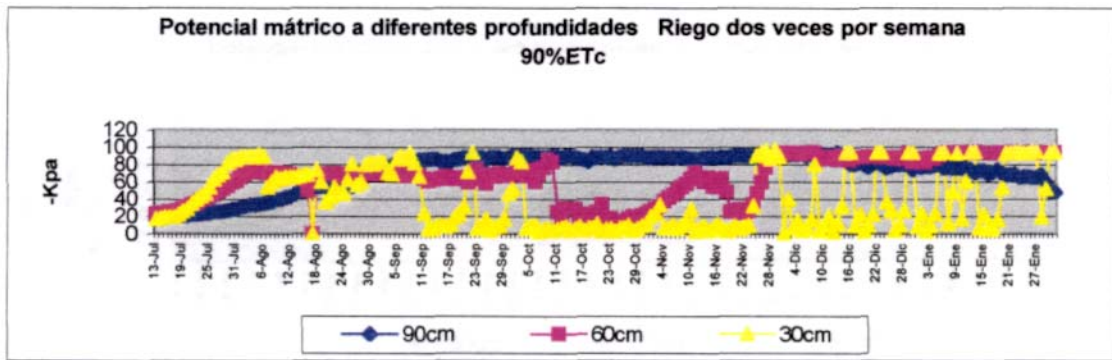


FIGURA 27. Potencial mátrico a 30, 60 y 90cm en tratamientos de riego dos veces por semana.

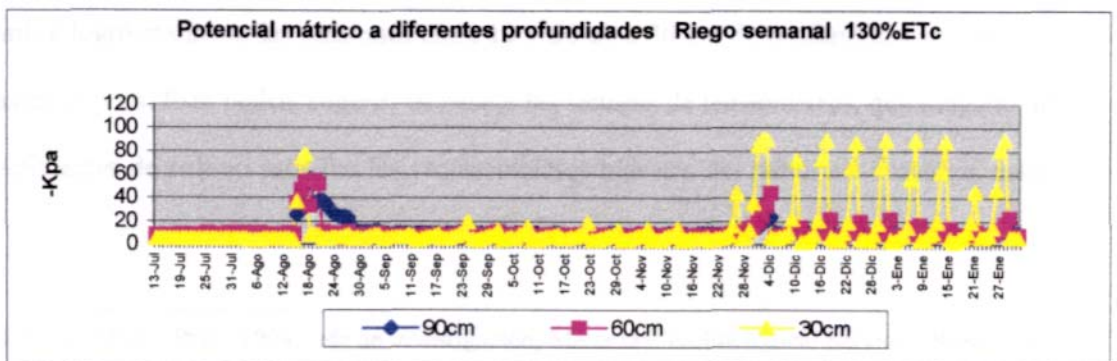
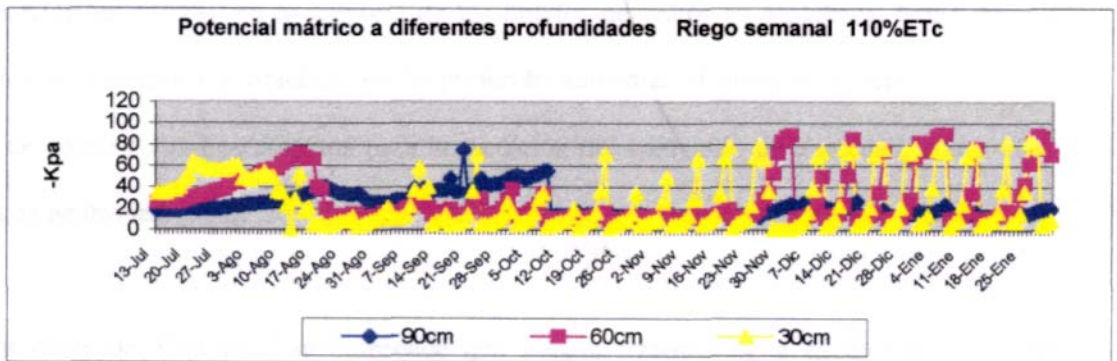
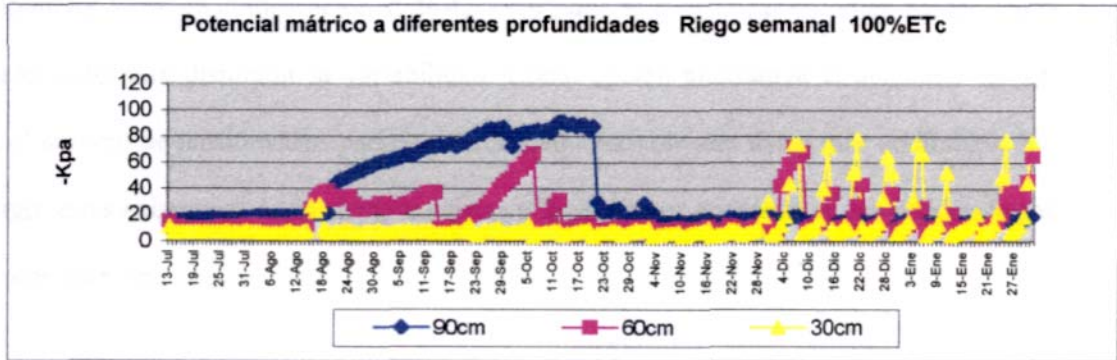
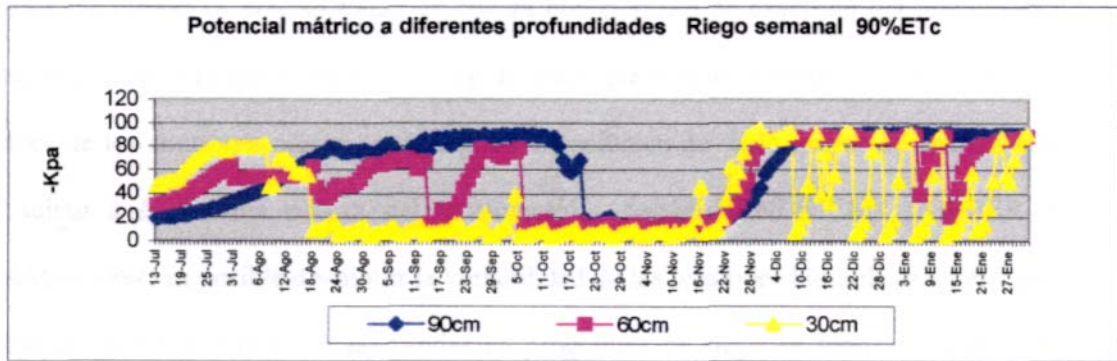


FIGURA 28. Potencial mátrico a 30, 60 y 90 cm en tratamientos de riego semanal.

Dentro de los errores es preciso tomar en cuenta que el grado de exactitud del instrumento aumentará en directa relación con el volumen de suelo que este logre medir. Es un hecho que el alcance de los neutrones otorga a este equipo un volumen de suelo mayor de análisis que aquél sujeto a la cápsula porosa del tensiómetro. Según HENDRICKX, NIEBER y SICCAMMA (1994) es posible disminuir la variabilidad de las tensiones hidráulicas en el suelo con cápsulas porosas mayores a las usadas en programas de riego en todo el mundo. Un tamaño de 88,3 cm² en comparación al de 42,3 cm², que es el estándar mundial, parece ser lo más adecuado para disminuir la variabilidad. Como opción alternativa el aumentar en 1,6 veces el número de tensiómetros parece ser adecuado para obtener datos más confiables. Sin embargo, estas exigencias están siempre sujetas a limitaciones económicas que pueden llegar a ser considerables.

Según KÖHNE (1998)* en la mayoría de los huertos de paltos en Sudáfrica, luego de una evaluación económica y práctica, se ha preferido aumentar el número de tensiómetros en lugar de adquirir equipos costosos para la medición del contenido de humedad, como es la sonda de neutrones.

De los datos del Cuadro 7 se desprende que ningún tratamiento, a excepción del 4, en noviembre logró mantener las tensiones entre 10 y 50 cb a 30 cm de profundidad por más de 20 días en un mes. Esto podría sugerir, en base a las lecturas de tensiómetros, que ninguno de los coeficientes de cultivo satisfizo los requerimientos hídricos del palto, sin embargo, estos

*KÖHNE, S. MSC. PhD. 1998. Jefe de Investigación, Merensky Technological Services. Westfalia Estáte. Sudáfrica. Comunicación Personal.

estuvieron altamente influenciados por el coeficiente de bandeja, el cual requeriría ajustes más precisos durante la temporada.

Estos ajustes del coeficiente de bandeja discutidos anteriormente (Cuadro 3), se ven reflejados claramente en las Figuras 26, 27 y 28. A pesar de la rectificación del K_b de 0.8 a 1.1 realizado el 18 de agosto, lo que significó un aumento de los aportes hídricos de un 37%, los tratamientos deficitarios (90% ETc) mantuvieron sus tensiones a 30 y 60 cm por debajo de los -50 KPa, mientras que los tratamientos de 130% ETc redujeron sus tensiones a valores superiores a -20 KPa, lo que significa que estos valores se ajustaban bastante a la realidad de las condiciones de evaporación de bandeja. Excepción son los tratamientos 4 y 9, que mantuvieron tensiones inferiores a -40 KPa y superiores a -10 KPa respectivamente, incluso luego de realizar un cambio de ubicación de los tensiómetros, a causa de una probable mala ubicación.

Al comparar la evolución de las tensiones en el suelo (Figuras 26 a 28), y por consiguiente indirectamente el contenido de humedad del suelo, con las lecturas de la sonda de neutrones para las mismas fechas (Figuras 6 a 17), se puede observar que pese a haber malas correlaciones en ciertos meses y tratamientos (Cuadro 7), las tendencias son similares con respecto a los diferentes tratamientos. Es así como por ejemplo con un 90% de ETc (Figuras 26 a 28) las tensiones a 30 y 60 cm indican para los meses de julio a octubre y de diciembre a enero, contenidos hídricos en el suelo menores con respecto a los tratamientos de mayores porcentajes de ETc, y específicamente con tensiones superiores a los -50 KPa e incluso -80 KPa, lo que provocó en reiteradas ocasiones la caída de la columna de agua. Esto se observa como una brusca discontinuidad de lecturas que alcanzan el valor de 0 KPa.

CUADRO 7. Días con potenciales mátricos entre -10 KPa y -50 KPa a 30, 60 y 90 cm de profundidad según el tratamiento de riego. Período julio de 1998 a enero 1999.

Prof.	Tratamiento	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	
90cm	Riego diario	1	19	6	0	2	0	0	
60cm		90% ETc	17	11	12	12	22	3	0
30cm			5	4	4	3	4	0	0
90cm		2	19	19	3	0	0	0	0
60cm		100% ETc	16	0	0	0	13	0	0
30cm			6	11	6	2	2	13	5
90cm		3	19	31	30	31	30	31	30
60cm		110% ETc	19	11	25	31	30	18	21
30cm			13	18	5	2	5	8	1
90cm		4	19	31	19	0	26	19	0
60cm		130% ETc	19	27	10	17	30	12	0
30cm			19	17	15	7	23	14	1
90cm	Riego dos veces por semana	5	19	15	0	0	0	2	
60cm		90% ETc	15	1	0	21	15	0	0
30cm			12	4	8	2	7	11	8
90cm	dos veces por semana	6	19	17	0	0	9	0	0
60cm		100% ETc	19	10	1	23	22	6	10
30cm			19	6	0	0	9	6	15
90cm	semanal	7	19	31	30	30	30	31	
60cm		110% ETc	19	9	10	31	26	25	25
30cm			19	6	5	0	0	5	2
90cm	semanal	8	19	31	30	30	27	31	31
60cm		130% ETc	19	17	0	0	2	3	2
30cm			0	4	0	0	0	3	0
90cm	Riego semanal	9	19	10	0	12	28	0	0
60cm		90% ETc	12	10	9	26	25	0	4
30cm			5	7	9	4	7	9	10
90cm	semanal	10	19	24	0	11	30	31	31
60cm		100% ETc	10	31	26	13	8	19	26
30cm			1	3	1	1	2	10	14
90cm	semanal	11	19	31	29	26	30	31	31
60cm		110% ETc	19	18	30	24	24	22	15
30cm			7	14	14	10	10	6	8
90cm	semanal	12	0	16	6	2	5	14	9
60cm		130% ETc	0	5	1	1	5	15	12
30cm			0	1	2	4	6	4	7

Por el contrario, con un 130% de ETc, las tensiones se encontraban mayormente cercanas a cero, incluso a 90 cm, a excepción de los riegos diarios, producto de la menor profundización del agua de riego por efecto de una menor acumulación de ETo. Esto sugiere, que los riegos que satisfacen correctamente las demandas de los árboles, es decir, que cumplen con los requerimientos de evapotranspiración y permiten una adecuada difusión de oxígeno hacia las raíces, se encontraría entre ambos extremos de ETc propuestos.

Del Cuadro 7, es posible inferir que el mes de julio fue un mes de ajuste para la condición hídrica del suelo y de la planta, pues antes del inicio de la experiencia se aplicó un riego de estabilización que dejó a todos los tratamientos con -20 KPa a 30, 60 y 90 cm de profundidad. Los comportamientos erráticos posteriores de algunos de los tratamientos pueden deberse a este período de ajuste, que involucra a la planta, tanto en su sistema radicular como aéreo. Según ADATO y LEVINSON (1988), es necesario aplicar los tratamientos diferenciados de riego con anterioridad al inicio de la experiencia para poder asegurar que los posteriores comportamientos de la planta se deban a los tratamientos y no al ajuste de la planta al cambio de riego. Según estos mismos autores un período de 2 años fue insuficiente para un ajuste a riego por goteo, observándose adaptaciones hasta el quinto año, pudiéndose asegurar que del sexto año en adelante, el efecto fue exclusivo del riego.

De igual forma, CANTUARIAS (1995) observó diferencias en la distribución radical al aumentar las líneas de goteo en un huerto de paltos, pero no detectó diferencias en las tasas evapotranspirativas hasta la segunda temporada de riego.

Dado que en el presente ensayo el sistema de riego no fue modificado, tal tiempo de ajuste es excesivo, pero los resultados obtenidos deberán compararse con los años venideros para poder llegar a conclusiones más certeras.

Si se analiza el porcentaje de agotamiento de la humedad aprovechable (Cuadro 1), en relación al potencial mátrico alcanzado en el suelo, se puede apreciar el estrecho rango de variación del contenido de humedad para no sobrepasar los 40 cb. Esto implica a su vez que los aportes hídricos necesarios para reponer estas láminas sean relativamente pequeños. Según DU PLESSIS (1991) no es conveniente sobrepasar los 50 cb a los 60 cm y los 30 cb a los 30 cm, luego, la precipitación máxima a aportar por riego no debería sobrepasar los 28 mm, para reponer la humedad de 0 a 70 cm. Esto explica el alto componente de drenaje observado en los meses de noviembre en adelante, donde en los riegos semanales se daban hasta 56 mm. Esto también se observa en las Figuras 24 y 25 de la sonda de neutrones, donde luego de un riego, la humedad baja a la siguiente medición drásticamente. Esto quiere decir que la sonda sólo detectó parte del agua aplicada, lo que implica que el resto se perdió por evaporación o drenaje profundo. Debido a que la evaporación del palto, y de las plantas en general, tiene un margen de evapotranspiración acotado (0 - 10 mm/día), "consumos" mayores a 10 mm aseguran la presencia de drenaje.

Las Figuras 26, 27 y 28 sugieren el posible efecto conjunto de la cosecha y de la poda de faldas, los cuales disminuyeron los requerimientos hídricos en todos los tratamientos en los meses de octubre y noviembre. Además, en estos meses se observó una gran cantidad de hojas viejas caídas, lo que disminuyó aún más el índice de área foliar (IAF) del árbol.

4.3. Análisis de la absorción radicular:

Se midió la absorción radicular por estrata para los tratamientos con frecuencia semanal. La exclusión de los demás tratamientos se debe a la dificultad de separar el componente de movimiento del agua en el suelo por gravedad. Esto concuerda con lo señalado por IRRICROP TECHNOLOGIES (1998) quien sostiene que no es conveniente insertar riegos diarios en el programa "LA SONDA", dada la imposibilidad de separar el factor de movimiento vertical rápido del agua luego de un riego del consumo por estratas; puesto que con estas frecuencias habría un movimiento constante de agua en el suelo.

Una posibilidad sería adaptar tubos de acceso en lugares sin raíces, que estén bajo el mismo sistema de riego, al igual que lo realizado por VILLANUEVA (1998), obteniendo el delta de humedad generado por el movimientos de agua en el suelo. De esta manera, el consumo efectivo de agua en el suelo sería el delta de humedad entre riegos consecutivos medidos en zonas con raíces menos el movimiento de agua en el suelo medido en zonas sin raíces. Sin embargo, para validar este procedimiento habría que asegurar la inexistencia de cualquier tipo de raíz en el tubo testigo, mismas condiciones de suelo, cubierta vegetal o "mulch" de hojas y condiciones de instalación del tubo, entre otros factores.

Además, se puede observar a lo largo de la experiencia que el agua aplicada por un riego o lluvia no alcanza en un 100% la zona en análisis (0 a 130 cm) y/o la zona de absorción radicular (en este caso 0 a 70 cm). El síntoma usual era una alta tasa en el consumo diario de agua o Kc. Sin embargo, la eficiencia del riego fue variando a través de la temporada. En los

meses de julio y agosto, cuando las láminas aplicadas por riego fueron pequeñas (< 10 mm), se obtuvieron eficiencias del 90 al 75%. Pero a medida que la demanda evaporativa aumentaba, las láminas de riego lo hacían de igual forma, especialmente en los riegos semanales. La eficiencia de los riegos en estos casos osciló entre el 80 y el 20% en las situaciones más extremas.

Las razones de esto pueden ser producto de la variación de la precipitación a través del predio, escurrimiento superficial, evaporación superficial o drenaje.

El coeficiente de uniformidad fue superior a un 95% y el escurrimiento superficial con una precipitación del sistema de 1.33 mm/hora en el suelo franco-arcillo-arenoso fue considerado nulo. Eficiencias de aplicación mayores a un 70% son adjudicables al sistema de riego por microaspersión (MOYA, 1994). Eficiencias menores estarían explicadas con el reiterado aumento de los K_c detectados por la sonda a valores fuera de lo normal después de un riego, lo que significa en definitiva percolación.

Así es posible asegurar que hubo drenaje fuera de la zona radicular en los tratamientos de 130% de ET_c en algún período a lo largo de la investigación, lo que se refleja en las Figuras 27 y 28 como un aumento en la tensión (< -20 KPa) del suelo a 90 cm de profundidad. Estos resultados son contradictorios con aquellos obtenidos por LAHAV y KALMAR (1976), quienes no tuvieron drenaje, incluso con frecuencia de riego de 28 días y evapotranspiraciones superiores al sector en estudio. Sin duda, las diferentes características del suelo determinaron tal comportamiento.

En la Figura 29 se aprecian mediciones que representan una serie de días consecutivos en invierno y verano. Nótese que el mayor porcentaje de variación de la humedad volumétrica del suelo se encuentra en los primeros 60 cm de profundidad. Sin embargo, no es posible asegurar que toda la variación se debe a absorción, pero sin duda ésta debe ser un componente importante.

De los resultados obtenidos con la sonda de neutrones es posible comprobar que las mayores diferencias en la variación de la humedad del suelo se encuentran en los primeros 60 cm, tanto en el tratamiento 9 (Figura 29, a y b) como en el 12 (Figura 29, c y d), independiente de meses de baja o alta demanda evapotranspirativa. Esto concuerda con el análisis de dos calicatas que no evidenciaron raíces bajo esta profundidad. Sin embargo, no todas las variaciones son atribuibles a absorción, dado que este valor tiene un componente de drenaje importante luego de un riego, al igual a lo observado por VILLANUEVA (1998).

Por otro lado, la variación del contenido de humedad en la estrata superficial no es atribuible a evaporación, debido a que ésta disminuye en un suelo desnudo a medida que este se cubre de sombra por efecto del cultivo (JENSEN, BURMAN y ALLEN, 1990).

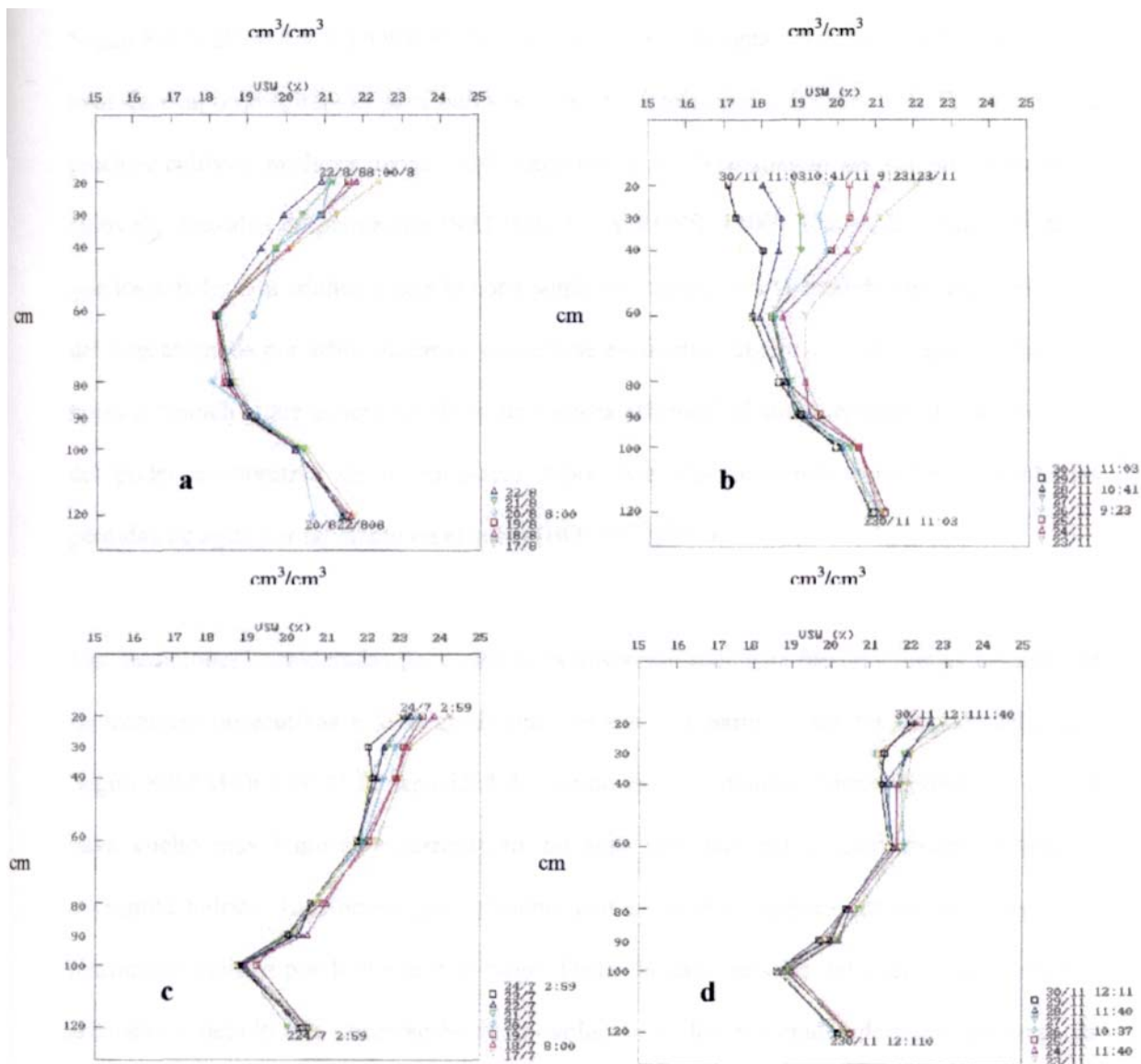


FIGURA 29. Variación en el contenido de humedad volumétrica porcentual según profundidad, para los tratamientos semanales 9 y 12. (a) tratamiento 9 del 17.8.98 al 22.8.98 (b) tratamiento 9 del 23.11.98 al 30.11.98 (c) tratamiento 12 del 17.7.98 al 24.7.98 (d) tratamiento 12 del 23.11.98 al 30.11.98

Según RADERSMA y RIDDER (1996), la evaporación de agua del suelo es menor al 5% del total de evapotranspiración para cultivos con IAF superiores o iguales a 4. Es común que muchos cultivos maduros tengan IAF cercanos a 8, dependiendo de las condiciones de cultivo y densidad de plantación (SALISBURY y ROSS, 1990). Luego, hay que considerar que los árboles son adultos y que la copa sombrea durante casi la totalidad del día gran parte del área asignada por árbol. Además, el suelo se encuentra cubierto por una capa constante de hojas o "mulch", que genera un 100% de sombra adicional al suelo, reduciendo la influencia del poder evaporativo de la atmósfera sobre éste, disminuyendo considerablemente las pérdidas de agua por tal efecto en el suelo (BONSU, 1997).

Las mediciones consideradas para estimar la absorción radicular fueron aquellas tomadas de lecturas consecutivas a lo largo de una semana, y a partir de un día después del riego. Según KRAMER (1974) la capacidad de campo es el contenido hídrico después de que se haya vuelto muy lento el escurrimiento del agua gravitacional y relativamente estable el contenido hídrico. Esto ocurre generalmente uno a tres días después que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o el riego. Dadas la característica del suelo (franco-arcillo-arenoso), y debido a la observación de la evolución de los contenidos de humedad luego de los riegos por medio de la sonda de neutrones y tensiómetros, se determinó que este punto se alcanzaba en la zona de absorción radicular a las 24 horas de finalizado un riego.

Los porcentajes de absorción radicular a lo largo del perfil del suelo se observan en la Figura 30.

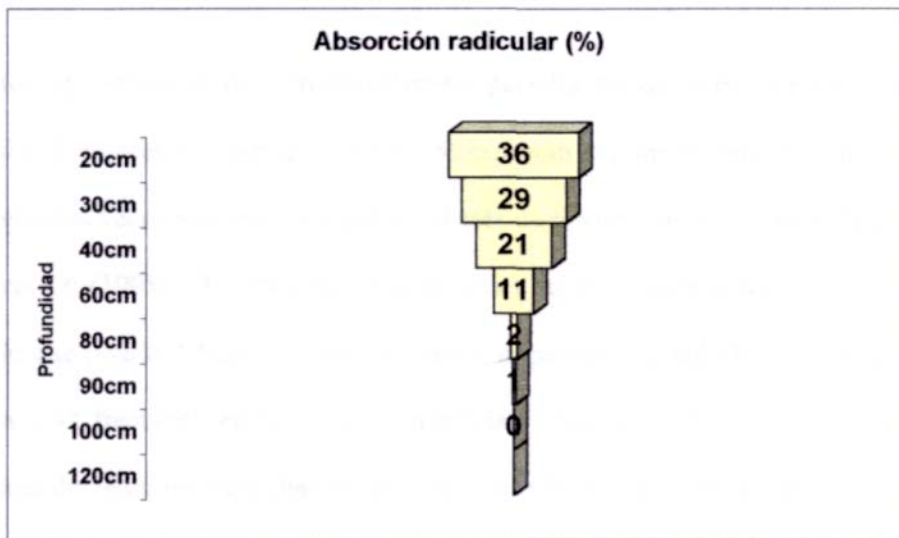


FIGURA 30. Absorción radicular según profundidad para los tratamientos de riego semanal. Período julio-enero 1998.

En definitiva, el mayor componente de la absorción de agua por parte de la planta ocurre en los primeros 60 cm, al igual a lo observado por LAHAV y KALMAR (1976; 1977a).

4.4. Análisis de coeficiente de cultivo:

Los datos de coeficiente de cultivo realizados para los tratamientos de riego con frecuencia semanal y dos veces por semana (Cuadro 8) expresan una mejor condición hídrica del árbol con riegos dos veces por semana a partir del mes de noviembre, lo que se refleja en el K_c del tratamiento 6 (100% E_{Tc} dos veces por semana) de noviembre a enero y tratamiento 7 en enero, lo que podría deberse a un menor estrés impuesto al árbol, debido a la disponibilidad de agua más frecuente en la estrata superficial. Según CANTUARIAS (1995), en una frecuencia de riego de siete días se presenta un máximo de evapotranspiración al tercer y cuarto día de transcurrido éste, y un mínimo al quinto día. Esta reducción en la tasa evapotranspirativa puede ser causa de la disminución en el contenido de agua en la zona radical, que disminuye el potencial mátrico, decrece la conductividad hidráulica del suelo, y con ello, baja el movimiento de agua a las raíces, generando la respuesta por parte de la planta de disminuir la pérdida de agua. Luego habría un efecto positivo en el estatus hídrico al disminuir la frecuencia de riego de 7 a 3 ó 4 días.

Esto estaría en concordancia con las lecturas de tensiómetros, que para las profundidades de 30 y 60 cm en los tratamientos 5 al 8 (Figura 27) registraron potenciales matrices mayores que los tratamientos 9 al 12 (Figura 28) a lo largo de la investigación.

CUADRO 8. Coeficientes de cultivo promedio mensuales por tratamiento. Período del 1 de julio de 1998 al 31 de enero de 1999.

FRECUENCIA DE RIEGO	T	ETC	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE
Dos veces por semana	5	90%	0,48	0,68	0,47	0,51	0,40	0,56	0,96
	6	100%	0,71	0,46	0,62	0,52	0,72	0,90	1,05
	7	110%	0,42	0,67	0,38	0,55	0,45	0,72	1,06
	8	130%	0,66	0,49	0,71	0,47	0,32	0,37	0,39
	Promedio			0,57	0,58	0,54	0,51	0,47	0,64
Una vez por semana	9	90%	0,62	0,60	0,75	0,40	0,59	0,69	0,76
	10	100%	0,29	0,39	0,63	0,34	0,47	0,57	0,72
	11	110%	0,48	0,42	0,69	0,43	0,59	0,72	1,00
	12	130%	0,77	0,54	0,45	0,40	0,36	0,46	0,68
	Promedio			0,54	0,49	0,63	0,39	0,50	0,61
General	Promedio		0,55	0,53	0,59	0,45	0,49	0,62	0,83

T: Tratamiento

Este estrés provocado por una frecuencia de riego demasiado baja para las condiciones del huerto en estudio, estaría explicado por la capacidad de retención del suelo en los primeros 70 cm (Cuadro 1). Esta sección del perfil es insuficiente para sustentar al árbol con el agua necesaria para su evapotranspiración máxima en los meses más calurosos por períodos mayores a tres ó cuatro días.

El suelo hasta los 70 cm, que es donde se encuentra el 95% de las raíces, posee una capacidad de retención de 94 mm de agua aprovechable. Si se considera la aplicación práctica sugerida por DU PLESSIS (1991) en huertos de paltos, no es conveniente que esta lámina utilizable se deprima en más de un 20 o 30%, lo que representa 19 y 28 mm, respectivamente. Si se agrega

a ésto que las evaporaciones potenciales pueden sobrepasar en los meses estivales los 40 mm semanales, se explican claramente las disminuciones en los potenciales matrices en los riegos semanales en los meses de diciembre y enero, especialmente en los dos ó tres días anteriores al día de riego. Por lo tanto, esta sería la causa probable de la disminución del valor de K_c en los tratamientos semanales de riego.

Las evapotranspiraciones potenciales acumuladas semanalmente correspondientes a los cuatro riegos de diciembre fueron en orden consecutivo: 33, 35, 40 y 39 mm. De igual forma, los valores para enero fueron 39, 36, 20 y 31 mm. Estos datos explican la notable disminución de las lecturas de tensiómetros a valores bajo -60 KPa en dichos meses. Del mismo modo se ratificaría que una disminución de un 20% del agua aprovechable es un valor aconsejable, ya que para la penúltima semana de enero, una depresión de la lámina utilizable del suelo en 20 mm no afectó negativamente las tensiones a 30 cm en los tratamientos 10 y 12 (Figura 28), y en menor grado aquellos a 60 cm en los tratamientos 9 y 11 (Figura 28). Al riego siguiente, al aumentar la demanda evaporativa de la atmósfera, superándose nuevamente los 20 mm, se volvió a los potenciales matrices registrados en las semanas anteriores de diciembre y enero.

Esta condición de déficit se produce cuando la velocidad de pérdida de agua por el cultivo impuesta por la demanda evaporativa de la atmósfera, es mayor que la velocidad de flujo de agua desde la masa del suelo hacia las raíces de la planta. Luego, la frecuencia de riego debe basarse en el balance entre velocidad de pérdida de agua por parte de la planta y aporte hacia las raíces. Esto sugiere la conveniencia de la aplicación de una frecuencia de riego variable,

lo que requiere el uso de un indicador práctico en condiciones de campo. El tensiómetro es una opción adecuada para este tipo de control (GUROVICH, 1985).

Los coeficientes de cultivo en los tratamientos con restricción hídrica (90% ETc) (Cuadro 8), no fueron inferiores a aquellos que contaban con mayores aportes de riego. Sin embargo, la baja de estos coeficientes, luego de meses con valores mayores podría tener explicación en que los tratamientos no mantuvieron siempre la misma tasa de estrés. Las proporciones en los aportes se mantuvieron iguales (de 90% a un 130%), pero dados los ajustes a los coeficientes de bandeja, cabe la posibilidad que ciertos tratamientos se vean afectados en mayor medida por pequeños períodos de tiempo posterior a los riegos recuperativos. Es el caso de los tratamientos 5, 7 y 12 en el mes de septiembre y los tratamientos 6, 8, 9, 10, 11 y 12 en el mes de octubre, meses que debieron recibir riegos recuperativos debido al ajuste en el coeficiente de bandeja.

Estos bajos valores de Kc (Cuadro 8), no llegaron al extremo de aquellos observados por CANTUARIAS (1995), que en la zona de Gilat, Israel obtuvo una tasa de transpiración expresada como Kc en verano de 0.16 a 0.45 de la evaporación potencial. Estas tasas son incluso inferiores a las encontradas en cítricos, y podrían tener explicación en adaptaciones semiáridas del palto, como una densa capa de tricomas sobre los tépalos de las inflorescencias y hojas jóvenes, que aumentan la resistencia a la pérdida de la capa límite reduciendo con ello la transpiración.

Sin embargo, los menores valores de K_c en esta experiencia están asociados a riegos de un 130% de ET_c . Es el caso del tratamiento 8 (130% ET_c dos veces por semana) en los meses de noviembre a enero, y el tratamiento 12 (130% ET_c una vez por semana) en noviembre y diciembre, que fueron menores a todos los demás tratamientos. Tal diferencia se debería probablemente al alto contenido de humedad en el suelo, que redundaría en una menor concentración de oxígeno. Esto disminuye la actividad radical, y obliga a la planta a disminuir las pérdidas por transpiración, debido a la incapacidad de las raíces para suplir la demanda.

Según CANTUARIAS (1995), sin limitaciones en el suministro hídrico y con una canopia bien desarrollada, el palto puede aumentar su transpiración a niveles superiores a la evaporación potencial. Esta capacidad de aumentar el coeficiente de cultivo sobre 1, es una respuesta interesante que necesita mayores estudios. Este fenómeno se presentó en los tratamientos 6, 7 y 11 en el mes de enero (Cuadro 8). Por medio de las lecturas de tensiómetros sólo es posible confirmar una alta disponibilidad de agua para el tratamiento 7 (Figura 27), pero en base a la sonda de neutrones además de este tratamiento se sumaría el 6 (Figuras 11 y 19), con un contenido hídrico del suelo por sobre el punto de recargo propuesto, denotando disponibilidad de agua. En el tratamiento 11 el valor K_c escapa al razonamiento propuesto, suponiéndose influencia de factores ajenos al experimento.

En base al comportamiento de las lecturas de los tensiómetros (Figuras 26, 27 y 28) (Cuadro 7), es posible estimar qué K_c sería el más adecuado para cada mes, teniendo en cuenta que tensiones de -10 KPa a -50 KPa serían los límites superiores e inferiores, para no provocar

anoxia o estrés por déficit hídrico (DU PLESSIS, 1991). El análisis siguiente será en base a potenciales matrices a 30 cm de profundidad, pues allí se encuentra la mayor proporción de raíces.

Para el mes de julio los tratamientos 104, 106 y 107 (K_c de 0.52, 0.4 y 0.44), mantuvieron por más de 18 días las condiciones antes mencionadas (Cuadro 7). Sin embargo, dado que fue un mes de ajuste (Figura 31), estos datos no son confiables. Para el mes de agosto los tratamientos 103, 104 y 111 satisficieron de mejor forma los requerimientos hídricos. Esto corresponde a K_c de 0.55, 0.65 y 0.55 respectivamente. De igual forma, en septiembre los tratamientos 4 y 11, con K_c de 0.72 y 0.6, fueron los más adecuados. En noviembre los tratamientos 4, 6 y 11 con K_c de 0.72, 0.55 y 0.6 cumplieron con el rango sugerido. Es importante destacar que el tratamiento 4, cumplió 23 de los 31 días con el mismo rango.

Es importante recordar que este mes fue de floración. Ésta, aunque no superó un 40% de la superficie de los árboles, demandó mayor cantidad de agua por parte de la planta (WHILEY, CHAPMAN y SARÁNAH, 1988). En el mes de diciembre los tratamientos 2, 4, 5, 9 y 10 fueron similarmente idóneos en cuanto a mantener el rango sugerido de tensiones, con K_c de 0.65, 0.85, 0.59, 0.59 y 0.65, y para enero, los tratamientos 6 y 10 con un K_c equivalente a 0.72.

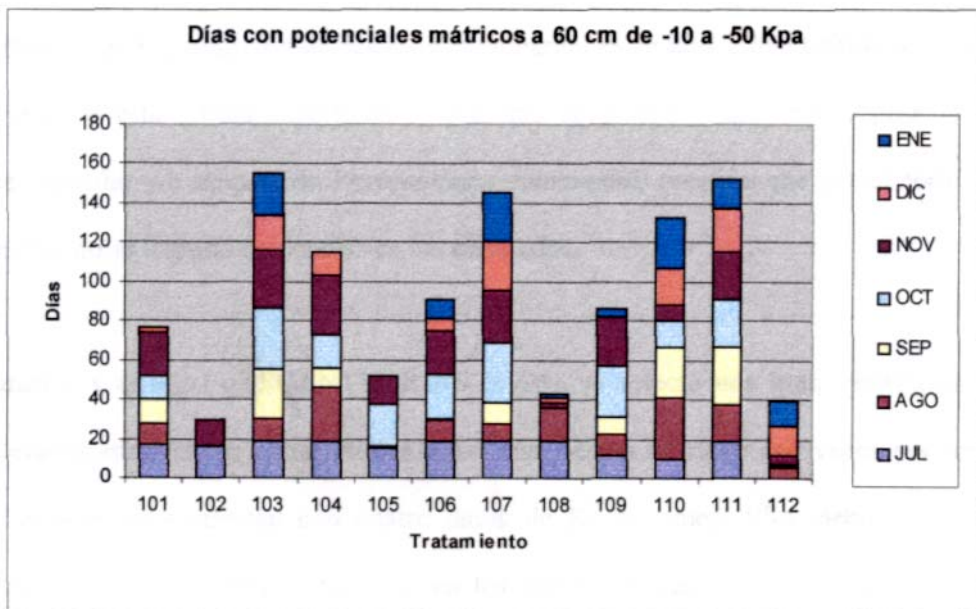
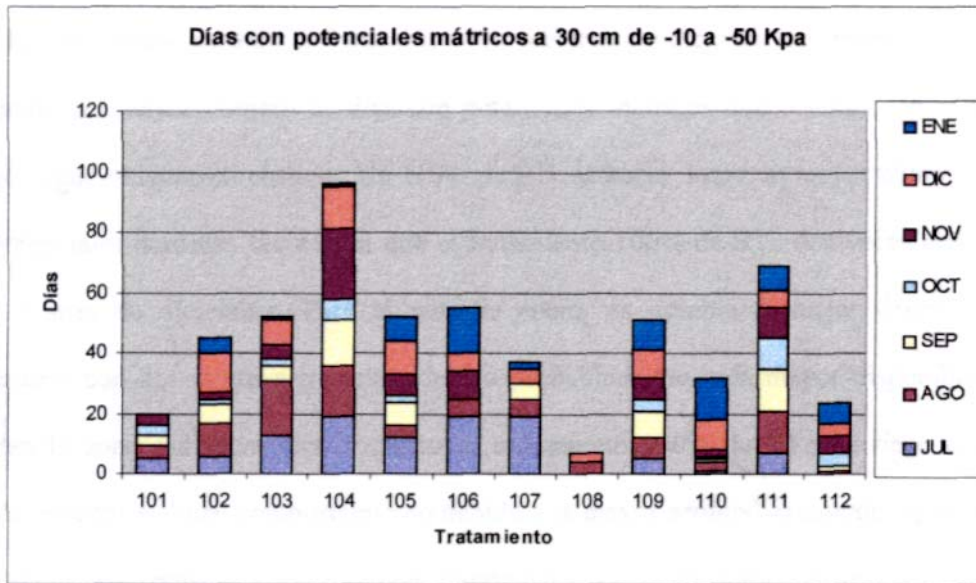


FIGURA 31. Días con potenciales mátricos entre -10 KPa y -50KPa a 30 y 60 cm de profundidad según tratamiento. Período julio de 1998 a enero de 1999.

Del análisis anterior y de la Figura 31 es posible destacar que reiteradamente los tratamientos 4 y 11, y en menor medida el 6 manifestaron mejores condiciones de humedad, lo que se desprende del mayor número de días con potenciales métricos que condicionan una mejor relación agua-oxígeno en el suelo. Un 110% de ETc semanal logra un mayor número de días con potenciales métricos favorables que el tratamiento 100% de ETc dos veces por semana hasta el mes de diciembre. Para el mes de enero, es notable el mejor desempeño del tratamiento con dos riegos semanales, debido probablemente, a la mayor disponibilidad de agua en la zona radicular. Con respecto al tratamiento 130% de ETc de riego diario, es posible explicar su buen comportamiento debido a la mayor profundización del agua de riego en el suelo con respecto a los restantes tratamientos de riego diario, alcanzando las raíces presentes hasta los 70 cm, y por el abastecimiento constante para la estrata superficial, que presenta una gran proporción de raíces. Sin embargo, es probable que debido a la constante saturación de esta estrata superficial se presente en el futuro una mayor probabilidad de asfixia radicular y/o ataques de *Phytophthora cinnamomi*, cuestión que por el corto período del ensayo no se logró evidenciar en los resultados.

Finalmente, y al igual que CANTUARIAS (1995), se detectó una gran variabilidad en las tasas evapotranspirativas entre árboles. Los tratamientos de riego dos veces por semana y aquellos semanales cuentan con cuatro datos de Kc por mes. Ello, debido a que datos próximos a riegos de mayor duración en los meses de verano no son confiables por el enmascaramiento del drenaje en el consumo.

Por lo tanto, el bajo número de muestras por tratamiento y la diversidad entre valores diarios, explicarían la falta de diferencias claras entre valores de Kc hasta el mes de noviembre. Luego, hay que considerar con cautela esta heterogeneidad para determinar las diferencias entre coeficientes de cultivo por tratamiento.

4.5. Análisis del crecimiento vegetativo:

Al analizar el crecimiento vegetativo en las curvas de crecimiento longitudinal (Figura 32) se puede observar un período de elongación de brotes, desde septiembre hasta diciembre, concordante con la fenología del palto cv. Hass observada por TAPIA (1993) en la provincia de Quillota.

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 brotes pertenecientes a los diferentes tratamientos de riego.

De igual manera, el análisis sobre los bloques resultó no tener diferencias significativas, pero sí mostró eficiencia en el modelo, con una eficiencia del diseño de bloques (EDB) >1 . Es decir, los distintos árboles no afectaron las mediciones del crecimiento vegetativo con un 5% de significancia. El coeficiente de variación resultó ser de un 40%, dato que refleja la homogeneidad del material escogido.

Sin embargo, hay diferencias significativas del 5 de octubre al 24 de noviembre en el crecimiento vegetativo, lo cual refleja un efecto de los tratamientos de riego durante al menos un período de tiempo de importancia particular en el palto, pues corresponde al período de floración y cuaja.

En la Figura 32 se puede distinguir claramente el primer período de elongación de brotes. En esta etapa puede observarse un aparente efecto detrimental de los tratamientos de 90% y 130%, tanto en el riego de dos veces por semana y semanal, causando probablemente déficit y exceso de contenido hídrico en el suelo respectivamente, al igual que lo observado por TELLO (1991), con volúmenes mínimos y máximos de agua aplicada. Sin embargo, la evolución y el comportamiento de los crecimientos fue un tanto heterogéneo. Al 5 de octubre, primera fecha con diferencias significativas, los tratamientos con mayores crecimientos fueron el 3, 4, 7 y 10, siendo estos iguales entre sí. Sólo los tratamientos 4 y 7 fueron mayores a aquellos de un 90% de ETc en cualquier frecuencia (Cuadro 9). Con esto podría estimarse que el crecimiento del brote a inicios de temporada se ve favorecido al regar con un 130% con aplicaciones diarias o con un 110% de riego dos veces por semana, por sobre los de 90% de ETc. Aproximadamente un mes después (1 noviembre), sólo los tratamientos 2 y 9 fueron significativamente menores que los tratamientos 3, 4, 6, 7 y 10. Al 24 de noviembre sólo el tratamiento 12 fue menor que el 10, perdiéndose el efecto detrimental de un 90% de ETc. En definitiva, es posible determinar que un 90% de ETc tiende a limitar el crecimiento del brote al regar con frecuencias diarias o de dos veces por semana hacia inicios de su crecimiento. Frecuencias semanales no manifestaron diferencias entre los distintos porcentajes de riego para adelantar o retrasar este crecimiento.

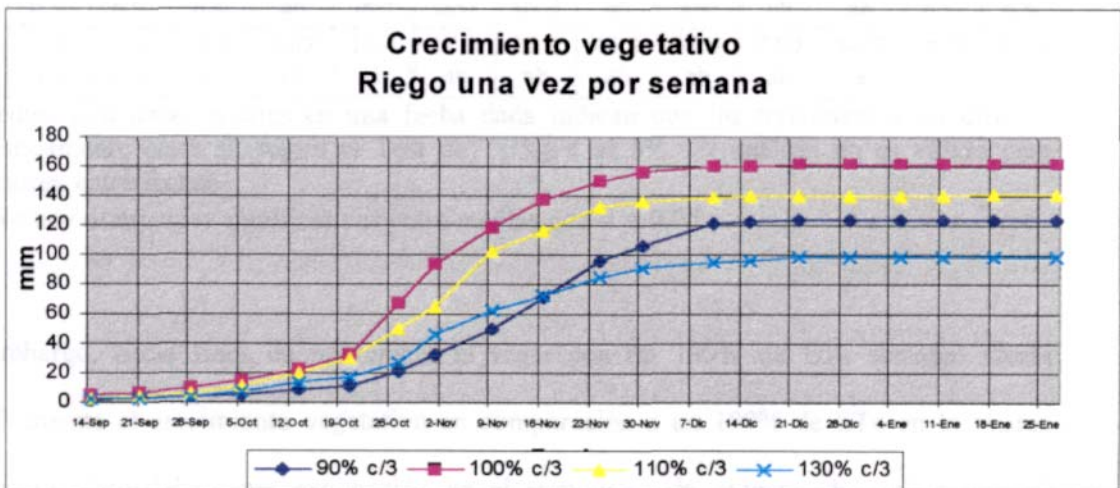
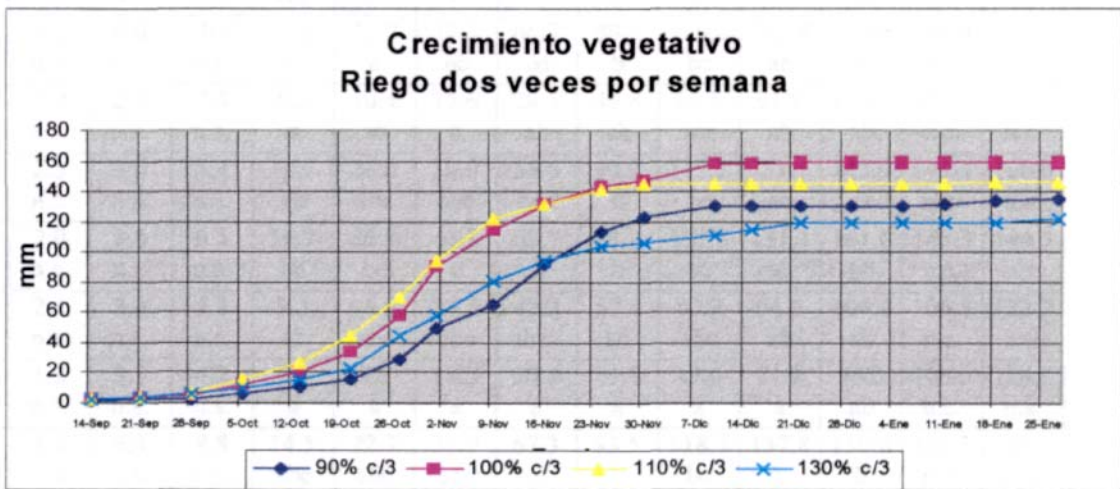
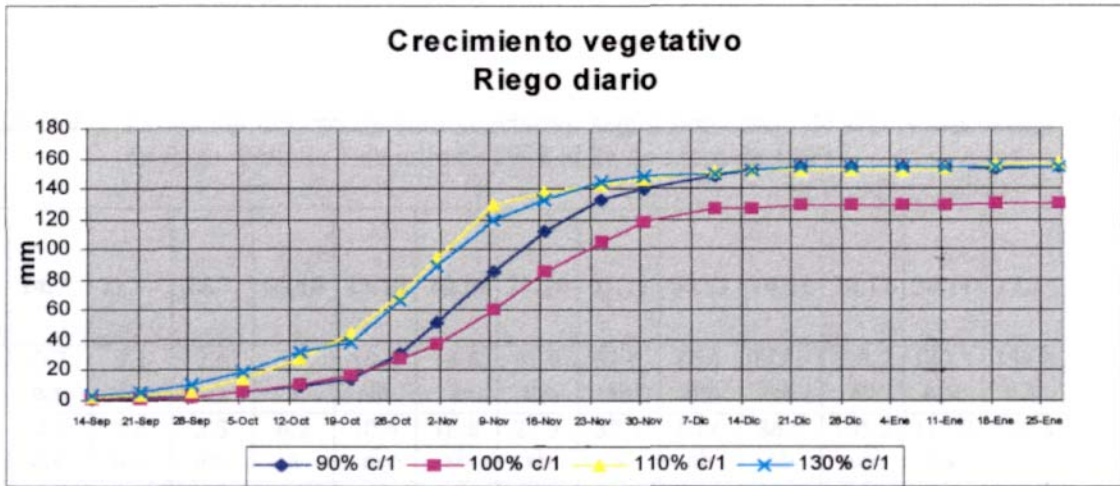


FIGURA 32. Crecimiento vegetativo según frecuencia de riego y porcentaje de la evapotranspiración del cultivo

CUADRO 9. Evolución del crecimiento vegetativo según porcentaje de ETc y frecuencia de riego. Período 1 de julio de 1998 al 31 de enero de 1999.

Trat.	14.7	21.7	28.7	05.10	13.10	20.10	27.10	01.11	09.11	16.11	24.11	30.11	27.2
1	0.7 n.s.	2.1 n.s.	2.6 n.s.	5.8 a	10.2 ab	14.8 a	31.9 abc	51.6 ab	86.1 abc	112.5 ab	133.2 ab	140.3 n.s.	154.6 n.s.
2	0.8 n.s.	1.6 n.s.	2.3 n.s.	6.2 a	10.6 ab	16.8 ab	27.3 ab	37.3 a	60.6 ab	86.0 ab	105.2 ab	117.9 n.s.	130.4 n.s.
3	2.2 n.s.	3.5 n.s.	6.3 n.s.	14.0 abc	27.4 bc	44.5 c	70.0 d	94.6 b	128.8 c	137.6 b	142.8 ab	146.6 n.s.	156.6 n.s.
4	3.5 n.s.	6.0 n.s.	10.5 n.s.	19.8 c	32.7 c	39.3 bc	66.7 cd	89.6 b	119.0 bc	132.4 ab	144.6 ab	148.4 n.s.	154.7 n.s.
5	1.0 n.s.	2.2 n.s.	2.8 n.s.	6.2 a	10.4 ab	15.6 a	28.5 ab	49.8 ab	65.5 ab	91.8 ab	114.0 ab	123.3 n.s.	135.4 n.s.
6	2.3 n.s.	3.6 n.s.	5.4 n.s.	12.3 ab	20.0 abc	33.9 abc	58.5 bcd	90.3 b	115.2 bc	131.1 ab	143.9 ab	147.4 n.s.	160.0 n.s.
7	2.0 n.s.	3.6 n.s.	6.5 n.s.	16.3 bc	26.9 bc	44.5 c	69.7 d	94.2 b	121.8 bc	131.1 ab	141.6 ab	145.3 n.s.	146.3 n.s.
8	2.1 n.s.	3.6 n.s.	5.8 n.s.	9.3 ab	16.0 abc	23.5 abc	45.2 abcd	57.4 ab	80.9 abc	94.5 ab	104.4 ab	106.8 n.s.	122.2 n.s.
9	1.2 n.s.	3.3 n.s.	4.2 n.s.	5.3 a	8.2 a	11.5 a	20.8 a	31.9 a	49.6 a	71.8 a	96.0 ab	106.6 n.s.	124.2 n.s.
10	4.8 n.s.	6.8 n.s.	9.8 n.s.	14.5 abc	22.7 abc	31.9 abc	67.3 cd	93.5 b	118.7 bc	137.8 b	150.0 b	156.3 n.s.	161.7 n.s.
11	2.4 n.s.	4.3 n.s.	6.7 n.s.	10.7 ab	19.7 abc	30.0 abc	50.1 abcd	65.0 ab	102.0 abc	116.8 ab	132.3 ab	136.5 n.s.	141.8 n.s.
12	2.0 n.s.	2.9 n.s.	4.3 n.s.	8.07 ab	13.4 ab	17.3 ab	27.2 ab	45.8 ab	62.6 ab	72.9 ab	84.7 a	90.9 n.s.	98.9 n.s.

Promedios con letras iguales en una fecha dada indican que los tratamientos no difieren estadísticamente entre sí, según el Test de TUKEY al 5%. El análisis no es válido para mediciones entre fechas.

n.s.: No hay diferencias significativas entre medias con $\alpha = 0.05$

Sin embargo, hacia fines de noviembre el regar con un 130% de ETc semanal afecta negativamente el crecimiento vegetativo en comparación a un 100% de ETc en la misma frecuencia. Esto debe tener explicación en el suministro de oxígeno disponible para el

sistema radicular, a causa de los riegos cada vez más largos que van saturando el suelo por períodos a su vez más prolongados.

Resultados similares fueron observados por TELLO (1991) quien manifestó un aparente efecto detrimental al utilizar volúmenes bajos y altos de riego (90% y 130% de ETc), causando déficit y exceso del contenido hídrico en el suelo.

Según SLOWIK *et al.* (1979), la concentración de nutrientes total en plantas en contenedores de paltos sometidos a una baja concentración de oxígeno en el suelo (2%) es significativamente más baja que en plantas con altos contenidos de O₂ (21%). De igual forma el tratamiento restrictivo en oxígeno disminuye el peso seco total de la planta.

Altos contenidos de humedad en los 30 y 60 cm de profundidad en el suelo, situación ocurrida en los tratamientos 4, 8 y 12 (130% de ETc), provocaría problemas metabólicos en el sistema radical por falta de O₂ afectando el 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.

Los resultados finales contradicen lo observado en múltiples experiencias (KALMAR y LAHAV, 1976; MEYER *et al.*, 1990; LAHAV, STEINHARDT y KALMAR 1992), en donde mayores aportes hídricos redundaban en mayores crecimientos y tamaño final del árbol. Sin embargo, los resultados son en cierta medida concordantes con lo observado por DUCO (1996), quien manifiesta que la expresión del crecimiento vegetativo no se vio

afectada en árboles sanos al variar los niveles de riego de 70 a 100% de ETc con Kc de 0.35 a 0.55.

Una posible causa de que las diferencias no hayan sido significativas, es el estrés recibido por todos los tratamientos en algún momento previo o durante el crecimiento vegetativo. El caso de déficit en agosto (Cuadro 3) pudo haber generado niveles de ácido abscísico elevados mayormente en las hojas (SALISBURY y ROSS, 1992) y con ello haber retrasado o disminuido de alguna manera el posterior crecimiento de los brotes. Pero, en base a las Figuras 26, 27 y 28, en aquellos tratamientos de 130%, el déficit hídrico se manifestó levemente y el estrés parece haber sido en su mayoría por un exceso de agua.

El menor crecimiento vegetativo al aplicar excesos de agua también fue observado por KURTZ, GUIL y KLEIN (1991). Ellos aplicaron un 130% de una dosis recomendada de 7.000 m³/ha/año, para una zona en que la evaporación en los nueve meses más calurosos es de 1.300 mm. Plantas de Hass sobre patrón antillano no denotaron crecimiento de la circunferencia del tronco a medida que se les aportaba más agua, debido principalmente a que los potenciales matrices medidos con tensiómetros indicaban un contenido de agua excesivo a lo largo de toda la temporada. De igual forma, el tratamiento de 130% no afectó la cosecha ni tampoco el tamaño de los frutos. Asimismo, LAHAV y KALMAR (1983) observaron que el crecimiento vegetativo en primavera era mayor para árboles bajo tratamiento seco (riego al alcanzar los 40 cb) que aquellos de riegos al llegar a los 25 cb.

La manifestación del segundo período de elongación no se evidenció al menos hasta el mes de enero, contrario a lo esperado por la baja carga frutal de los árboles para la temporada 1998-1999 y a la baja exigencia ambiental sobre el cultivo en enero de 1999. La posible causa de este retraso o eventual depresión del segundo período de crecimiento vegetativo podría deberse a condiciones de estrés impuestas por los tratamientos de riego. Este eventual efecto negativo sobre el sistema radicular afectaría el 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 de crecimiento del palto (WOLSTENHOLME, 1981; PLOETZ *et al*, 1991).

4.6. Análisis de los registros de temperatura de suelo:

La variación semanal de la temperatura de suelo a 15 cm de profundidad durante la experiencia está presentada en la Figura 33. Al inicio del ensayo la temperatura bajo los 12 tratamientos de riego era de 8°C, muy por debajo de 18°C que es la temperatura considerada como óptima para promover el desarrollo radical o 13°C que es el límite inferior para su actividad (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1991).

A medida que transcurrió la primavera las temperaturas fueron aumentando hasta alcanzar en las tres frecuencias de riego, los 13°C a principios de octubre. La temperatura óptima de 18°C sin embargo no se logró a igual fecha entre tratamientos.

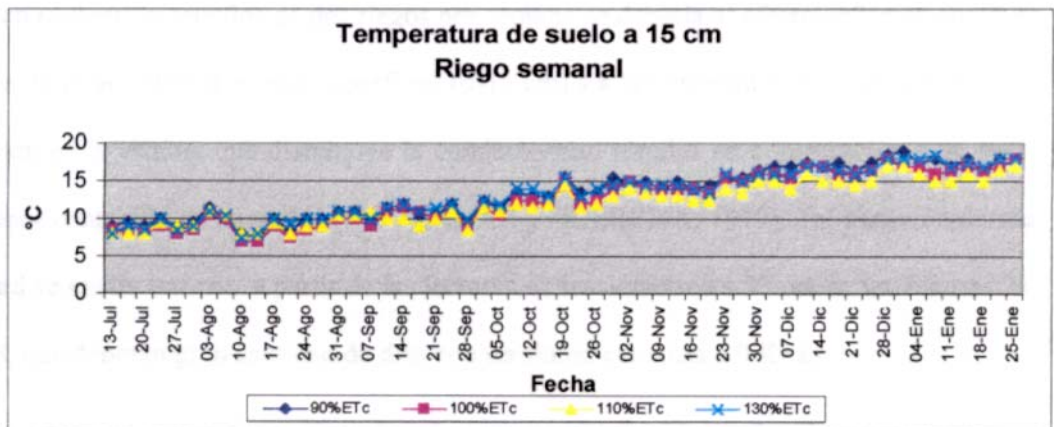
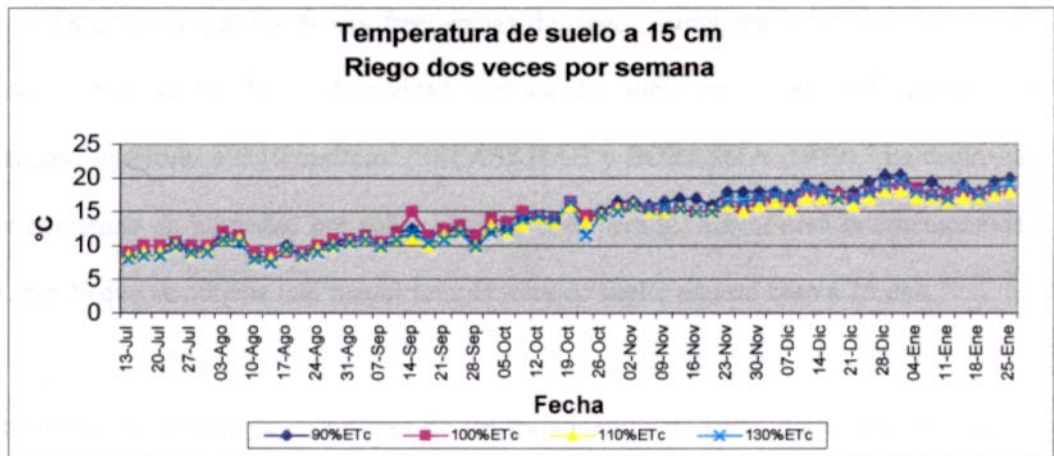
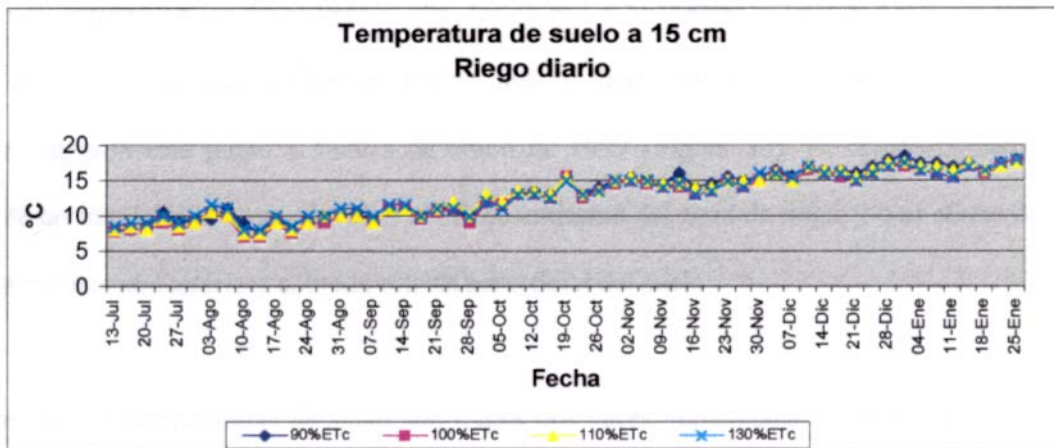


FIGURA 33. Temperaturas de suelo a 15 cm de profundidad observadas en los 12 tratamientos en el periodo 13 de junio de 1998 al 31 de enero de 1999.

Primero se registró en los tratamientos con dos riegos a la semana a inicios de diciembre. Luego, en el riego semanal a fines del mismo mes y, finalmente en los riegos diarios, que recién alcanzaron este punto a finales de enero de 1999 (Figura 33). El comportamiento cíclico de las mediciones se puede deber al efecto enfriante del agua de riego, y/o al efecto de las temperaturas atmosféricas sobre la estrata superficial del suelo.

El hecho que las temperaturas de suelo con riegos dos veces por semana hayan alcanzado el óptimo de 18°C antes que las demás frecuencias de riego, se debería a la relación entre el contenido de humedad y la conductividad térmica del suelo en el rango de humedades volumétricas superiores a 0.10 cm³/cm³ (SEPASKHAH y BOERSMA, 1979). Es decir, que a mayor contenido de humedad por sobre el valor considerado, mayor será la conductividad térmica, por lo que se obtiene una mayor temperatura de suelo, en este caso a 15 cm.

Por el contrario, la diferencia de un mes de los tratamientos de riego diario en alcanzar los 18°C con respecto a aquellos de dos riegos por semana se debería al efecto enfriante continuo del agua de riego sobre la estrata superficial (0-15 cm) y a la humedad de suelo más cercana a saturación en la estrata, que disminuye la conductividad térmica en comparación a un suelo con menor contenido de humedad (SEPASKHAH y BOERSMA, 1979). Tal situación de alta humedad se puede estimar a partir de las lecturas de tensiómetros a 30 cm en las Figuras 26, 27 y 28, que denotan gran cantidad de días con tensiones cercanas a 0 KPa.

Es importante destacar que las temperaturas al inicio de la temporada son extremadamente bajas, tomando en consideración los rangos óptimos. Temperaturas similares medidas a 15

cm en Quillota fueron presentadas por DUGO (1996), con promedios mensuales de dos años de 9°C en julio y 17.7°C en enero, lo que sugiere que bajo esas condiciones de cultivo, la temperatura de suelo puede estar constituyendo un factor limitante. En contraste, en Israel por ejemplo, a inicios de temporada, las temperaturas bordean los 18°C, alcanzando un máximo de 25°C en los meses de verano (CANTUARIAS, 1995).

Los datos de carácter preliminar y las características del comportamiento de este factor en Quillota, principal zona de cultivo, aconsejan profundizar esta línea de estudio, enfatizando en los manejos agronómicos que logran aumentar la temperatura de suelo, especialmente a inicios de primavera, con sus efectos sobre el árbol y finalmente la producción.

4.7. Análisis de los volúmenes de riego:

Las opiniones sobre las demandas de riego de paltos han generado sugerencias divergentes, tanto en el extranjero como en el propio país. Estas diferencias se generan a partir de la interacción entre la demanda evaporativa, el sistema edáfico y las precipitaciones.

La evapotranspiración potencial real según la ecuación de Penman-Monteith para el período entre julio y enero fue de 734 mm. Los riegos registrados en el mismo período para los tratamientos de riego diario fueron de 4.900, 5.450, 5.990 y 7.080 nrVha para un 90, 100, 110 y 130% de ETc. De igual forma, para los riegos dos veces por semana los volúmenes fueron 4.890, 5.550, 6.020 y 7.320 m³/ha.

Para los tratamientos 9 al 12 los valores difirieron ligeramente por efecto de la acumulación semanal de la última semana de enero que no fue aplicada hasta el 4 de febrero. Los volúmenes para el mismo período fueron 4.720, 5.320, 5.950 y 6.990 m³/ha para un 90, 100, 110 y 130% de ETc respectivamente. Los valores incluyeron la corrección del valor Kb según se analizó anteriormente.

Para la experiencia realizada en el predio La Invernada, correspondiente al agroclima Quillota, la evapotranspiración potencial (según Penman-Monteith), entre los meses de mayo de 1998 y enero de 1999, acumuló 812 mm. Si a ésto le sumamos la evapotranspiración potencial promedio para el agroclima (NOVOA *et al.*, 1989) de febrero al mes de abril, se obtiene una ETo de 1.163 mm. Al aplicar los coeficientes de cultivo utilizados en este ensayo, se obtienen volúmenes por hectárea para tratamientos de 90% y 130% de ETc de 7428 y 10730 m³/ha/año, para sistemas de riego por microaspersión. Esta cifra es similar a lo estimado en forma previa a la investigación para una situación carente de pluviometría (Anexo 13).

De igual manera, si a los 1.163 mm de evapotranspiración se les aplica los Kc mensuales detectados en el ensayo, los volúmenes corresponderían a 8.650 y 12.500 m³/ha/año. De confirmarse estos Kc, las necesidades reales del cultivo corresponderían a un 100% de ETc, lo que equivale a 9.600 m³/ha/año.

Estos valores, aunque en cierta medida elevados para los registros de riego de la zona, deben entenderse como requerimientos reales del cultivo. Si se comparan estas cifras a las necesidades anuales de otros frutales, se aprecia que éstas no son excesivas. Por ejemplo, para frutales de hoja persistente como los cítricos con 900 a 1200 mm, olivo con 600 a 800 mm (DOORENBOS y KASSAM, 1986), guayabo 1080 mm, litchi con 1200 a 1700 mm (SUDZUKI, 1996), o frutales de hoja caduca como la vid con requerimientos de 500 a 1200 mm (DOORENBOS y KASSAM, 1986), duraznero con 900 mm, almendro en el área mediterránea con 650 mm o en California con 1100 mm (RUIZ-SANCHEZ y GIRONA, 1995). Además, estos valores coinciden con aquellos propuesto y utilizados en paltos por MEYER *et al*, (1990) y FRANGÍS (1997) para California.

Sin embargo, esta propuesta debe validar tales coeficientes en varios años de registros, siendo por el momento solamente el planteamiento de un caso.

Ambas proposiciones no consideran la precipitación medida. Ésta alcanzó 106 mm en el período de mayo a diciembre de 1998, pluviometría excesivamente baja y anormal para el tiempo medido. Tan sólo 18 mm cayeron en forma fraccionada en el período de riego diferenciado, por lo que no fue posible determinar el ahorro de agua.

Al establecer el requerimiento hídrico para un cultivo es de suma importancia considerar las precipitaciones, en especial cuando los comportamientos no periódicos del sistema integrado océano-atmósfera del Pacífico tropical, conocido como la Oscilación del Sur, y en el caso chileno, junto a los fenómenos asociados El Niño y La Niña, afectan los balances

hidrológicos (ACEITUNO, 1998). Al comparar la condición pluviométrica del año 1997 y 1998 se aprecia claramente la magnitud de tales fenómenos climáticos (Anexo 26).

Según CALÁBRESE (1992), las necesidades de agua para paltos a lo largo del año pueden estimarse en alrededor de los 10.000 a 12.000 m³/ha. Conociendo entonces los aportes naturales de agua se pueden calcular por diferencia el volumen necesario para el riego. Es así como en Egipto, el volumen de riego necesario es de 12.000 m³/ha/año, pues prácticamente no presenta lluvias aprovechables. En California, árboles de 6 años de edad requieren un riego de 8.280 m³/ha/año, sumado a 2.700 m³/ha/año de pluviometría, totalizando 10.980 m³/ha/año (GUSTAFSON, 1976). En contraposición se podría mencionar Sicilia, que requiere riegos de sólo 4.000 m³/ha/año o Nueva Zelanda, en donde muchos de los huertos de paltos carecen de sistemas de riego, dependiendo solamente de las lluvias (PARTRIDGE, 1998).

La precipitación útil se define como aquella que efectivamente se incorpora a la zona radicular del cultivo, excluyéndose por lo tanto la que queda interceptada en la vegetación, la percolación a estratas más profundas y la que se pierde por escorrentería. Debido a la dificultad de considerar exactamente todos estos factores en la gran diversidad de situaciones en la práctica, ESPILDORA *et al.* (1975) sugieren que para precipitaciones reales mensuales de 25, 50, 75, 100 y 125 mm el componente estimativo útil mensual será de 24, 45, 65, 85 y 95 mm, respectivamente.

En base a estas relaciones y a distribución de las precipitaciones mensuales para el agroclima Quillota (Anexo 5), es posible estimar que para los 436 mm de pluviometría anual, el componente útil sería de 250 a 300 mm. De esta forma, para años "normales" con pluviometrías medias de 436 mm al año, distribuidas principalmente en los meses invernales (NOVOA et. al, 1989) los requerimientos de un huerto de paltos tenderían a los 7000 m³/ha/año.

Sin duda, el efecto de las precipitaciones explica los volúmenes propuestos para Quillota por SALGADO (1990) de 3.500 a 4.500 m³/ha y TELLO (1991) de 3.200 a 4.100 m³/ha, pues para esta investigación, un volumen de 4.000 m³/ha habría alcanzado sólo para regar los tratamientos de 90% de ETc desde el mes de julio hasta mediados de enero. Esto concuerda con lo establecido por BOZZOLO (1993), donde riegos anuales de 445 mm, pluviometrías invernales de 300 mm y una evaporación de bandeja de 1300 mm permitirían obtener niveles de producción aceptables.

Luego, hay que tomar en cuenta que el año 1998 fue el más seco del presente siglo y que las lluvias debieran distribuirse homogéneamente en los meses invernales en años normales. Por ello es posible estimar que los requerimientos hídricos de un huerto de paltos para la región de Quillota no debieran ser superiores a los 10.700 m³/ha/año en ausencia de lluvias para un sistema de riego por microaspersión, que considera una eficiencia de aplicación del 80%. Esto bajo el supuesto que mayores volúmenes (130% ETc) logren aumentar los retornos por hectárea. Sin embargo, a la luz de los resultados del presente ensayo, un 130% de ETc genera en mayor medida condiciones de estrés por excesos de humedad en el suelo. Dadas las

características del sistema radicular del palto en relación a esta condición, especialmente debido a los ataques de *Phytophthora cinnamomi* se puede preveer que tal opción no favorecerá su desarrollo, ni tampoco la del árbol completo. Si por otro lado, se confirman los coeficientes de cultivo propuestos en este ensayo los requerimientos reales tenderían a los 9600 m³/ha/año. El valor mínimo a aplicar por superficie dependerá principalmente de la intensidad y distribución de las precipitaciones. En forma secundaria, variaciones en la demanda evapotranspirativa de la atmósfera podrían tener de igual forma incidencia.

Luego, la manera correcta de estimar las necesidades hídricas no es sólo conjeturando un volumen de agua por hectáreas en base a la evapotranspiración potencial, sino que relacionando este dato segmentado en forma mensual con la probabilidad de ocurrencia de lluvias en los diferentes meses, tanto en frecuencia como en intensidad.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que un 90 y un 130% de ETc generan en mayor medida condiciones de estrés en el medio en el cual están las raíces para todas las frecuencias de riego, y que aportes de 100 y 110% de ETc en base a los Kc utilizados mantienen condiciones de humedad más adecuadas.

En base a los resultados del comportamiento de la humedad en la zona radicular y a las condiciones climáticas registradas en este estudio, fue posible estimar que los requerimientos hídricos para el palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass, para la provincia de Quillota no son mayores a los 10.700 m³/ha/año.

De acuerdo a los coeficientes de cultivo evidenciados en el presente estudio, el requerimiento hídrico para el palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass, se aproxima a los 9.600 m³/ha/año y bajo condiciones climáticas de pluviometría normales, los aportes anuales tenderían a los 7.000 m³/ha.

Valores de coeficiente de cultivo cercanos a 0.6 en julio y agosto, de 0.6 a 0.7 de septiembre a noviembre y de 0.8 a 0.9 e incluso 1.0 en los meses de verano se aproximarían a los requerimientos hídricos de los árboles para las condiciones del ensayo.

El mayor componente de la absorción de agua por parte del palto ocurrió en los primeros 60 centímetros de profundidad en árboles bajo riego semanal.

No se encontró efecto de ninguno de los tratamientos de riego sobre el crecimiento en longitud final de brotes del período primaveral.

Con los datos del presente ensayo se ratifica que la planeación de los riegos debe basarse en las características del suelo, clima, distribución del sistema radicular y parámetros de humedad de suelo.

Las lecturas de la sonda de neutrones permitieron llevar un seguimiento del comportamiento de la humedad del suelo en el perfil, detectando los déficits y superhabit de agua en el perfil del suelo generado por los diferentes tratamientos de riego.

Para las condiciones del ensayo, riegos semanales en los meses estivales generaron un déficit hídrico en el suelo, en los dos o tres días anteriores al riego siguiente. Un agotamiento del 20% de la humedad aprovechable mantuvo en estos casos potenciales matrices cercanos a capacidad de campo.

Las lecturas de tensiómetros reflejaron la evolución del contenido de humedad del suelo al igual que las lecturas de la sonda de neutrones, a pesar de bajas correlaciones entre ambos instrumentos en ciertos meses y en algunos tratamientos a lo largo del presente estudio.

La utilización de la ecuación de Penman-Monteith correlacionó positivamente con el valor E_{To} con aquel entregado por la bandeja evaporimétrica clase A, con un R^2 0.76.

La ecuación de Penman-Monteith permitió verificar y ajustar los coeficientes de bandeja empleados en la zona, entregando valores de 0.7 a 1.3, dependiendo del mes y del tipo de evaporímetro utilizado.

La temperatura de suelo a 15 cm debe ser considerada como un factor importante para el cultivo del palto en la provincia de Quillota, dado que a inicios de primavera se observaron temperaturas bajo el umbral de desarrollo radicular y a que su evolución no favorece la absorción de agua durante los eventos fenológicos de floración y cuaja.

La temperatura óptima para el desarrollo radicular de 18°C, se alcanza primero con riegos dos veces a la semana, luego con aquellos semanales, y por último, con un mes de diferencia en aquellos tratamientos con aportes diarios.

6. RESUMEN

En atención a que los requerimientos hídricos del palto *Persea americana* Mill cv. Hass no están establecidos en Chile, y en especial para la zona de Quillota, principal zona productora del país, se realizó el presente trabajo con el objetivo de aproximar sus necesidades hídricas. El ensayo se realizó entre marzo de 1998 y enero de 1999 en el predio La Invernada, ubicado en Nogales, provincia y comuna de Quillota, V Región (32°50' Sur y 71°13' Oeste). Se utilizaron 1,8 ha de árboles adultos de la especie *Persea americana* Mill. 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 12 tratamientos de riego, que aportaban un 90, 100, 110 y 130% de la evapotranspiración real del cultivo, con tres frecuencias distintas. Riegos diarios, dos veces por semana y uno semanal.

La respuesta de los árboles fue determinada evaluando el parámetro aéreo vegetativo de longitud de brotes. A nivel radical se realizó un análisis indirecto por medio de tensiómetros y de una sonda de neutrones sobre el estado hídrico del suelo bajo los diferentes tratamientos. Además, se midió la temperatura de suelo 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 dos bandejas evaporimétricas de diferentes características.

Los resultados obtenidos no registraron una respuesta significativa en relación a la longitud final de brotes para cualquiera de los 12 tratamientos de riego. A nivel radical, se estimó que ambos extremos de los tratamientos de riego, 90% y 130% de ET_c, mantenían en mayor medida condiciones estresantes para la planta. De igual forma, se determinó que no es aconsejable mantener una frecuencia única de riego a lo largo del año.

En base a los resultados del comportamiento de la humedad en la zona radical, y a las condiciones climáticas registradas, es posible estimar que los requerimientos hídricos no deberían ser mayores a los 10.700 m³/ha/año. De acuerdo a los coeficientes de cultivo evidenciados en el presente estudio, el requerimiento real para el palto cv. Hass, se aproxima a los 9.600 m³/ha/año. Bajo condiciones climáticas normales los aportes tenderían a los 7.000 m³/ha/año.

Se determinaron los coeficientes de cultivo por medio de un balance hídrico y a través de relaciones con el estado hídrico del suelo. Valores de K_c de 0.5 a 0.6 en invierno, de 0.6 a 0.7 en primavera y de 0.8 a 0.9, incluso 1 en verano parecen satisfacer las necesidades del cultivo. Sin embargo, su confiabilidad estará sujeta a posteriores estudios que sigan esta línea de investigación.

Se correlacionó positivamente la ecuación de Penman-Monteith con dos cubetas evaporimétricas, ajustándose además los valores de coeficiente de bandeja para las condiciones del estudio.

Además se correlacionó la sonda de neutrones con mediciones equivalentes de tensiómetros, verificándose que ambos instrumentos son opciones para la planificación y control de riegos; siendo la sonda de neutrones una herramienta con mayor potencial de uso y segura para el operador.

Finalmente, temperatura óptima para el desarrollo radicular de 18°C, se alcanzó primero con riegos dos veces a la semana, luego con aquellos semanales, y por último, con un mes de diferencia en aquellos tratamientos con aportes diarios.

7 LITERATURA CITADA

- ACEITUNO, P. 1998. Fenomenos El Niflo y La Niña y sus impactos climaticos en Chile. In: Latorre, B.; Zaviezo, T.; Rioja, M.E. y Guarini, M. Seminario de control de enfermedades y plagas en frutales basado en el uso de redes de sensores meteorologicos. Pontificia Universidad Catolica de Chile. Santiago, 24 de agosto 1998. pp. 65-68
- ADATO I. 1988. Influence of daily intermittent drip irrigation on avocado (cv. Fuerte) fruit yield and trunk growth. *Journal of Horticultural Science* 63(4):675-685
- BAZZA, M. and TAYAA, M. 1996. Contribution to the improvement of sugarbeet deficit-irrigation. In: International Atomic Energy Agency. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops. Vienna. Austria. International Atomic Energy Agency, pp. 139-150.
- BERTUZZI P., BRUCKLER L., BAY D., CHANZY A. Sampling strategies for soil water content to estimate evapotraspiration. *Irrigation Science* 14:105-115
- BONSU M. 1997. Soil water management implications during the constant rate and the falling rate stages of soil evaporation. *Agricultural Water Management* 33:87-97
- BOSMAN H.H. 1987. The influence of installation practices on evaporation from Symon's tank and American class A pan evaporimeters. *Agricultural and Forest Meteorology* 41: 307-323
- BOUGHTON W.C. and McPHEE RJ. 1987. An automatic recording Class A Pan evapoplumiometer for long-term unattended operation. *Agricultural and Forest Meteorology* 41:21-29
- BOZZOLO E. 1993. Aproximacion a la determinacion de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto (*Persea americana* Mill) cv.Hass para la zona de Quillota, V Region. Taller de Titulacion. Quillota, Universidad Catolica de Valparaiso, Facultad de Agronomia. 78p.
- CALABRESE, F. 1992. EL AGUACATE. Madrid, Espafia. Mundi-Prensa. 249p.
- CALVACHE, M and REICHARDT K. 1996. Water deficit imposed by partial irrigation at different plant growth stages of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) In: International Atomic Energy Agency. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops. Vienna. Austria. International Atomic Energy Agency, pp. 63-72

- CAMPBELL SCIENTIFIC INC. 1996. PC120 ETPRO for Weather Watch 2000, Evaporation Monitoring System.. Logan, USA. Campbell Scientific Inc 7 p.
- . _____ . 1998. Weather Watch 2000, Evaporation Monitoring System. Logan, USA. Campbell Scientific Inc. 41p.
- 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. 94p.
- CARRASCO. 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.
- CARRIJO O. and CUENCA R.. 1992. Precisión of evapotranspiration estimates using neutrón probé. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 118(6):943-953
- COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR. 1997. Memoria anual 1997. Santiago. Chile. Comisión Chilena de Energía Nuclear. 129p.
- COFFEY, M.D. 1991. Cause and diagnosis; Avocado root rot. California Grower 15(17):22-23.
- CENTRO INFORMACIÓN RECURSOS NATURALES. 1997. Estudio agrológico V Región, Descripción de suelos. Santiago. Chile. Centro información recursos naturales Ciren-Corfo. 180 p.
- 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
- CFFIEW F., KAMALADASA N., MALANO H, McMAHON T. 1995. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. Agricultural Water Managment 28: 9-21
- CAMPBELL NUCLEAR. 1997a. Nuclear Gauge Radiation Safety Training Manual. CPN International, Inc. 2830 Howe Road. Martínez Ca. USA. 20p.
- _____. 1997b. 503 DR Hydroprobe® Moisture Gauge, operating Manual. CPN International, Inc. 2830 Howe Road. Martínez Ca. USA. 50p.
- DE FINA A.L. 1985. Climatología y fenología agrícolas. Buenos Aires. Argentina Universitarias de Buenos Aires. 35Ip.

- DOORENBOS J., PRUITT W.O. 1986. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma. Italia. FAO. 190p. (Estudio FAO de riego y drenaje N° 24).
- _____. 1976. Estaciones agrometeorológicas. Roma. Italia. FAO. 111p. (Estudio FAO de riego y drenaje N°27)
- _____ y KASSAM, A.H. 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma. Italia. FAO. 212p. (Estudio FAO de riego y drenaje N° 33).
- DUCO A. 1996. Efecto de tres niveles hídricos aplicados en un huerto de paltos (*Persea americana Mill*) cv.Hass. sobre la incidencia de *Phytophthora cinnamomi*. . Taller de Titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 59p.
- DU PLESSIS, S.F. 1991. Factors important for optimal scheduling of avocados orchards. South African Avocado Grower's Association Yearbook 14:91-93
- ELDER A.N. and RASMUSSEN T. 1994. Neutrón Probé Calibration in Unsaturated Tuff. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1301-1307
- ESPILDORA, B.; BROWN E.; CABRERA G. Y ISENSEE, P. 1975. Elementos de Hidrología. Santiago. Chile. Universidad de Chile. 913p.
- EVETT S.R. and STEINER. J.L. 1995. Precisión of Neutrón Scattering and Capacitance type soil water content gauges from field calibration. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:961-968
- FABER, B.; ARPAIA M.L. and YATES, M. 1995. Irrigation management of avocados. World Avocado Congress III. Tel Aviv. Israel, 22-27 octubre.
- FELDHAKÉ C.M. and BOYER D.G. 1986. Efecto de la temperatura del suelo sobre la evapotranspiración en C3 y C4 gramíneas. Agricultural and Forest Meteorology 37: 309-318
- FRANCIS, L. 1996. ¿Hay un riego eficiente?. California Avocado Society. The Avocado Quarterly 39:2-7
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G.E.; NORDENSON, J.; OMAR M.H. and URYVAEV, V.A. 1966. Measurement and Estimation of evaporation and evapotranspiration. Ginebra. Suiza. Secretariat of the World Meteorological Organization. 121p. (Technical Note N°83)
- GARDIAZABAL, F. y ROSENBERG, G. 1991. Cultivo del palto. Quillota. Chile. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 20 Ip.
- _____, F. 1998a. Floración en Paltos. In: Soc. Gardiazabal y Magdahl. Seminario Internacional de Paltos. Viña del Mar, 4, 5 y 6 de Noviembre, pp. 51-72

- _____, F. 1998b. Factores agronomicos a considerar en la implantation de un huerto de paltos. In: Soc. Gardiazabal y Magdahl. Seminario International de Paltos. Vina del Mar, 4, 5 y 6 de Noviembre. pp. 17-38.
- GREGORIOU, C. 1980. Some aspects of shoot and root growth of avocado under lowland tropical conditions. California Avocado Society Yearbook 64:85-88
- GRISMER, M.E.; BALI, K.M. and ROBINSON F.E. 1995. Field-Scale neutron probe calibration and variance analysis for clay soil. Journal of irrigation and Drainage Engineering 5:354-362
- GUSTAFSON, C.D. 1976. Avocado water relations. California Avocado Society Yearbook 60:57-72.
- GUROVICH L. 1985. Fundamentos y diseno de sistemas de riego. San Jose. Costa Rica Instituto Interamericano de cooperation para la Agricultura. 240p.
- _____. 1998. Programacion del riego para plantaciones fruticolas y vinedos con estaciones meteorologicas. In: Gurovich, L. Seminario-taller de manejo optimo del riego con estaciones meteorologicas. Santiago. Chile. Pontificia Universidad Catolica de Chile. 27 de Mayo.
- HERNANDEZ, F de P. 1991. Aproximacion al ciclo fenologico del palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass, para la zona de Quillota, V Region. Taller de Titulacion. Quillota, Universidad Catolica de Valparaiso, Facultad de Agronomia. 112p.
- HENDRICKX, J.M.H.; NIEBER, J.L. and SICCAM, P.O. 1994. Effect of tensiometer cup size on field Soil Water Tension Variability. Soil. Soc. Am. J. 58:309-315
- HONORATO R. 1993. Manual de edafologia. Santiago. Chile. Universitaria. 195p.
- HOWELL, T.A., PHENEM C.J. and MEEK, D.W.. 1983. Evaporation from Screened Class A Pans in a Semi-arid Climate. Agricultural and Forest Meteorology 29:111 -124
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1996. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops. Viena. Austria. IAEA. 273p.
- IRRICROP TECHNOLOGIES. 1998. PRXM & PRX User Manual. Narrabi, NSW. Australia. Irricrop Technologies Pty. Ltd.. 31 Ip.
- JAGTAP, S.S. and JONES, J.W. 1989. Stability of crop coefficients under different climate and irrigation managment practice. Irrigation Science 10:231-244

- JAYAWARDENA A.W. 1989. Calibration of some empirical equations for evaporation and evapotranspiration in Hong Kong. *Agricultural and Forest Meteorology* 47:75-81
- JONES, E.G. and TARDIEU, F. 1998. Modeling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74:21-46
- JENSEN M.E., BURMAN R.D., ALLEN R.G. 1990. *Evaporation and Water Irrigation Requirements*. New York. USA. American Society of Civil Engineers. 33 Ip. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 70)
- KRAMER, P.J. 1974. *Relaciones Hidricas de Suelos y Plantas. Una Sintesis Moderna*. Ciudad de Mexico. Mexico. Edutex. p.538.
- KURTZ, C.; GUIL, I. and KLEIN, I. 1991. Water rate effects on three avocado cultivars. *Proceedings of Second World Avocado Congress II*. 21-25 april 1991 Orange, California, USA. pp. 357-364.
- LAHAV, E., and KALMAR, D. 1976. Water requirements of the avocado tree in the Western Galilee (1968-1974). Bet Dagan. Israel. Division of Scientific Publications Israel. 129p. (Pamphlet N° 157)
- _____. 1977a. Water Requirements of Avocado in Israel. I. Three and Soil Parameters. *Australian Journal Agriculture Research*. 28: 859-68.
- _____. 1977b. Water Requirements of Avocado in Israel. II. Influence on Yield, Fruit growth and Oil Content. *Australian Journal Agriculture Research*. 28: 869-77
- _____. 1983. Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. *Australian Journal Agriculture Research* 34: 717-724.
- _____. STEINHARD, T R. and KALMAR, D. 1992. Water requirements and the effect of salinity in an avocado orchard on clay soil. *Proc. of Second World Avocado Congress II*. 21-25 april 1991, Orange, California, USA. pp 323-330.
- LEVINSON, B. and ADATO, I. 1991. Influence of reduced rates of water and fertilizer application using daily intermittent drip irrigation on the water requirements, root development and responses of avocado trees (cv. Fuerte). *Journal of Horticultural Science* 66(4):449-463
- LIBARDI, P.L.; MORAES S.O.; SAAD A.M.; DE JONG VAN LIER Q.; VIEIRA O. and TUON R.L. 1996. Nuclear techniques to Evaluate the Water use of Field crops Irrigated in Different stages of their cycles. In: *International Atomic Energy*

Agency. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops..
Vienna. Austria. IAEA, pp.33-50.

LOVATT C. J. 1987. Stress. California Avocado Society Yearbook 71:251-255.

_____, ZHENG, Y and HAKE, O.K. 1988. Demonstration of a change in
nitrogen metabolism influencing flower initiation in citrus. Israel Journal of Botany.
37:181-188

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

MALEK E. 1987. Comparison of alternative methods for estimating ETP and evaluation of
advection in the Bajgah area, Iran. Agricultural and Forest Meteorology 39:185-
192

MARTINEZ, A.R. 1981. Proyecto de implementation de un sistema de riego tecnificado en
la Estacion Experimental "La Palma", Quillota. Taller de Titulacion. Quillota,
Universidad Catolica de Valparaiso, Facultad de Agronomia. 102p.

MC KENZIE, D.C.; HUCKER, K.W.; MORTHORPE, L.J. and BAKER, P.J. 1990. Field
calibration of a neutron-gamma probe in three agriculturally important soils of
the Lower Macquarie Valley. Australian Journal of Experimental Agriculture
30:115-122

MEYER, J.L.; ARPAIA, M.L.; YATES, M.V.; TAKELE, E.; BENDER, G. and WITNEY,
G. 1990. Irrigation and Fertilization Management of Avocados. California
Avocado Society Yearbook 74:71-84

MICHELAKIS, N.;VOUGIOCALOU, E. and CLAPAKI, G. 1993. Water use, wetted soil
volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. Agricultural
Water Management 24:119-131.

MORENO, F.; CAYUELA, J.A.; FERNANDEZ, J.E.; FERNANDEZ-BOY, E.; MURILLO,
J.M. y CABRERA, F. 1996. Water balance and nitrate leaching in an irrigated
maize crop in SW Spain. IN: International Atomic Energy Agency. Nuclear
techniques to assess irrigation schedules for field crops. Vienna. Austria IAEA,
pp. 211-224.

MOUTONNET, P.; PLUYETTE, E.; MOURABIT, E.L. and COUCHAT, P. 1998.
Measuring the spatial variability of soil hydraulic conductivity using an
automatic Neutron moisture gauge. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:1521-1526

MOYA, J.A. 1994. Riego localizado y fertirrigacion. Madrid. Espana. Mundi-prensa.
363p.

- NOVOA R.; VILLASECA, R.; DEL CANTO, P.; ROANET, J.; SFFIRRA, C. y DEL POZO, A. 1989. Mapa Agroclimatico de Chile. Santiago. Chile. INIA. 22Ip.
- PARTRIDGE, C.J. 1998. Avocado irrigation - Practical observations in determining water need, irrigation design and frequency scheduling. *Talking Avocados* 6:24-27
- 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
- RADERSMA, S. and REDDER, N. 1996. Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameters values. *Agricultural Water Management* 31:17-34
- RAMADASAN, 1980. Gas exchange in the Avocado Leaves under Water Stress and Recovery. *California Avocado Society Yearbook* 64:147-151
- RAMOS C.; CASTEL J.R.; GOMEZ DE BARREDA D. 1988. Some aspects on the use of the neutron probe in irrigation and evapotranspiration studies. In: GIULIVO, C. and ZERBI, G. Fourth International Symposium on Water Supply and Irrigation in the Open and under Protected Cultivation. Padova. Italy. *Acta Horticulturae* 26-28 august, 1985. pp. 73-81.
- RAZETOB. 1996. Situation actual del palto en Chile. In: Razeto, B. y Fichet, T. *Cultivo del palto y perspectivas de mercado*. Santiago. Chile. Universidad de Chile, pp. 1-8.
- RESNIK, R.; HALLIDAY D. y KRANE K. 1996. *Fisica*. Mexico. Mexico Compañia editorial continental S.A. 658p.
- RIUS, G.X. 1996. La sonda de neutrones en la programación de riegos y el manejo de cultivos: una experiencia Australiana. *Fruticultura Profesional* 76:24-29
- RUIZ-SANCHEZ, M.C.; GIRONA, I. 1995. Investigaciones sobre riego deficitario controlado en melocotonero. In: ZAPATA, M. y SEGURA, P. *Riego Deficitario Controlado*. Madrid, Mundi-Prensa. 67-95p.
- SADZAWKAR, A. 1990. *Metodo de analisis de suelos*. Santiago. Chile. Institute de Investigaciones Agropecuarias. INIA. 130p. (Serie La Platina N°16).
- SALAZAR, S.; and CORTEZ, J. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soil of different texture. *California Avocado Society Yearbook* 70:165-174
- SALGADO, E. 1985. Calibration of a Theoretically Derived Relationship between Pan Evaporation and Evapotranspiration. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Oregon State University. 11 Ip.

- _____ 1991. Manejo del riego. In: Curso Internacional de Producción, Postcosecha y Comercialización de Paltas, 2-5 Octubre de 1990. Viña del Mar, Chile.
- _____ . 1996. Apuntes de clases, Relación suelo-agua-planta. Universidad Católica de Valparaíso. 88 pag.
- SALISBURY F.B. y ROSS C.L. 1992. Fisiología Vegetal. México. México. Grupo Editorial Iberoamérica. 759 p.
- SANTA OLALLA MAÑAS, M. y JUAN VALERO, J. 1993. Agronomía del Riego. Madrid. España. Multi-Prensa. 732p.
- SANTIBAÑEZ, F. y URIBE, J. 1990. Atlas Agroclimático de Chile, Regiones V y Metropolitana. Santiago. Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 40p.
- SEPASKHAH and BOERSMA. 1979. Thermal conductivity of Soils as a Funtion of Temperature and Water Content. Soil Sci. Soc.Am. 43:439-444
- SILVA H., y RODRÍGUEZ J. 1995. Fertilización de Plantaciones Frutales. Santiago. Chile. Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile. 519p.
- SLOWIK, K.; LABANAUSKAS, C.K.;STOLZY, L.H. and ZENTMYER, G.A. 1979. Influence of rootstocks, soil moisture on the uptake and traslocation of nutrients in young avocado plants. J.Amer.Soc.HortSci. 104(2): 172-175
- SMTTH M. 1992. Expert Consultation On Revisión of Fao Methodologies for crop Water Requirements. Rome. Italy. FAO Land and Water Development División. 60p.
- SUDZUKI F. 1996. Frutales subtropicales para Chile. Santiago. Chile. Universitaria.. 213 P-
- TAKELE, E., MEYER J, ARPAIA M.L., YATES M.V., BENDER G. and WITNEY G. 1990. Irrigation and fertilization managment of economic analysis progress report. California Avocado Society Yearbook 74:85-88
- TAPIA, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass, para la zona de Quillota, V Región. Taller de Titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 143p.
- TEJOS, C. 1998. Recomendaciones para la adquisición de estaciones meteorológicas autorizadas. In: Latorre, B.; Zaviezo, T.; Rioja, M.E. y Guarini, M. Seminario de control de enfermedades y plagas en frutales basado en el uso de redes de sensores meteorológicos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, 24 de agosto 1998. pp. 65-68

- TELLO, C.A. 1991. Efectos de volúmenes diferenciados de riego en el desarrollo vegetativo, producción y calidad de frutos en palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass. Taller de Titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 46 p.
- TOMER E. 1987. Respuesta del aguacate al régimen de riego. Bet-Dagan, Israel. Agricultural Research Organization. The Volcani Center. p. 12-21
- 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 Titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 33 p.
- VACHAUD, G; KENGNI, L.; NORMANO, B. and THONY, J.L. 1996. Field estimation of water and nitrate balance for an irrigated crop. In: International Atomic Energy Agency. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops, Vienna. Austria. International Atomic Energy Agency. pp. 73-88.
- VAN ZYL, W.H., DE JAGER J.M. and MAREE, C.J. 1987. Accuracy of the Penman-Monteith equation adjusted for atmospheric stability. *Agricultural and Forest Meteorology* 41:57-64.
- _____, _____ and _____. 1989. The relationship between daylight evaporation from short vegetation and USWB Class A Pan. *Agricultural and Forest Meteorology* 46:107-118
- VILLABLANCA, LA. 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 presurizados (goteo y microaspersión). Taller de Titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 117p.
- VUTHAPANICH S.; HOFMAN P.; WHILEY T.; KLIEBER A. AND SIMONS D. 1995. Effects of irrigation scheduling on Yield and Postharvest Quality of 'Hass' avocado fruit. Abstract. In: Department of Agriculture. Conference "The Way Ahead". Western Australian, april 1995. pp. 79-86
- 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
- _____.; PEGO, K.G.; SARANAH, J.B. and FORSBERG, L.J. 1986. The control of
of
Phytophthora root rot of avocado with fungicides and the effect of this disease on water relations, yield and ring neck. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 26:249-253

- _____.; WOLSTENHOLME, B.N.; SARANAH, J.B. and ANDERSON, P.A. 1987. Effect of root temperatures on growth of two avocado rootstock cultivars. Australia, Maroochy Horticultural Research Station. (Report N°5).
- _____. 1990. Interpretation de la fenologia y fisiologia del palto para obtener mayores producciones. In: Curso Internacional de Production, Postcosecha y Comercializacion de Paltas, 2-5 Octubre de 1990. Vina del Mar, Chile.
- WOLSTENHOLME, B.N. 1981. Root, shoot or fruit?. South African Avocado Grower's Association Yearbook 4:27-29
- ZAMET D. 1995. On Avocado Yields. California Avocado Society Yearbook. 79:211-213.

ANEXO 1. Comparación de métodos para obtener la evapotranspiración potencial.

METODO	Regiones húmedas			Regiones Áridas		
	Nº Ranking	Sobre estimación	Error Standard (mm/día)	Nº Ranking	Sobre estimación	Error Standard (mm/día)
Penman-Monteith	1	+4%	0.32	1	-1%	0.49
FAO-24 Penmann corregida	19	+35%	1.14	10	+18%	1.1
Penman (1963)	3	+14%	0.60	7	-2	0.70
FAO-Radiación	11	+22%	0.79	3	+6%	0.62
FAO Blaney-Criddle	9	+16%	0.79	9	0%	0.76
Bandeja Clase A	20	+14%	1.29	17	+21%	1.54

Fuente: SMITH, 1992

ANEXO 2.

Pérdida logarítmica de energía por colisión, ϵ , y número de colisiones para termalizar un neutrón rápido, N , para distintos elementos.

Elemento	Masa atómica	ϵ	N
H	1	1.20	18
D	2	0.75	25
He	4	0.43	43
Li	7	0.26	67
Be	9	0.21	86
C	12	0.16	114
O	16	0.12	150

Fuente: GLASSTONE y EDLUND (1952) citado por ELDER y RASMUSSEN (1994)

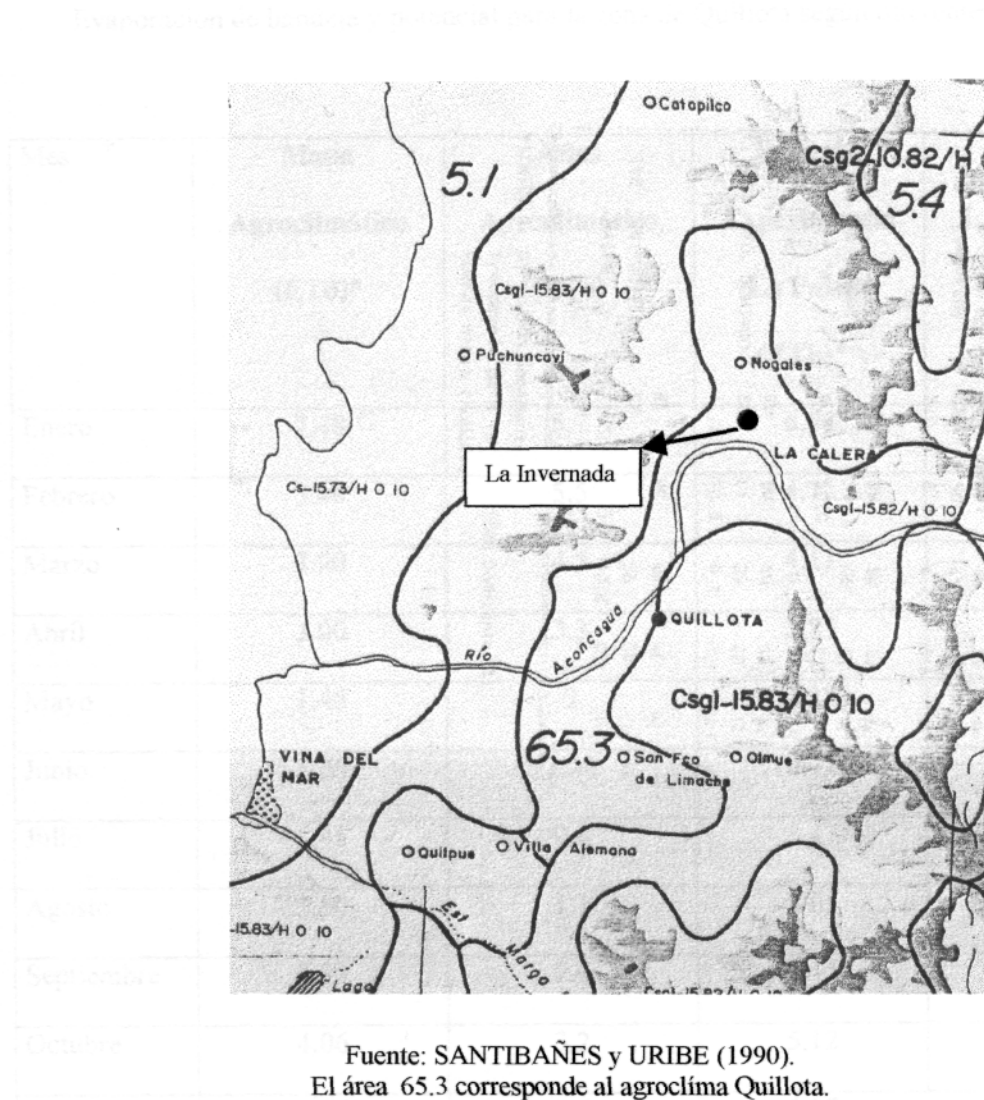
Contribución relativa por elementos que participan mayormente en la absorción (99.054%) y la dispersión o termalización (94.768%) de neutrones rápidos.

ABSORCIÓN RELATIVA		TERMALIZACIÓN RELATIVA	
Elemento	σ_a/Σ_a	Elemento	σ_s/Σ_s
Boro	0.66837	Hidrógeno	0.89538
Cadmio	0.20876	Nitrógeno	0.02030
Litio	0.09800	Cloro	0.01322
Cloro	0.00913	Carbono	0.01127
Cobalto	0.00618	Oxígeno	0.00751
TOTAL	0.99054	TOTAL	0.94768

σ_a/Σ_a : proporción de absorción microscópica de sección transversal, σ_a , absorción microscópica de sección transversal, Σ_a , asumiendo concentraciones equimolares.

σ_s/Σ_s : proporción de termalización microscópica de sección transversal, σ_s , termalización microscópica de sección transversal, Σ_s , asumiendo de concentraciones equimolares.

Fuente: OLGAARD (1965) citado por ELDER y RASMUSSEN (1994).



Fuente: SANTIBAÑES y URIBE (1990).
El área 65.3 corresponde al agroclima Quillota.

ANEXO 4.

Evaporación de bandeja y potencial para la zona de Quillota según diferentes fuentes

Mes	Mapa Agroclimático (ETo)*	Atlas Agroclimático (ETo)	Estación Experimental La Palma (ETb)**	Predio LA INVERNADA 1996;1997(ETb)
Enero	7.48	5.7	6.58	7.28 ; 9.57
Febrero	5.48	5.5	4.72	6.70 ; 7.00
Marzo	3.90	4.5	4.11	5.16 ; 4.60
Abril	3.00	3.3	2.83	3.99 ; 3.85
Mayo	1.45	2	1.28	1.86 ; 1.90
Junio	1.26	1.14	0.72	1.20 ; 0.71
Julio	1.41	0.8	1.47	1.79 ; 0.87
Agosto	1.80	1.1	2.05	1.54 ; 1.78
Septiembre	2.33	2.0	4.45	2.47 ; 2.44
Octubre	4.06	3.2	5.12	4.55 , 3.27
Noviembre	6.16	4.6	5.27	7.48 ; 5.08
Diciembre	6.29	5.3	6.22	8.55 , 6.90

• *Se usó Kb de 0,70 para obtener estos ETo.

• ** Datos según BOZZOLO, 1993. Tesis Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso.

ANEXO 5. Velocidades promedio (km/día) del viento y precipitaciones para la zona de Quillota.

MES	Mapa Agroclimático 1989	Atlas Agroclimático 1990	Dirección dominante	Frecuencia de dirección (%)	Precipitación (mm)*
Enero	160	204	SW	92	2.5
Febrero	164	186	SW	87	6.3
Marzo	138	173	SW	83	2.2
Abril	111	177	SW	77	12.4
Mayo	102	160	SW	54	77.4
Junio	111	169	SW	46	125.4
Julio	120	155	SW	45	86.2
Agosto	129	155	SW	64	78.4
Septiembre	147	177	SW	67	25.0
Octubre	156	191	SW	77	13.0
Noviembre	182	213	SW	86	4.8
Diciembre	191	231	SW	88	2.8

*Fuente: NOVOA *et al.*, 1989

ANEXO 6.

Análisis de Suelo

LABORATORIO: Laboquim TerraPREDIO: La Invernada

Resultados analíticos

PARAMETRO	CONTENIDO	EXPRESIÓN
pH	8.16	---
Conductividad eléctrica	1.79	mmhos/cm
Materia orgánica	1.33	%
Nitrógeno	14.11	ppm
Fósforo	21.37	ppm
Potasio	109.68	ppm
Cobre	5.12	ppm
Zinc	3.20	ppm
Manganeso	75.20	ppm
Fierro	23.20	ppm
Análisis granulométrico		
Partículas	Porcentaje	Diámetro (mm)
Arcilla	26.80%	<0.002
Limo	22.70%	0.05 – 0.002
Arena	50.50%	0.05 – 0.5

ANEXO 7. Calicatas Parcela La Invernada - Sector Experimental

Características físicas y morfológicas del pedón.

Probable calicatas sobre el terreno original, previa elaboración de los camellones.

CALICATA, suelo Serie La Calera.

Profundidad

- O - 21 Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franca; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios y finos, débiles. Raíces finas y medias abundantes; actividad biológica abundante. Cristales de mica escasos. Límite lineal, difuso.
- 21 - 39 Pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; franca; ligeramente plástico y adhesivo; friable en húmedo; estructura de bloques subangulares, medios moderados. Raíces finas abundantes y medias comunes; poros finos y medios abundantes; actividad biológica abundante. Cristales de mica y cuarzo escasos. Límite ondulado, abrupto
- 39 - 87 Pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico y adhesivo; friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, moderados, que se parten en bloques subangulares finos y medios abundantes, actividad biológica abundante, Límite ondulado, claro.
- 87 - 110 Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3) en húmedo; franca; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable en húmedo; estructura maciza que se parte en bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas escasas; poros finos abundantes; actividad biológica común. Cristales de cuarzo y mica común. Límite ondulado, claro.
- 110 -130 Substrato aluvial que incluye estratas de textura franco arenosa y arena francosa, de colores pardo oscuro y pardo amarillento oscuro y estratas de gravas redondeadas con matriz arenosa.

ANEXO?

CALICATA sobre un camellón.

- 0 - 3 0 Pardo oscuro (10YR 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 (10YR 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 (10YR 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 inexistentes y medias muy escasas. Límite ondulado, claro.
- 90 - 130 Substrato aluvial que incluye estratas de textura franco arenosa y areno francesa, de colores pardo oscuro y pardo amarillento oscuro y estratas de gravas redondeadas con matriz arenosa. Ausencia de raíces.

ANEXO 8.

Análisis del agua de riego

LABORATORIO: Laboquim TerraPREDIO: La InvernadaFUENTE: Pozo

Resultados analíticos

NUTRIENTE	CONTENIDO	EXPRESIÓN
pH	7.29	
Conductividad Eléctrica	0.67	mmhos/cm
Calcio	3.95	meq/l
Magnesio	1.33	meq/l
Sodio	1.20	meq/l
Potasio	nsd	meq/l
Sulfatos	2.57	meq/l
Bicarbonatos	3.60	meq/l
Cloruros	0.81	meq/l
N-NO ₃ -	0.20	meq/l
N-NH ₄ ⁺	0.03	meq/l
Cobre	nsd	ppm
Zinc	0.01	ppm
Manganeso	nsd	ppm
Fierro	nsd	ppm
Fosfatos	0.005	meq/l
Boro	0.21	ppm

nsd: no se detecta

ANEXO 9.

Análisis Foliar

LABORATORIO: Laboquim TerraPREDIO: La Invernada

Resultados analíticos

NUTRIENTE	CONTENIDO	EXPRESIÓN
Nitrógeno	2.14	(%)
Fósforo	0.13	(%)
Potasio	1.50	(%)
Calcio	1.42	(%)
Magnesio	0.40	(%)
Cobre	33.00	ppm
Zinc	50.00	ppm
Manganeso	153.00	ppm
Fierro	216.00	ppm
Boro	24.65	ppm
Sodio	0.15	(%)

ANEXO 10

Evolución de las producciones, años 1992-1998
parcela La Invernada.

Año	Kilogramos / Hectárea cv Hass
1992	2.418
1993	3.058
1994	7.506
1995	5.838
1996	23.140
1997	3.500
1998	33.255

$$E_{T_o} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

Donde

E_{T_o}	:	Evapotranspiración de referencia del cultivo (mm d^{-1})
R_n	:	Radiación Neta sobre la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
G	:	Flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
T	:	Temperatura promedio del aire ($^{\circ}\text{C}$)
U_2	:	Velocidad del viento a 2m (m s^{-1})
$(e_a - e_d)$:	Déficit de presión de vapor (K Pa)
Δ	:	Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
γ	:	Constante psicrométrica ($\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
900	:	Factor de conversión

ESQUEMA DEL SECTOR EXPERIMENTAL



Sectores	3	7	6	2	11	1	9	8	5	10	12	4
Árboles totales	40	44	43	42	42	41	36	36	43	45	48	52
Árboles bajo 1 tratamiento	16	16	19	20	20	19	16	16	19	21	24	26
Tratamiento	110% c/1	110% c/3	100% c/3	100% c/1	110% c/7	90% c/1	90% c/7	130% c/3	90% c/3	100% c/7	130% c/7	130% c/1

● = Tubo de acceso sonda de neutrones, batería de tensiómetros (30, 60 y 90 cm) y termómetro de suelo.
 ● = Tubo de acceso sonda de neutrones.

Estimación de los volúmenes a aplicar según los distintos tratamientos de riego

Caso N° 1 *Evapotranspiración de bandeja medida en la Estación Experimental La Palma, Quillota.

Mes	ETb* (mm/mes)	Kb	Kc	Etc (mm/mes)	90%ETc (m ³ /ha)	100%ETc (m ³ /ha)	110%ETc (m ³ /ha)	130%ETc (m ³ /ha)
Enero	204,1	0,70	0,65	92,9	835,8	928,7	1021,5	1207,3
Febrero	137,6	0,70	0,60	57,8	520,1	577,9	635,7	751,3
Marzo	127,6	0,70	0,55	49,1	442,1	491,3	540,4	638,6
Abril	85,1	0,80	0,55	37,4	337,0	374,4	411,9	486,8
Mayo	39,8	0,80	0,50	15,9	143,3	159,2	175,1	207,0
Junio	21,6	0,80	0,45	7,8	70,0	77,8	85,5	101,1
Julio	45,7	0,80	0,40	14,6	131,6	146,2	160,9	190,1
Agosto	62,8	0,80	0,50	25,1	226,1	251,2	276,3	326,6
Septiembre	133,7	0,70	0,55	51,5	463,3	514,7	566,2	669,2
Octubre	153,8	0,70	0,55	59,2	532,9	592,1	651,3	769,8
Noviembre	158,3	0,70	0,55	60,9	548,5	609,5	670,4	792,3
Diciembre	193,1	0,70	0,65	87,9	790,7	878,6	966,5	1142,2
Total	1363,2		Bruto	560,2	5041,4	5601,6	6161,8	7282,1
			Neto**	700,2	6301,8	7002,0	7702,2	9102,6

** incluye un 80%de eficiencia del emisor.

Caso N°2 *Evapotranspiración de bandeja medida en el predio La Invernada, Nogales. Promedio Datos 1996-1997

Mes	ETb* (mm/mes)	Kb	Kc	Etc (mm/mes)	90%ETc (m ³ /ha)	100%ETc (m ³ /ha)	110%ETc (m ³ /ha)	130%ETc (m ³ /ha)
Enero	261,18	0,70	0,65	118,8	1069,5	1188,3	1307,2	1544,9
Febrero	191,80	0,70	0,60	80,6	725,0	805,6	886,1	1047,2
Marzo	151,28	0,70	0,55	58,2	524,2	582,4	640,7	757,2
Abril	117,60	0,80	0,55	51,7	465,7	517,4	569,2	672,7
Mayo	58,28	0,80	0,50	23,3	209,8	233,1	256,4	303,1
Junio	28,65	0,80	0,45	10,3	92,8	103,1	113,5	134,1
Julio	41,23	0,80	0,40	13,2	118,7	131,9	145,1	171,5
Agosto	51,46	0,80	0,50	20,6	185,3	205,8	226,4	267,6
Septiembre	73,65	0,70	0,55	28,4	255,2	283,6	311,9	368,6
Octubre	121,25	0,70	0,55	46,7	420,1	466,8	513,5	606,9
Noviembre	188,20	0,70	0,55	72,5	652,1	724,6	797,0	941,9
Diciembre	239,48	0,70	0,65	109,0	980,7	1089,6	1198,6	1416,5
Total	1524,05		Bruto	633,2	5699,1	6332,4	6965,6	8232,1
			Neto**	791,5	7123,9	7915,4	8707,0	10290,1

** incluye un 80%de eficiencia del emisor.

ANEXO 15. Coeficientes de cultivo (Kc) del palto sugeridos para Quillota, Chile.

MES	*Kc ¹	**Kc ²	***Kc
Enero	0.43 ; 0.91	0.72	0.65
Febrero	0.63 ; 0.91	0.65	0.60
Marzo	0.56 ; 0.91	0.65	0.55
Abril	0.61 ; 0.93	0.58	0.55
Mayo	0.73 ; 1.40	0.58	0.50
Junio	0.64 ; 0.83	0.52	0.45
Julio	0.00 ; 0.25	0.52	0.40
Agosto	0.27 ; 0.31	0.58	0.50
Septiembre	0.52 ; 0.82	0.58	0.55
Octubre	0.54 ; 0.92	0.65	0.55
Noviembre	0.54 ; 1.0	0.65	0.55
Diciembre	0.65 ; 0.91	0.72	0.65

Nota: * Coeficientes de cultivo estimados para dos cuarteles de paltos en la zona de Quillota.

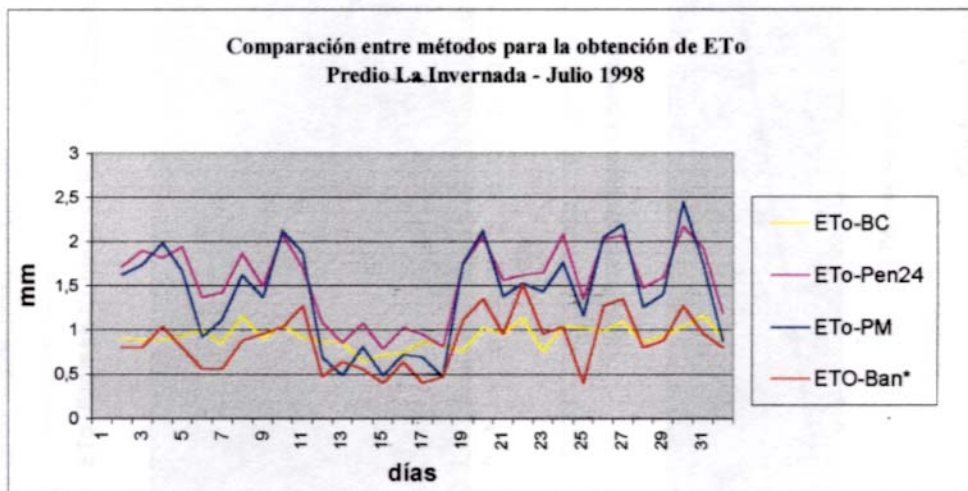
** Kc utilizado hoy en día en la zona de Quillota.

*** Kc a utilizar en el ensayo.

¹ BOZZOLO, E. 1993. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía.

² GARDIAZABAL, F. Ing. Agr. 1997. Asesor particular de frutales de hoja persistente, y profesor Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

Anexo 16. Comparación de métodos para la obtención de la evapotranspiración potencial para el predio la Invernada.



ETo-BC :Evapotranspiración potencial según método Blaney y Criddle.

ETo-Pen24 :Evapotranspiración potencial según método de Penman modificado FAO-24.

ETo-PM :Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith.

ETo-Ban* :Evapotranspiración potencial según método de la bandeja evaporimétrica con
 $K_b = 0.8$.

Los cálculos se hicieron en base a datos climáticos registrados por la estación meteorológica instalada en el predio La Invernada.

Comparación entre ET_o entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

Día	ET _o PM	ET _b	ET _o b*	Kbr	R ²
1	1,66	0	0,00	0,00	
2	2,31	2,1	1,68	1,10	
3	2,62	3	2,40	0,87	
4	2,22	3	2,40	0,74	0,19
5	1,55	2	1,60	0,78	
6	1,75	0	0,00	0,00	
7	1,56	2	1,60	0,78	
8	2,47	2,3	1,84	1,07	
9	2,33	3	2,40	0,78	
10	0,76	2	1,60	0,38	
11	0,51	2	1,60	0,26	
12	1,86	2,1	1,68	0,89	
13	1,97	4	3,20	0,49	
14	1,79	2	1,60	0,90	0,12
15	2,65	2	1,60	1,33	
16	3,09	3	2,40	1,03	
17	2,75	3	2,40	0,92	
18	1,64	3	2,40	0,55	
19	0,72	0,00	0,00	0,00	
20	0,54	1	0,80	0,54	
21	1,15	1	0,80	1,15	0,65
22	1,23	1	0,80	1,23	
23	0,59	0	0,00	0,00	
24	1,54	1,5	1,20	1,03	
25	1,49	1,5	1,20	0,99	
26	1,76	2	1,60	0,88	
27	1,21	1,1	0,88	1,10	
28	0,9	1	0,80	0,90	0,73
29	1,48	1	0,80	1,48	
30	1,91	2	1,60	0,96	
X	1,67	1,79	1,43	0,77	
Devst	0,69	1,03	0,83	0,40	

ET_oPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ET_b: Evaporación de bandeja

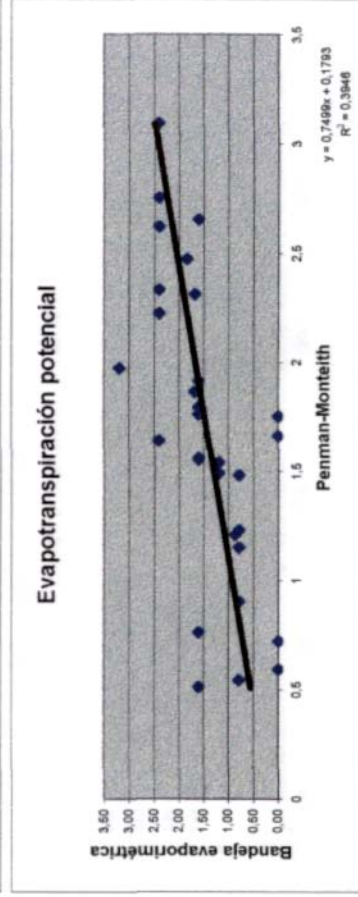
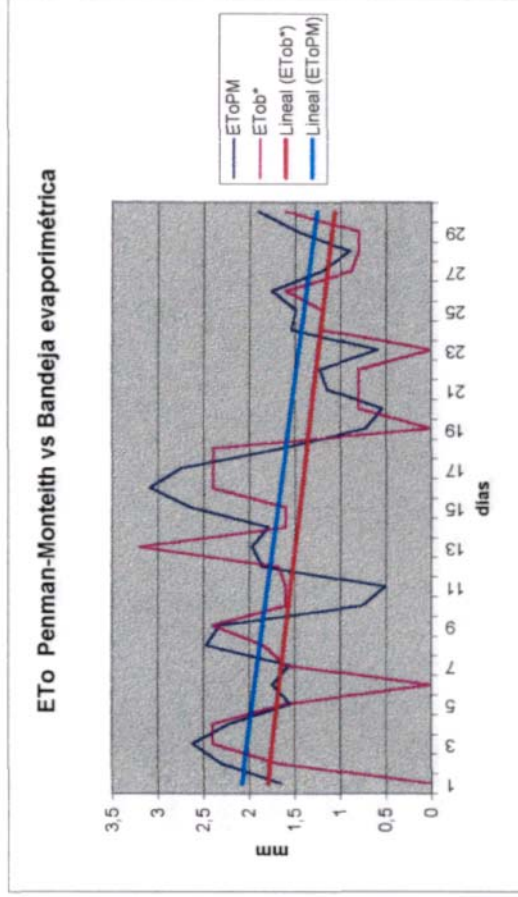
Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,8

Coefficiente r de Pearson= 0,63
Coefficiente R² = 0,39

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.



Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

Día	EToPM	ETb	Etob*	Kbr	R ²
1	2,03	3,00	2,40	0,68	
2	1,92	2,20	1,76	0,87	
3	1,70	3,00	2,40	0,57	0,04
4	1,34	1,00	0,80	1,34	
5	0,73	2,00	1,60	0,37	
6	0,46	2,70	2,16	0,17	
7	1,30	1,00	0,80	1,30	
8	1,87	1,00	0,80	1,87	
9	1,09	0,80	0,64	1,36	
10	1,10	2,00	1,60	0,55	
11	1,34	2,00	1,60	0,67	0,09
12	1,25	1,00	0,80	1,25	
13	1,06	1,47	1,17	0,72	
14	0,43	0,50	0,40	0,86	
15	0,67	0,50	0,40	1,34	
16	0,46	0,46	0,37	1,00	
17	1,48	1,00	0,80	1,48	
18	2,03	2,00	1,60	1,02	0,75
19	1,57	1,00	0,80	1,57	
20	1,81	2,00	1,60	0,91	
21	1,64	1,00	0,80	1,64	
22	0,88	0,60	0,48	1,47	
23	1,42	1,00	0,80	1,42	
24	2,06	1,10	0,88	1,87	
25	2,33	2,00	1,60	1,17	0,53
26	1,59	1,20	0,96	1,33	
27	1,22	1,30	1,04	0,94	
28	1,37	1,10	0,88	1,25	
29	0,72	1,00	0,80	0,72	
30	1,25	0,70	0,56	1,79	
X	1,34	1,39	1,11	1,12	
Desvst	0,51	0,73	0,58	0,44	

EToPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ETb: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

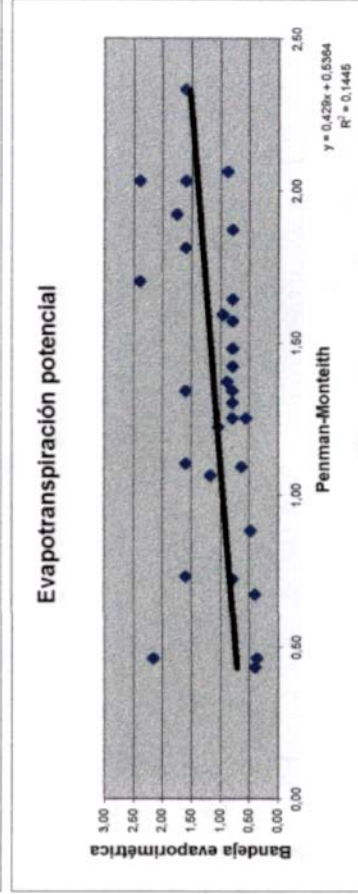
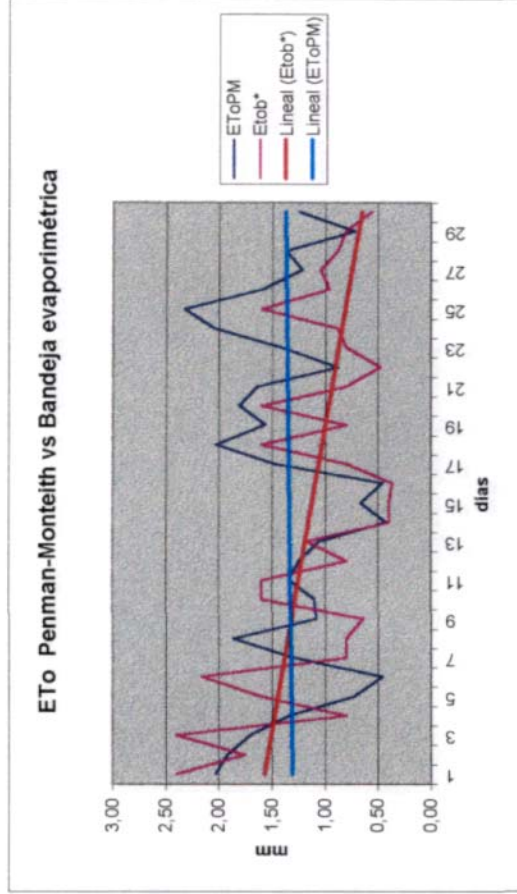
*Coeficiente de bandeja teórico= 0,8

Coefficiente r de Pearson= 0,38

Coefficiente R²= 0,14

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.



Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

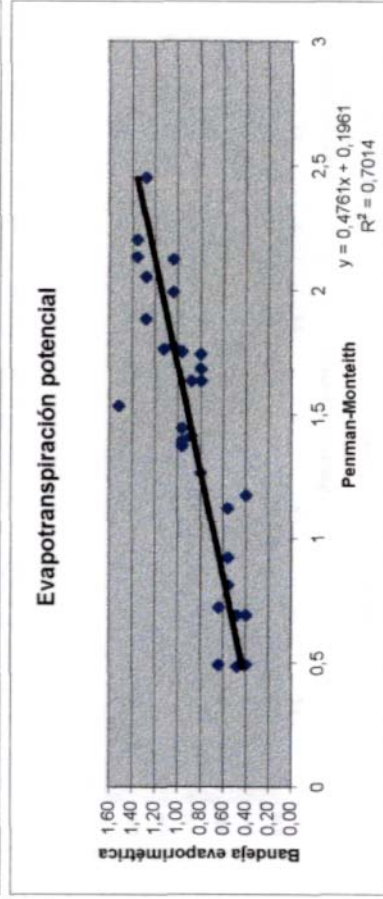
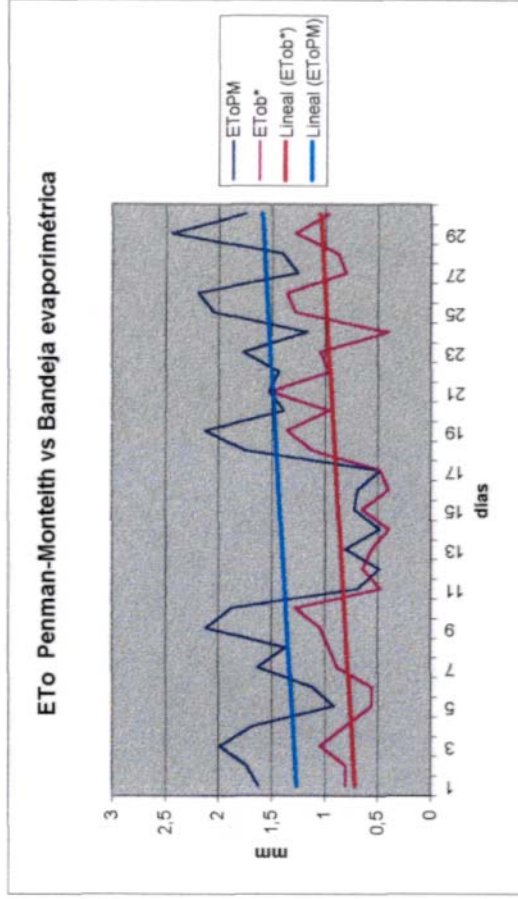
Día	EToPM	ETb	ETob*	Kbr	R ²
1	1,63	1,00	0,80	1,63	
2	1,74	1,00	0,80	1,74	
3	1,99	1,30	1,04	1,53	0,89
4	1,68	1,00	0,80	1,68	
5	0,92	0,70	0,56	1,31	
6	1,12	0,70	0,56	1,60	
7	1,63	1,10	0,88	1,48	
8	1,37	1,20	0,96	1,14	0,71
9	2,12	1,30	1,04	1,63	
10	1,88	1,60	1,28	1,18	
11	0,69	0,60	0,48	1,15	
12	0,49	0,80	0,64	0,61	
13	0,81	0,70	0,56	1,16	
14	0,49	0,50	0,40	0,98	
15	0,72	0,80	0,64	0,90	0,96
16	0,69	0,50	0,40	1,38	
17	0,48	0,60	0,48	0,80	
18	1,76	1,40	1,12	1,26	
19	2,13	1,70	1,36	1,25	
20	1,39	1,20	0,96	1,16	
21	1,53	1,90	1,52	0,81	
22	1,44	1,20	0,96	1,20	0,47
23	1,77	1,30	1,04	1,36	
24	1,17	0,50	0,40	2,34	
25	2,05	1,60	1,28	1,28	
26	2,2	1,70	1,36	1,29	
27	1,26	1,00	0,80	1,26	
28	1,41	1,10	0,88	1,28	
29	2,45	1,60	1,28	1,53	0,92
30	1,75	1,20	0,96	1,46	
31	0,87	1,00	0,80	0,87	
X	1,43	1,09	0,87	1,31	
Desvst	0,56	0,40	0,32	0,33	

EToPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ETb: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,8



Coefficiente r de Pearson= 0,84

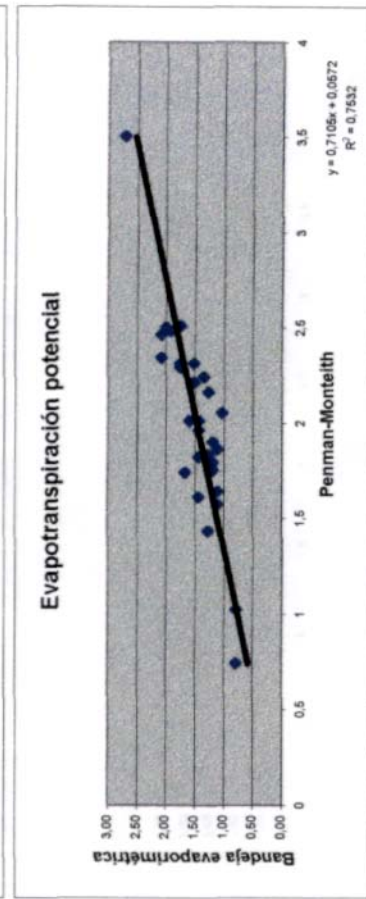
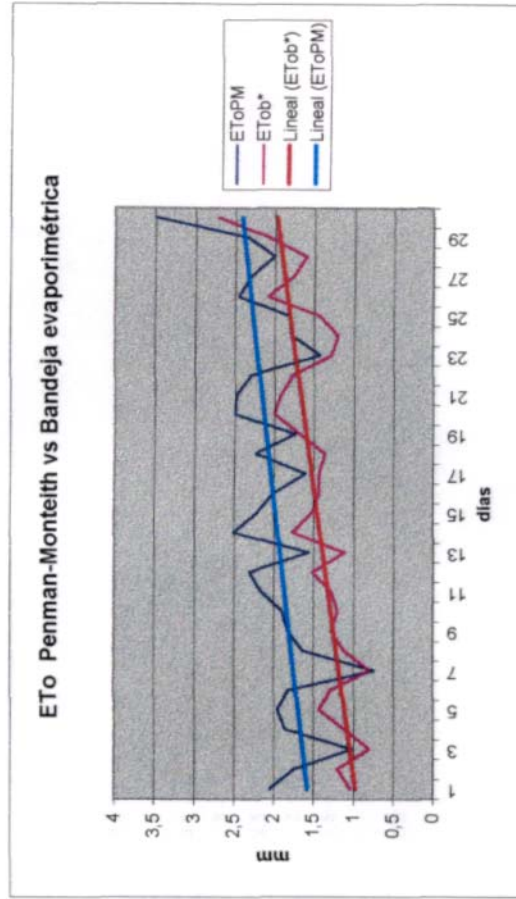
Coefficiente R²= 0,69

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

Comparación entre ET_o entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

Día	ET _o PM	ET _b	ET _{ob} *	Kbr	R ²
1	2,05	1,30	1,04	1,58	
2	1,75	1,50	1,20	1,17	
3	1,02	1,00	0,80	1,02	0,52
4	1,86	1,40	1,12	1,33	
5	1,96	1,80	1,44	1,09	
6	1,81	1,60	1,28	1,13	
7	0,74	1,00	0,80	0,74	
8	1,64	1,40	1,12	1,17	
9	1,83	1,60	1,28	1,14	0,91
10	1,9	1,50	1,20	1,27	
11	2,16	1,60	1,28	1,35	
12	2,31	1,90	1,52	1,22	
13	1,57	1,40	1,12	1,12	
14	2,51	2,20	1,76	1,14	
15	2,21	1,90	1,52	1,16	
16	2,01	1,80	1,44	1,12	0,28
17	1,61	1,80	1,44	0,89	
18	2,24	1,70	1,36	1,32	
19	1,74	2,10	1,68	0,83	
20	2,5	2,50	2,00	1,00	
21	2,48	2,40	1,92	1,03	
22	2,29	2,20	1,76	1,04	
23	1,43	1,60	1,28	0,89	0,88
24	1,79	1,50	1,20	1,19	
25	1,82	1,80	1,44	1,01	
26	2,46	2,60	2,08	0,95	
27	2,31	2,20	1,76	1,05	
28	2,01	2,00	1,60	1,01	
29	2,34	2,60	2,08	0,90	0,93
30	3,5	3,40	2,72	1,03	
X	2,00	1,84	1,47	1,10	
Desvst	0,50	0,52	0,41	0,17	



ET_oPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ET_b: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,8

Coeficiente r de Pearson= 0,87

Coeficiente R²= 0,75

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

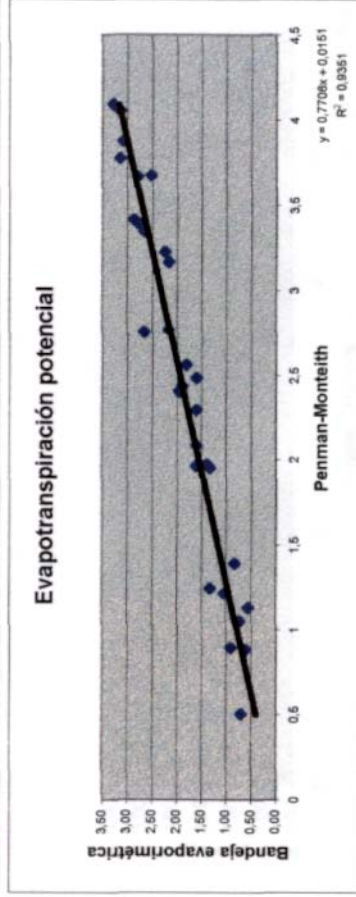
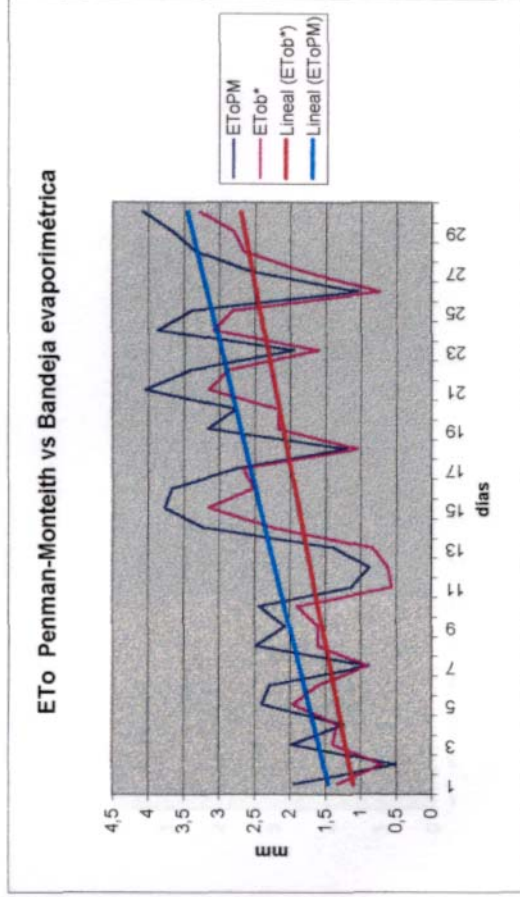
Día	ET _o PM	ET _b	ET _{ob} *	Kbr	R ²
1	1,95	1,90	1,33	1,03	
2	0,5	1,00	0,70	0,50	0,84
3	1,97	2,00	1,40	0,99	
4	1,24	1,90	1,33	0,65	
5	2,4	2,80	1,96	0,66	
6	2,29	2,29	1,60	1,00	
7	0,89	1,30	0,91	0,68	
8	2,48	2,30	1,61	1,08	
9	2,06	2,30	1,61	0,90	
10	2,43	2,70	1,89	0,90	0,87
11	1,13	0,80	0,56	1,41	
12	0,88	0,88	0,62	1,00	
13	1,39	1,20	0,84	1,16	
14	3,22	3,20	2,24	1,01	
15	3,77	4,50	3,15	0,84	
16	3,67	3,60	2,52	1,02	
17	2,75	3,80	2,66	0,72	
18	1,21	1,50	1,05	0,81	0,78
19	3,16	3,10	2,17	1,02	
20	2,76	3,10	2,17	0,89	
21	4,05	4,50	3,15	0,90	
22	3,41	4,10	2,87	0,83	
23	1,96	2,30	1,61	0,85	
24	3,87	4,40	3,08	0,88	
25	3,39	4,00	2,80	0,85	0,98
26	1,05	1,05	0,74	1,00	
27	2,56	2,60	1,82	0,98	
28	3,34	3,80	2,66	0,88	
29	3,66	4,00	2,80	0,92	
30	4,09	4,70	3,29	0,87	
X	2,45	2,72	1,90	0,91	
Desvst	1,07	1,22	0,85	0,16	

ET_oPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ET_b: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,7



Coeficiente r de Pearson= 0,97

Coeficiente R²= 0,94

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

Comparación entre ET_o entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

Día	ET _o PM	ET _b	ET _o b*	Kbr	R ²
1	4,22	6,10	4,27	0,69	0,87
2	3,99	4,90	3,43	0,81	
3	2,81	3,60	2,52	0,78	
4	2,35	3,20	2,24	0,73	
5	4,04	4,80	3,36	0,84	
6	3,89	4,70	3,29	0,83	
7	3,31	3,80	2,66	0,87	0,99
8	3,48	4,30	3,01	0,81	
9	3,23	4,00	2,80	0,81	
10	0,56	1,30	0,91	0,43	
11	4,17	5,10	3,57	0,82	
12	4,49	5,60	3,92	0,80	
13	1,93	2,60	1,82	0,74	
14	2,77	3,50	2,45	0,79	
15	4,66	6,10	4,27	0,76	0,99
16	3,62	4,70	3,29	0,77	
17	4,68	6,30	4,41	0,74	
18	5,61	7,70	5,39	0,73	
19	3,65	5,30	3,71	0,69	
20	3,51	5,10	3,57	0,69	
21	4,3	5,50	3,85	0,78	
22	3,5	4,80	3,36	0,73	0,97
23	1,18	2,00	1,40	0,59	
24	3,86	4,70	3,29	0,82	
25	1,35	2,40	1,68	0,56	
26	4,26	5,50	3,85	0,77	
27	4,17	5,60	3,92	0,74	
28	5,54	8,00	5,60	0,69	
29	5,66	7,70	5,39	0,74	
30	4,27	5,80	4,06	0,74	0,49
31	3,28	6,70	4,69	0,49	
X	3,64	4,82	3,38	0,74	
Devst	1,23	1,60	1,12	0,09	

ET_oPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ET_b: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

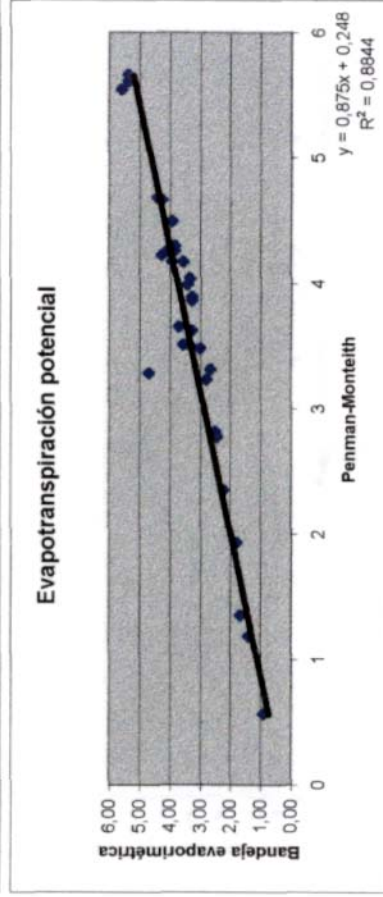
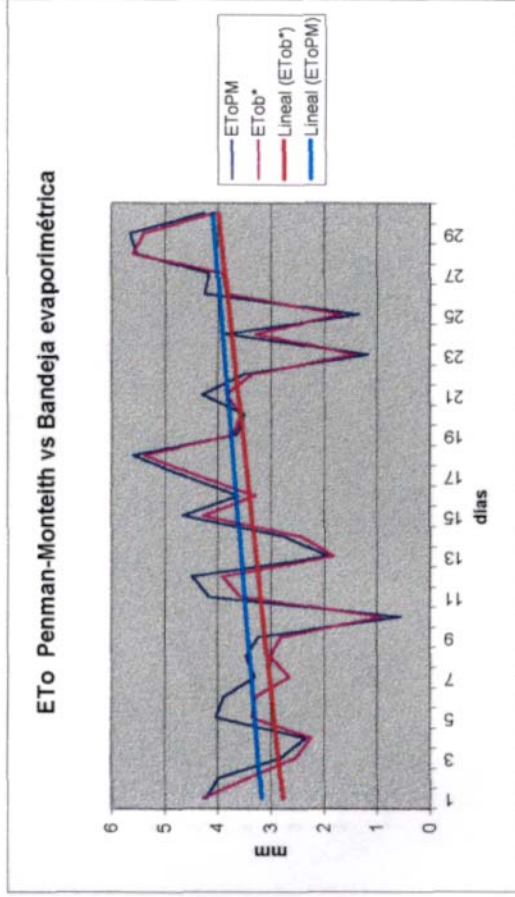
*Coeficiente de bandeja teórico= 0,7

Coefficiente r de Pearson= 0,97

Coefficiente R²= 0,88

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.



Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

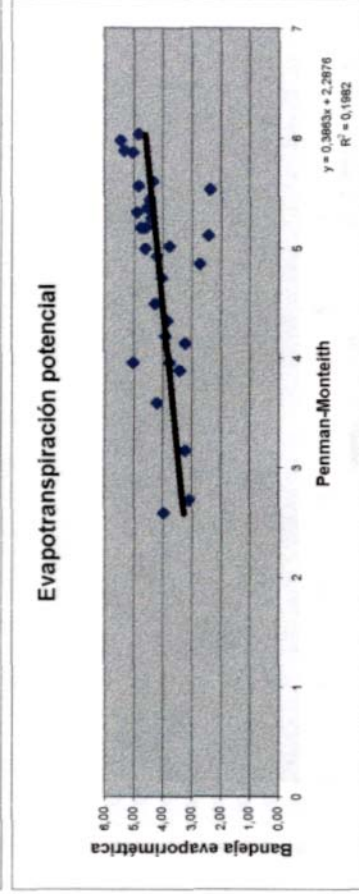
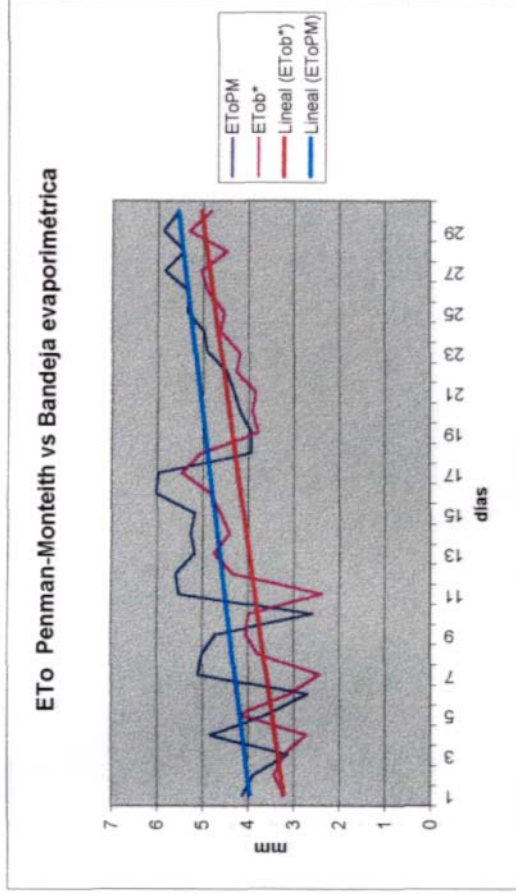
Día	EToPM	ETb	ETob*	Kbr	R ²
1	4,13	4,60	3,22	0,90	0,50
2	3,88	4,90	3,43	0,79	
3	3,15	4,60	3,22	0,68	
4	4,85	3,90	2,73	1,24	
5	3,58	6,00	4,20	0,60	
6	2,7	4,40	3,08	0,61	0,20
7	5,11	3,50	2,45	1,46	
8	5,01	5,40	3,78	0,93	
9	4,72	5,80	4,06	0,81	
10	2,58	5,70	3,99	0,45	
11	5,53	3,40	2,38	1,63	
12	5,6	6,20	4,34	0,90	
13	5,18	6,80	4,76	0,76	
14	5,27	6,30	4,41	0,84	
15	5,18	6,60	4,62	0,78	0,00
16	6,03	6,90	4,83	0,87	
17	5,97	7,80	5,46	0,77	
18	3,95	7,20	5,04	0,55	
19	3,95	5,40	3,78	0,73	
20	4,19	5,60	3,92	0,75	
21	4,33	5,50	3,85	0,79	
22	4,49	6,10	4,27	0,74	0,81
23	4,92	6,00	4,20	0,82	
24	4,99	6,60	4,62	0,76	
25	5,36	6,50	4,55	0,82	
26	5,32	7,00	4,90	0,76	
27	5,86	7,20	5,04	0,81	
28	5,43	6,40	4,48	0,85	0,54
29	5,88	7,60	5,32	0,77	
30	5,56	6,90	4,83	0,81	
X	4,76	5,89	4,13	0,83	
Desvst	0,94	1,16	0,81	0,24	

EToPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ETb: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,7



Coefficiente r de Pearson= 0,45
Coefficiente R²= 0,20

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

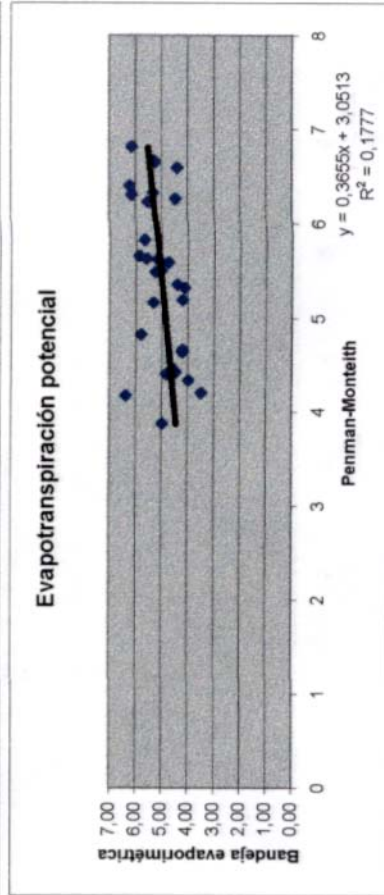
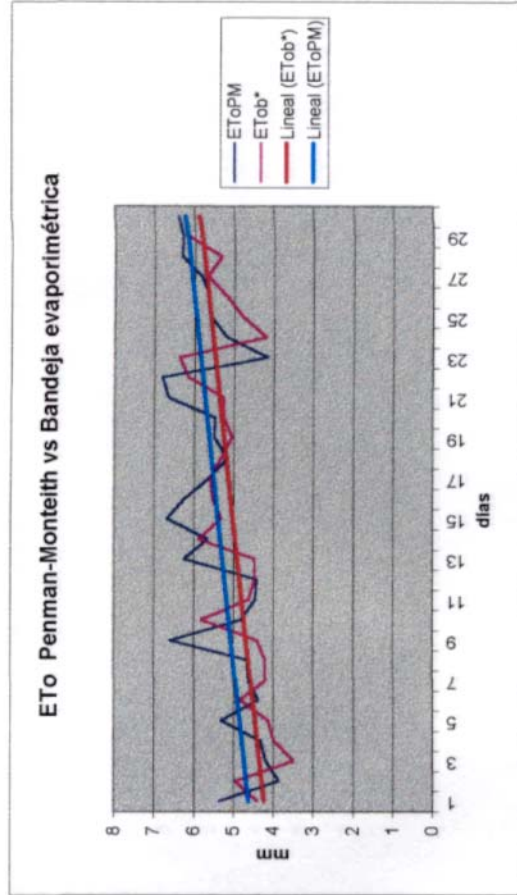
Día	EToPM	ETb	ETob*	Kbr	R ²
1	5,35	6,30	4,41	0,85	0,02
2	3,87	7,10	4,97	0,55	
3	4,2	5,00	3,50	0,84	
4	4,33	5,70	3,99	0,76	
5	5,32	5,90	4,13	0,90	
6	4,4	6,90	4,83	0,64	
7	4,63	6,00	4,20	0,77	0,01
8	4,66	6,00	4,20	0,78	
9	6,59	6,30	4,41	1,05	
10	4,82	8,30	5,81	0,58	
11	4,46	6,60	4,62	0,68	
12	4,42	6,40	4,48	0,69	
13	6,26	6,40	4,48	0,98	
14	5,66	8,40	5,88	0,67	
15	6,67	7,60	5,32	0,88	
16	6,23	7,90	5,53	0,79	
17	5,63	8,00	5,60	0,70	
18	5,16	7,60	5,32	0,68	
19	5,50	7,20	5,04	0,76	
20	5,49	7,50	5,25	0,73	
21	6,65	7,50	5,25	0,89	0,00
22	6,81	8,80	6,16	0,77	
23	4,17	9,10	6,37	0,46	
24	5,19	6,00	4,20	0,87	
25	5,59	6,80	4,76	0,82	
26	5,62	7,40	5,18	0,76	
27	5,83	8,10	5,67	0,72	
28	6,32	7,60	5,32	0,83	
29	6,3	8,80	6,16	0,72	
30	6,4	8,90	6,23	0,72	
31	5,59	6,80	4,76	0,82	
X	5,42	7,20	5,04	0,76	
Desvst	0,87	1,08	0,75	0,12	

EToPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ETb: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,7



Coeficiente r de Pearson= 0,43

Coeficiente R²= 0,18

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

Comparación entre ETo entregado por la bandeja evaporimétrica y la estación meteorológica (Penman-Monteith)

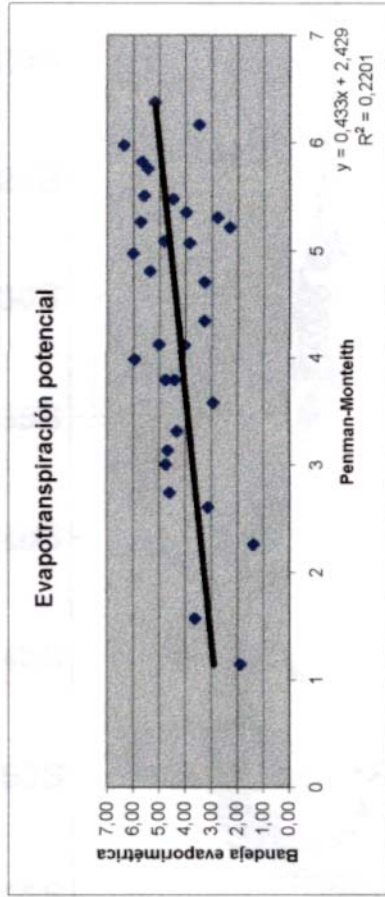
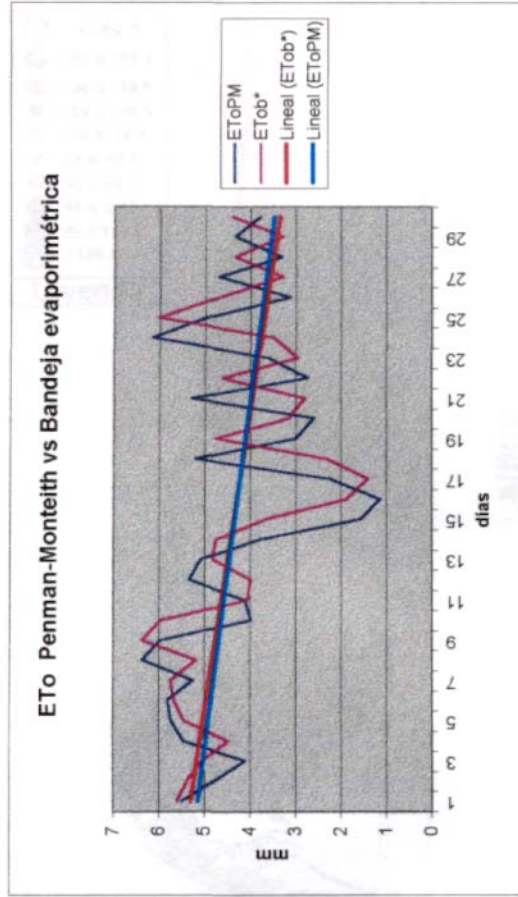
Día	EToPM	ETb	ETob*	Kbr	R ²
1	5,5	8,00	5,60	0,69	0,09
2	4,8	7,70	5,39	0,62	
3	4,12	7,20	5,04	0,57	
4	5,47	6,40	4,48	0,85	
5	5,75	7,80	5,46	0,74	
6	5,82	8,10	5,67	0,72	
7	5,26	8,20	5,74	0,64	0,05
8	6,37	7,40	5,18	0,86	
9	5,97	9,10	6,37	0,66	
10	3,98	8,50	5,95	0,47	
11	4,11	5,80	4,06	0,71	
12	5,35	5,70	3,99	0,94	
13	5,08	6,90	4,83	0,74	0,04
14	3,79	6,80	4,76	0,56	
15	1,57	5,20	3,64	0,30	
16	1,14	2,70	1,89	0,42	
17	2,26	2,00	1,40	1,13	
18	5,21	3,30	2,31	1,58	
19	3,00	6,80	4,76	0,44	0,06
20	2,60	4,50	3,15	0,58	
21	5,30	4,00	2,80	1,33	
22	2,74	6,60	4,62	0,42	
23	3,58	4,20	2,94	0,85	
24	6,16	5,00	3,50	1,23	
25	4,97	8,60	6,02	0,58	0,37
26	3,13	6,70	4,69	0,47	
27	4,70	4,70	3,29	1,00	
28	3,31	6,20	4,34	0,53	
29	4,34	4,70	3,29	0,92	
30	3,79	6,30	4,41	0,60	
31	5,06	5,50	3,85	0,92	
X	4,31	6,17	4,32	0,74	
Devst	1,38	1,82	1,28	0,29	

EToPM: Evapotranspiración potencial según método de Penman-Monteith

ETb: Evaporación de bandeja

Kbr: Coeficiente de bandeja real

*Coeficiente de bandeja teórico= 0,7



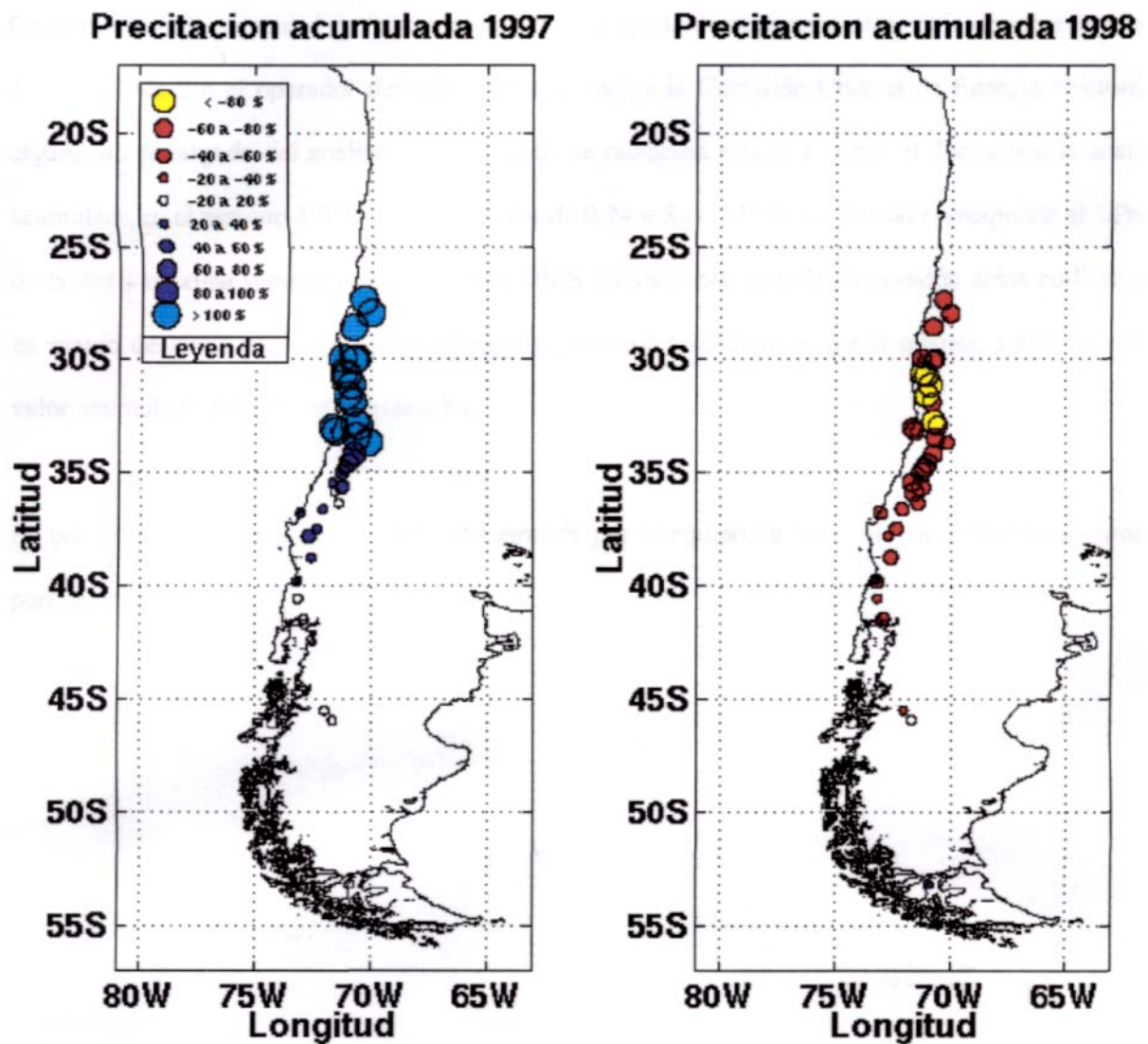
Coeficiente r de Pearson= 0,48

Coeficiente R²= 0,22

El modelo de regresión lineal es representativo al 95% de confianza.

Existe regresión. La pendiente es significativa con un 95% de confianza.

ANEXO 26. Comparación entre la condición pluviométrica del año 1997 y 1998.



Leyenda: El índice está expresado en forma porcentual, con respecto al valor medio anual.

Fuente: Departamento de Geofísica, Universidad de Chile (1999).

ANEXO 27. Seguridad en el uso de la sonda de neutrones.

Con respecto a la seguridad de la manipulación de la sonda de neutrones, es posible destacar la baja dosis recibida por el operador durante el ensayo. Según la Comisión Chilena de Energía Nuclear, organismo encargado del análisis del contenido de radiación acumulado por el dosímetro; la dosis acumulada en el período 3.8.98 al 18.11.98 fue de 0,24 mSv o 24 mrem, lo cual corresponde al 24% de la dosis máxima semanal sugerida por la OMS. El siguiente período de revisión debía realizarse en marzo de 1999, pero el nivel de operación posterior a noviembre fue el mismo, por lo que el valor acumulado debiera ser muy similar.

Es por lo tanto evidente que la radiación emitida por el equipo se mantiene en márgenes seguros para la operación.