

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALFWRSSISO'**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**AREA DE FRUTICULTURA**

**TALLER DE LICENCIATURA**

**RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN PALTO (cv. HASS)  
PARA LA ZONA DE QUILLOTA.**

**JUAN PABLO MONTEDONICO RIMASSA**

**QUILLOTA CHILE**

**2001**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.
  - 1.1. Objetivo general.
  - 1.2. Objetivos específicos.
  
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.
  - 2.1. Antecedentes generales del Palto.
    - 2.1.1. Mercado de la Palta.
  - 2.2. Introducción al cultivo del Palto.
    - 2.2.1. Botánica y Morfología del Palto.
      - 2.2.1.1. Sistema radicular.
      - 2.2.1.2. Vástago.
    - 2.2.2. Aspectos Climáticos Relevantes para el Cultivo del Palto.
    - 2.2.3. Requerimiento de suelo.
  - 2.3. Fenología del Palto.
    - 2.3.1. Desarrollo Radicular.
    - 2.3.2. Floración.
    - 2.3.3. Cuaja y Caída de Frutos.
    - 2.3.4. Desarrollo del Fruto.
  - 2.4. Antecedentes de Riego.
    - 2.4.1. Requerimientos Hídricos de las Plantas.
    - 2.4.2. Antecedentes de Riego en Palto.
      - 2.4.2.1. Procedimiento para Determinar la Evapotranspiración.
  - 2.5. Requerimiento de Agua para el Palto.
    - 2.5.1. Antecedentes de Riego Deficitario y Estrés en Palto.
      - 2.5.1.1. Definición de Conceptos.
    - 2.5.2. Estrés en Árboles Frutales.
  - 2.6. Riego Dcllcilario Controlado.
    - 2.6.1. Introducción al RDC.
    - 2.6.2. Factores Limitantes del RDC.
      - 2.6.2.1. Características del Suelo y Sistemas de Riego.
      - 2.6.2.2. Clima Apto para RDC.
      - 2.6.2.3. Períodos Críticos.
      - 2.6.2.4. Crecimiento Vegetativo v/s Crecimiento Reproductivo.
      - 2.6.2.5. Resistencia a la Sequía.
      - 2.6.2.6. Resistencia del Palto a la Sequía.
      - 2.6.2.7. RDC en otras Especies Frutales.
  
3. MATERIALES Y MÉTODOS.
  - 3.1. . Localización del ensayo.
  - 3.2. . Descripción del ensayo.

- 3.3. Descripción de las variables.
    - 3.3.1. Contenido de Humedad.
    - 3.3.2. Crecimiento de Brote.
    - 3.3.3. Peso de la Palta.
  - 3.4. Mediciones.
  - 3.5. Diseño Experimental.
  - 3.6. Programación del Riego.
  - 3.7. Características Comparativas del Suelo.
  - 3.8. Clima de Quillota.
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.
- 4.1. Variable Contenido de Humedad del Suelo.
    - 4.1.1. Huerto Goteo.
    - 4.1.2. Huerto Microaspersión.
  - 4.2. Variable Largo de Brote.
  - 4.3. Variable Peso de las Paltas.
  - 4.4. Relación entre Variables.
5. CONCLUSIONES.
6. RESUMEN.
7. LITERATURA CITADA.

## I. INTRODUCCIÓN.

La distancia de plantación es hoy en día un factor decisivo para asegurar el éxito económico de un huerto de paltos (*Persea americana* Mill) (KÖHNE, 1998). La distancia de plantación depende de variados factores, entre los cuales se encuentra el hábito de crecimiento natural de la variedad (GAILLARD, 1987).

De densidades cercanas a 156 árboles por hectárea, hoy se ha llegado a densidades de más de 400 árboles por hectáreas (KÖHNE, 1998). Por otro lado, el palto tiene un vigor natural muy alto (CALABRESE, 1992), lo que relacionado con los nuevos marcos de plantación produce un crecimiento rápido que reduce la producción.

Al enfrentarse con una reducción de la producción, el productor se ve obligado a podar el huerto, lo cual encarece el costo de producción.

El presente estudio plantea la posibilidad de controlar el excesivo vigor del palto a través del riego, sin producir efectos negativos sobre la producción en cuanto a producto total y calibre.

Esta hipótesis se basa en el concepto de riego deficitario controlado (RDC). El RDC es una forma de riego que consiste en aplicar un ligero estrés hídrico al árbol en un período determinado a un nivel de restricción establecido para que no cause perjuicios a la producción total y calibre, pero que a su vez controle el desarrollo vegetativo. Antes de establecer un programa RDC deben evaluarse diferentes factores, entre ellos están: especie vegetal, períodos sensibles al estrés hídrico, clima, etc. factores que serán analizados más adelante (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Para el caso del palto específicamente, un programa RDC es más complejo de establecer debido a lo desuniforme de su ciclo fenológico, existiendo traslape entre el crecimiento vegetativo y el crecimiento reproductivo (TAPIA, 1993).

#### 1.1 Objetivo general.

- Evaluar el impacto de un programa RDC sobre el cultivo del palto.

#### 1.2 Objetivos específicos.

- Determinar la época en que el RDC produzca la mayor reducción sobre el crecimiento vegetativo.
- Determinar la época de menor perjuicio del RDC sobre el calibre del fruto.
- Determinar el nivel restrictivo para cada período, determinado anteriormente, que produzca el menor perjuicio sobre el calibre.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Antecedentes generales del palto.

El palto (*Persea americana* Mill) es un frutal subtropical de la familia de las Laureaceas, que ha tenido un importante desarrollo en nuestro país debido a su rentabilidad.

Este frutal introducido a mediados del siglo XIX a Chile se ha expandido mayoritariamente desde la cuarta a la sexta región, concentrándose el mayor porcentaje en la quinta (58%) R.M. (22%), destacándose el desarrollo de la cuarta región con un 8% (ODEPA, 2001).

El mayor crecimiento de palto corresponde a la variedad Hass, variedad que destaca por sobre las demás por sus buenas características organolépticas, buenas condiciones de productividad y buen comportamiento de post cosecha (ODEPA, 2001).

En cuanto a la superficie notamos que en 1990 habían 7.665 ha, en tanto en el 2000 ya bordeaban las 20.000 ha, lo que da un crecimiento del 245% (ODEPA, 2001). La superficie de Hass representa un 75%, el 25% restante lo comparten Fuerte, Edranol, Bacon, Negra de la Cruz (ODEPA, 2001).

La producción ha crecido de 37.580 toneladas en la temporada 1989-90 a 86.100 en la temporada 1999-00, lo que implica un aumento del 229% (ODEPA, 2000).

Las cifras anteriormente mencionadas convierten a Chile, en un importante productor de paltas a nivel mundial, situándonos terceros en superficie cultivada después de México y EE.UU (MAGDAHL, 1998).

Observando la situación mundial de la palta, podemos notar un aumento en la superficie plantada, que según la FAO en el año 2000 superó las 325 mil hectáreas, lo que representa una tasa de crecimiento anual de 2% en la década de los 90. Entre los países con mayor crecimiento en superficie encontramos a República Dominicana, con un 40% de la cifra anterior; México con un 26%, EE.UU con un 7.5%; Chile con un 5.5%.

El aumento de la superficie plantada también va acompañada con el aumento del consumo de paltas; los principales países importadores de palta chilena son EE.UU, casi la totalidad de la U.E. (destacándose Francia y R.U.). Un país de creciente importancia para Chile, es Japón que empieza a destacarse en la importación de paltas (ODEPA,2001).

EE.UU, a pesar de ser uno de los principales productores de paltas a escala mundial, debe importar paltas para abastecer su mercado interno; éstas paltas son importadas de Chile, República Dominicana, y México (este último, sólo hacia la zona noreste). La situación anterior es de mucha importancia para nuestro país, ya que la gran mayoría de la exportación nacional es recibida por EE.UU (98.5% temporada 2000), entre los meses de agosto y diciembre (MAGDAHL, 1998).

La situación de la palta chilena en EE.UU puede verse complicada con la importación de paltas desde México a partir del año 98; por esto se buscan alternativas de mercado, ya sea aumentando la oferta hacia argentina o concretando el mercado japonés (ODEPA, 2001).

En cuanto a las empresas exportadoras, éstas se encuentran agrupadas en el Comité de la Palta que pertenece a Fedefrufa.

### 2.1.1 Mercado de la palta.

Una consecuencia lógica del aumento de la superficie plantada con paltos, es el aumento de la cosecha; es así que en 1998 se superaron las 100 mil toneladas y la exportación del segundo semestre de ese año alcanzó las 44 mil 500 toneladas, lo que significó un aumento del 188% con respecto a 1997 (ODEPA, 2001).

Producto de las heladas del invierno del año 1999, la cosecha de paltas fue seriamente perjudicada, así como la cosecha del 2000, ya que las heladas del año 1999 afectan dos temporadas, por lo que la exportación del año 2000 fue igualmente baja, aunque se incrementaron en el segundo semestre (ODEPA, 2001).

La cosecha de la temporada 2000/01 se estima en 73 mil toneladas de Hass; a su vez, la exportación a EE.UU. aumentó en un 45% lo que produjo una tendencia decreciente en el precio (Cuadro 1).

**Cuadro 1** Exportación mensual de paltas en toneladas (1999-2000)

| Año  | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | TOTAL  |
|------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
| 1999 | 1.945  | 8.036      | 7.191   | 7.656     | 4.074     | 34.788 |
| 2000 | 6.185  | 11.447     | 12.783  | 12.746    | 8.518     | 52.049 |

Fuente: ODEPA, con antecedentes del Banco Central

En cuanto a los precios FOB, se aprecian grandes fluctuaciones, desde U\$ 1.10/Kg hasta U\$ 3.00/Kg. Para la temporada 2000, se estima que los precios fluctuarán por debajo de los precios alcanzados en 1999; cerca de U\$ 1.50/Kg. (ODEPA, 2001).

Para el presente año, si no ocurren factores climáticos adversos, se espera superar las 100 mil toneladas. Hay que considerar que desde 1998, México tiene la aprobación de exportar hacia 19 estados del noreste, situación que de mantenerse puede significar un problema para las exportaciones nacionales, ya que la distancia de flete y el volumen exportado son aspectos a favor de México (ODEPA, 2001).

Noticias recientes indican que el USDA planea una reunión con personeros mexicanos para tratar la ampliación de la ventana de exportación de México a EE.UU. Se piensa que serán 31 estados y será una exportación año completo, al contrario de la actual ventana noviembre-febrero, México ha amenazado con quejarse ante la "World Trade Organization" si no se le concede una ventana más amplia. Las perspectivas son que México exportará paltas a toda Norteamérica durante todo el año (CALIFORNIA GROWER, 2001).

Otro aspecto influyente en la exportación a EE.UU., son los remanentes de la cosecha de California, disponibles entre agosto y diciembre. Es por esto que el Comité de la Palta ha llamado a los productores a parcializar la oferta y a no cosechar paltas con menos de 9% de aceite (ODEPA, 2001).

La amenaza que significa México, junto con las crecientes cosechas esperadas y una posible restricción de calibres demanda buscar nuevos mercados, ya sea expandiendo la oferta a Argentina, incursionar en otros países latinoamericanos o europeos. Japón es un interesante mercado, ya que desde 1998 autorizó el ingreso de la palta chilena, (ODEPA, 2001).

Lo anteriormente expuesto hace prever que los precios en el futuro pueden fluctuar entre U\$ 0.8/Kg a U\$ 1,3/Kg, lo cual sería todavía una rentabilidad adecuada (ODEPA, 2001).

Un aspecto de real importancia para la exportación de la palta chilena a EE.UU., es la Ley de "Check Off" para las paltas extranjeras (Ley aprobada en octubre del 2000 y que se encuentran en consulta pública), ésta ley obliga a pagar 5.5 centavos de dólar por kilo, lo que para Chile se debe sumar a los 11.2 centavos de arancel por el hecho de ingresar a EE.UU; por su parte México no está afecto a éste arancel, lo cual es una desventaja contra Chile. Lo anterior ha llevado tanto al sector privado como público chileno a presentar reclamos formales. La eventual modificación de éstas medidas todavía esta en discusión (ODEPA, 2001). Al contrario, Chile levantó la restricción de plagas que restringía la entrada de palta procedente de California a nuestro país; esto permite la importación de palta fuera de temporada. USDA estima que los productores californianos, pueden alcanzar retornos aproximados de 2 millones de dólares (CALIFORNIA GROWER, 2001).

## 2.2 Introducción al cultivo del palto.

### 2.2.1 Botánica y morfología del palto.

El palto (*remecí americana* Mill) es una especie dicotiledónea nativa de América, tiene tres principales zonas de origen: México, Guatemala, Antillas. Las razas mexicanas son las más resistentes a bajas temperaturas, al contrario de las variedades de origen antillanas, la que es más sensible al frío pero a su vez, las más resistentes a la salinidad y carbonatos. Las variedades de origen guatemaltecas son también sensibles al frío<sup>1</sup> (FERSINI, 1978)

La variedad Hass es mayormente guatemalteca. Caracterizando a ésta variedad, podemos decir que es una especie subtropical por lo que su tolerancia al frío es media, tolerando un mínimo de  $-1.1C^0$ , igual que su tolerancia a sales. Presenta una

---

Gardiazábal, F. Ing, Agr. 1999 Profesor UCV. Comentario personal.

vecería muy marcada (GARDÍAZABAL, 1998). Presenta internudos largos, ausente de lenicelas, de hojas grandes y verde oscuro. La floración es tardía; presentando un periodo de flor a fruto maduro de entre 10-18 meses. El fruto presenta piel oscura (fuera del árbol) y gruesa (GARDIAZABAL, 1998) (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1983).

#### 2.2.1.1 Sistema radicular

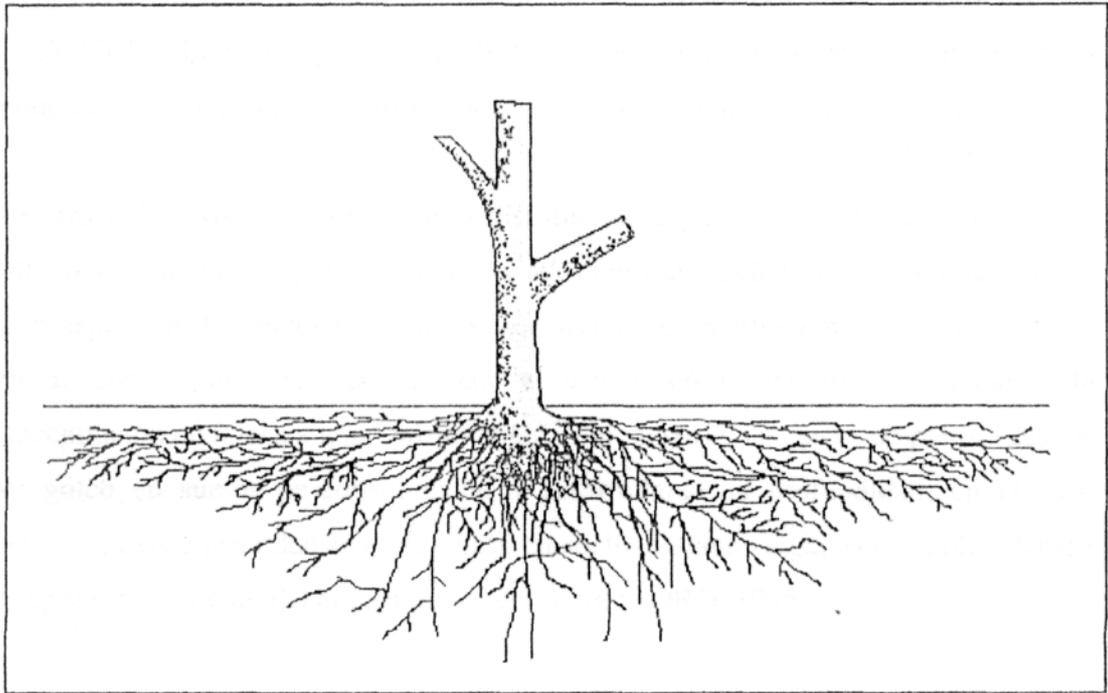
FERSINI (1978), señala que el sistema radicular tiene una raíz principal corla y débil; las raíces carecen de pelos radiculares y tienen un desarrollo superficial más bien horizontal; de hecho, aproximadamente un 50% del sistema radicular se encuentra concentrado en los primeros 30 centímetros de profundidad (GARDÍAZABAL, 1998), (Figura 1), un 30% a 40% entre los 30 a 60 cm de profundidad. Es por ello que el palto no tiene necesidad de suelos muy profundos (CALABRESE, 1992).

El desarrollo del sistema radicular, también varía según el tipo de suelo en el que se encuentre, así es que las raíces serán más abundantes, extendidas y profundas en los suelos arenosos (CALABRESE, 1992).

Relevante es comprender bien la estructura radicular del palto, ya que es un factor influyente sobre el RDC que se analizará más adelante.

VILLANUEVA (1998) señala que el sistema de riego genera diferencias significativas en el desarrollo radicular, este desarrollo está basado en el volumen de suelo humedecido, ya que las raíces se adaptan y crecen rápidamente hacia la zona húmeda (FAUST, 1989).

OLALLA *et al* (1992) señalan la variación espacial de las raíces dada por el sistema de riego, el que a su vez varía en cuanto al caudal aportado y a la frecuencia de riego.



**Figura 1.** Distribución espacial de las raíces del palto.

Para un huerto de paltos regado por microaspersión, el desarrollo radicular está determinado por el caudal aplicado y la distribución de éste, sobre el suelo (VILLABLANCA, 1994). En huertos de paltos regados por goteo MICHELAKIS, VOUGIOUCALOU y CLAPAKI (1993) señalan que las raíces se concentran en los primeros 50 cm de suelo y dentro de los 2 m a cada lado de la línea de goteo.

Por otro lado, existe diferencia en la distribución espacial del sistema radicular del palto bajo diferentes tipos de suelo, es así como en suelos arcillosos regados por microaspersión, las raíces del palto presentan baja concentración en los primeros 25 cm de suelo, por causa de la mala aireación; en suelos livianos aumenta la concentración de raíces a igual profundidad. Por su parte, las raíces de paltos regados por goteo en suelos pesados tienden a desarrollarse en profundidad; en el caso contrario, existe poca densidad de raíces en suelos livianos regados por goteo debido al rápido movimiento del agua a través del perfil (TORO, 1995).

Esta observación es muy importante, teniendo en cuenta que un huerto de paltos está regado por goteros, esto eventualmente restringe el desarrollo del sistema radicular y produce que en la zona húmeda predominen raíces viejas (FAUST, 1989).

Si a la diferencia de bulbos anterior agregamos las diferencias que existen en suelos pesados y livianos, la variación del sistema radicular será aún mayor (VILLANUEVA, 1998).

Al respecto VILLANUEVA (1998) señala la existencia de una relación directa entre densidad de raíces absorbentes y consumo hídrico bajo riego por goteo y/o microaspersión tanto en suelos livianos como en suelos pesados a diferentes profundidades.

### 2.2.1.2 Vastago del palto

Si se observa la parte aérea de un palto silvestre, éste puede llegar a medir hasta 20 metros (CALABRESE, 1992). Las ramas más vigorosas pueden llegar a alcanzar de cinco a siete centímetros de diámetro al año. Si se analiza la morfología aérea de un palto sin régimen de poda, se puede distinguir una forma globosa característica (FERSINI, 1978).

En cuanto a las inflorescencias, las flores se agrupan en racimos que se forman en la parte terminal de las ramas (CALABRESE, 1992).

### 2.2.2 Aspectos climáticos relevantes para el cultivo del palto

El clima es el factor agronómico más importante al momento, de considerar una plantación comercial de palto, ya que determina rendimiento y la calidad (GARDIAZABAL, 1998).

Como ya se mencionó, el palto tiene tres variedades botánicas dependiendo de la zona de origen. La variedad Hass se desarrolló en la zona de Guatemala, la cual presenta clima subtropical, pero se ha adaptado a zonas frías, es así que ésta variedad se considera resistente al (Vio (GARDIAZABAL, 1998).

Otra adaptación que ha debido experimentar el palto en zonas frías, es la lluvia concentrada principalmente en los meses de invierno, al contrario de lo que pasa en la zona de origen, que se concentran en verano (ALBIÑANA, 1986).

El viento es un factor que podría incidir negativamente en el cultivo del palto, ya que éste no tolera vientos demasiado fuertes, sobre todo durante la floración y estados iniciales del fruto (ALBIÑANA, 1986).

Quillota se caracteriza (al igual que otros sectores donde se cultiva el palto) por presentar vientos costeros que hacen bajar la temperatura y afectan la polinización (GARDIAZABAL, 1998), o incluso puede producir rompimientos de ramas (FERSINI, 1978).

Gran importancia tiene también la humedad relativa, la cual no debería bajar a menos de 50%; de lo contrario impide la germinación de los granos de polen (GARDIAZABAL, 1998).

### 2.2.3 Requerimientos de suelo.

El factor edáfico, junto con el clima y el agua, son los tres factores determinantes para una máxima rentabilidad (GARDIAZABAL, 1998).

El palto se desarrolla bien en suelos de textura mediana a suelto, profundo y bien drenado. Al ser el palto una especie muy sensible a asfixia radicular y a *Phytophthora cinamomi* no tolera estancamientos de agua, por lo que se deben evitar suelos de textura fina (FGRS1N1, 1978). En cuanto a la profundidad, como ya se expuso, el palto no es muy exigente en profundidad, siendo suficiente de 30 a 40 cm contando con un subsuelo de excelente drenaje (GARDIAZABAL, 1998).

La pedregosidad no constituye un factor negativo, es más, se ha visto que los paltos crecen más rápido al lado de grandes rocas, debido quizá a la mayor temperatura (GARDIAZABAL, 1998).

La salinidad si es un factor relevante, ya que el palto pierde un 10% de la cosecha con una salinidad de 2 [mmhos/cm], no obstante, si se cuenta con agua de buena calidad se puede aplicar una fracción de lavado (GARDIAZABAL, 1998).

En cuanto a la reacción del suelo, el palto se desarrolla en *forma* óptima en suelos neutros a ligeramente ácidos, es decir, de pH 6 a 7.5 (ALBIÑANA, 1986).

### 2.3 Fenología del palto.

La fenología es el estudio de los patrones cíclicos de crecimiento que se da en los arboles en un año (WIHLEY, 1990).

Para la zona de Quillota, HERNÁNDEZ (1991) y TAPIA (1993), registraron dos períodos de crecimiento vegetativo. El primer período se distingue entre septiembre a diciembre ("flush" de primavera); el segundo período de crecimiento se registra desde marzo a mayo ("flush" de otoño). El segundo "flush" vegetativo es más largo pero de lasa de crecimiento menor. Otro punto importante u considerar es que la floración está traslapada con el primer "flush" vegetativo, lo cual es muy característico del palto, la competencia entre crecimiento vegetativo versus reproductivo<sup>2</sup>. (Anexo I). Según PALMA (1991), la aproximación fenológica de los eventos evidencia una interacción permanente del crecimiento vegetativo, radicular y reproductivo.

La caída del "flush" de crecimiento de primavera ocurre por la competencia producida entre llores y brotes, tanto por fotoasimilados como por minerales y agua. Las altas temperaturas del verano como la competencia entre brotes y frutos, causaría el atraso del segundo período de brotación (TAPIA, 1993).

#### 2.3.1 Desarrollo radicular

Según TAPIA (1993), en Quillota, el palto Hass presenta dos períodos de crecimiento radicular, el primero comienza a fines de octubre hasta inicios de febrero; tanto que el

---

<sup>2</sup> Gardiazabal, F. Ing. Agr 1999. Profesor UCV. Comentario personal.

segundo comienza a mediados de marzo y termina a mediados de mayo. Como se ve en el anexo 1, las curvas fenológicas están traslapadas, coincidiendo el inicio del "flush" radicular con el "peak" de crecimiento vegetativo; al disminuir el crecimiento vegetativo el desarrollo radicular alcanza su máximo crecimiento. De lo anterior se concluye que cada "flush" radicular es seguido de un período de intenso crecimiento vegetativo, por lo tanto se comprueba la gran interdependencia entre el crecimiento radicular y la brotación (GIL; 1999).

### 2.3.2 Floración.

El crecimiento reproductivo del palto comienza con la floración posterior al semi-reseso invernal (HERNÁNDEZ, 1991).

Según TAPIA (1993), para la zona de Quillota, el período de floración (apertura floral) del cultivar Hass se inicia a mediados de octubre hasta la primera quincena de noviembre, compitiendo con el "flush" vegetativo de primavera. Al respecto WOLSTENHOLME y WHILEY (1989), señalan que la floración parte en forma conjunta con el crecimiento vegetativo de primavera, existiendo un período de traslape de las fenofases donde ocurre una competencia intensa por los fotoasimilados, elementos minerales y agua. Esto puede ser necesario para el control del vigor del "flush" de primavera, especialmente en los cultivares vigorosos, para mejorar la energía del sumidero (sink) de ajuste de flores y frutos que permanecen, así son retenidos en mejor forma y la abscisión es menor.

### 2.3.3 Cuaja y caída de frutos.

La cuaja corresponde a la fenofase que sigue a la floración, la cual es seguida, a su vez, por una gran caída de frutos un mes después de la floración. Esta primera caída de frutos ocurre entre el 16 de noviembre y el 22 de diciembre. Existe además una

segunda caída de frutos, la cual es más leve y se observa desde comienzos de marzo hasta mediados de abril (TAPIA, 1993).

#### 2.3.4 Desarrollo del fruto.

Según TAPIA (1993), tanto el diámetro polar del fruto como el ecuatorial, muestran un crecimiento continuo a través del tiempo; desde fines de marzo hasta mediados de abril. El diámetro ecuatorial tiende a estabilizarse, aunque mantiene su crecimiento. En tanto, el diámetro polar muestra una relativa estabilización.

CHANDLER (1962), afirma que el fruto del palto (una baya) presenta una curva de crecimiento sigmoidea simple, ya que el fruto sólo crece por división celular, la que ocurre hasta la madurez.

Según GARDIAZABAL y ROSENBERG (1991), el fruto madura desde septiembre a marzo, aunque se puede dejar en el árbol durante más tiempo sin presentar problemas.

#### 2.4 Antecedentes de riego.

La planta es un sistema, la cual es nexo entre dos entornos, como son el suelo y la atmósfera.

El palto como la mayoría de los vegetales, está obligado a extraer agua desde el suelo, tarea que se dificulta por las características del suelo, las que se analizarán más adelante. El conocimiento del gran sistema suelo-agua-planta junto a otros permitirá manejarlo adecuadamente de modo de lograr el rendimiento esperado (SALGADO, 1997).

#### 2.4.1 Requerimientos hídricos de las plantas.

El objetivo principal del riego es proveer a las plantas de agua, para prevenir el estrés. La frecuencia y cantidad de agua a aplicar depende de las condiciones edafoclimáticas, tipo de planta y estado fenológico, sistema radicular y sistema de riego (SALGADO, 1997).

Evapotranspiración, es el proceso combinado en el cual el agua es transferida desde la superficie de la tierra a la atmósfera y es la suma del agua evaporada directamente del suelo más el vapor de agua transpirado desde los estomas de las plantas. Los factores que afectan la evapotranspiración pueden dividirse en dos, factores climáticos: radiación solar, temperatura, viento factores de suelo y cultivo: humedad del suelo con o sin cobertura vegetal, área foliar del cultivo en crecimiento, transpiración al momento de la madurez del cultivo (JENSEN, BURMAN. y ALLEN, 1989) (FUENTES, 1996).

El concepto de evapotranspiración (ET) corresponde al agua transferida a través de una cubierta vegetal (biósfera), incluyendo el agua evaporada directamente del suelo; tanto que la velocidad máxima a la cual el vapor de agua es removida de la litosfera cuando no hay limitante a nivel de suelo se conoce como evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ) (SALGADO, 1997).

Conociendo las necesidades hídricas de la planta y sabiendo la cantidad de agua aportada por el suelo, sabremos la cantidad precisa de agua a aportar a la planta (FUENTES, 1996).

## 2.4.2 Antecedentes de riego en palto.

### 2.4.2.1 Procedimientos para determinar la evapotranspiración.

El conocimiento del ETo es fundamental para la estimación de las necesidades de agua del cultivo y la consiguiente programación de los riegos.

Existen diferentes métodos para calcular el ETo, algunos se basan en las mediciones de evapotranspirómetros y lisímetros, otros se basan en mediciones indirectas a través de principios físicos, y por último existen métodos que estiman el ETo utilizando la medida de evaporación de una superficie libre de agua (DE JUAN VALERO y DE SANTA OLALLA, 1993).

SALGADO (1990), señala que el método más usado para programar el riego para paltos, es a través de la bandeja evaporimétrica clase A USWB.

Al estimar la evapotranspiración potencial (ETo) por medio de la bandeja clase A, se consideran los efectos ponderados de la humedad relativa, viento, radiación y temperatura (DOOREMBOS y PRUITT, 1986).

La formula para determinar la ETo se aplicará la siguiente formula:

$$ET'o = K_b * K_b \text{ [mm/día]}$$

Donde el  $K_b$  es el coeficiente de bandeja, que representa los efectos de las condiciones de instalación sobre el ETo, tiene variación dentro del año y es determinado empíricamente (SALGADO, 1990).

Según la FAO, es recomendable corregir el  $K_b$  en función del viento y la humedad relativa; es así que el  $K_b$  será mayor en áreas húmedas y menor en zonas más secas. Por otra parte, el valor del  $K_b$  disminuye a medida que el viento aumenta (JENSEN, BURMAN y ALLEN, 1989), Anexo 2.

$E_b$  es la evaporación medida desde la bandeja clase A, sistema que se detallará adelante.

Para relacionar la  $E_{T_0}$  con la evapotranspiración del cultivo ( $E_{T_c}$ ), se necesita de un coeficiente único para cada especie, el cual recibe el nombre de *coeficiente de cultivo* ( $K_c$ ) (FUENTES, 1996).

El  $K_c$  varía a través de la temporada y está basado en la fenología de la planta, condiciones micrometeorológicas y disponibilidad de agua en el suelo (DOOREMBOS y PRUITT, 1977).

Para la zona de Quillota, SALGADO y BOZZOLO (1997) determinaron empíricamente valores de  $K_c$  aplicables, los que se presentan en el Anexo 2.

Una vez determinado el  $E_{T_0}$ , se calcula el  $E_{T_c}$  por medio de la siguiente fórmula:

$$E_{T_c} = E_{T_0} * K_c \text{ [mm/día]}$$

En el anexo 3 se presentan los datos extraídos de la bandeja clase A para la zona de La Palma, Quillota para la temporada 2000/2001.

## 2.5 Requerimiento de agua para el palto.

El suministro de agua es muy importante en un huerto frutal, ya que el palto es muy sensible al exceso de agua, como a la falta de ésta, (GARDIAZABAL, 1998).

GARDIAZABAL (1998), tomando como referencia un huerto en Quillota regado por microaspersión, con una precipitación anual de 430 mm/año y con una evaporación de 7 mm/día en el mes más cálido, propone un gasto anual de 6000 m<sup>3</sup>/ha; con una necesidad máxima diaria en el mes de máxima evaporación de 0.55 litros/seg/ha/día.

Por su parte, CARDEMIL (1999) indica que para la zona de Quillota el gasto de agua fluctúa entre 7000 a 9600 m<sup>3</sup>/ha/año, dependiendo de las características microclimáticas del huerto.

Con respecto al consumo de agua, MARROCCO (1990) recomienda para un árbol adulto (10 años), y 6,6 metros de diámetro el siguiente gasto para la zona de California (adaptado para el hemisferio sur):

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| - junio a agosto:         | 45,48 [litros/día/árbol],  |
| - septiembre a noviembre: | 68,22 [litros/día/árbol],  |
| - diciembre a febrero:    | 136,44 [litros/día/árbol]. |
| - marzo a mayo:           | 121.28 [litros/día/árbol]. |

## 2..51.Antecedentes de riego deficitario y stress en paltos.

### 2.5.1.1 Definición de conceptos.

El agua cumple diferentes funciones en la planta y en el suelo, ellas son: es el agente hidráulico que mantienen el turgor en la planta, actúa como agente de crecimiento y expansión; es un reactante bioquímico en la fotosíntesis; solvente y transportador de solutos; es un regulador termal, entre otros (SPOMER, 1985).

El potencial hídrico dice relación con la habilidad fisicoquímica del agua de participar en funciones de la planta y marcar la tendencia del movimiento del agua en el sistema (SPOMER, 1985).

### 2.5.2 Estrés en árboles frutales.

La respuesta de la planta al estrés hídrico ha sido difícil de medir debido a la variación en términos de severidad y duración del estrés; por otro lado la respuesta de ciertos órganos vegetales al estrés también varía, lo que significa que un estrés hídrico afectará primero a ciertas partes o procesos del vegetal. Por ejemplo, la división celular es el proceso más sensible a la carencia de agua, al contrario, la caída de hojas se produce con niveles extremos de estrés hídrico (KANEMASU, ASAR y YOSHIDA, 1985).

El déficit hídrico es uno de los factores limitantes en muchas zonas de cultivos a través del mundo; éste estrés primariamente se traduce en cierre estomático, lo que implica una merma en la transpiración y fotosíntesis. Al bajar la tasa transpiratoria, la temperatura del árbol se incrementa (KANEMASU, ASAR y YOSHIDA, 1985). No obstante lo anterior, existen técnicas para inducir un estrés a la planta en forma experimental, aunque es una variable muy difícil de controlar debido a la gran

dinámica natural del agua en el suelo, (KRIZEK, 1985). Existen distintas técnicas para inducir un estrés al árbol, el riego deficitario controlado plantea la reducción de la lámina neta de riego.

SYVERTSEN (1985), indica que la diferenciación de los tejidos vegetativos como reproductivos son afectados directamente por el déficit de agua. Así como las hojas y los frutos compiten por el agua.

Por otro lado, en cítricos existe un punto en el cual se reduce la lámina de riego sin afectar la producción y se incrementa la eficiencia del uso del agua (SYVERTSEN, 1985).

No obstante, un estrés hídrico acompañado de altas temperaturas durante la floración y cuaja puede resultar desastroso. El crecimiento de la planta está directamente relacionado con la transpiración. Por lo tanto, buenas producciones, implican aumentar el consumo de agua (SYVERTSEN, 1985).

Si analizamos los efectos que tiene el estrés hídrico en pie cosecha, BOWER, CUTTING, Y WOLSTENHOLME (1989), señalan que éste estrés juega un rol en el pardeamiento ("browning") de la fruta en la post cosecha; por otro lado, la concentración de calcio también se afectó por el estrés.

En un ensayo realizado en California, se probaron diferentes porcentajes de riego respecto del  $ET_0$  durante cuatro años; los porcentajes aplicados fueron de: 37, 46, 63, 70, 75, 100, 111%. La producción anual y acumulada no fue afectada tan severamente; lo que si mostró una diferencia significativa fue el volumen de la canopia; por su parte, la producción por volumen de canopia mostró una correlación negativa. Por otro lado hubo una pequeña correlación entre producción y calibre. También se vio que los árboles bajo 37 y 46% del  $ET_0$  presentaron una canopia

menos abundante y considerablemente más "tip burn" en todos los años del ensayo, así como menor conductancia estomática. Por su parte, el tratamiento 111% mostró árboles más grandes, o sea que en estos árboles se sacrificó la producción a favor del crecimiento del brote. Si bien árboles con mayor régimen hídrico se ven mejor estéticamente; también necesitaron un programa de poda, por lo que si el sistema de estrés hídrico significa un mayor retorno a productor, éste sería el procedimiento a implementar, (Anexo 4) (FABER, ARPAIA, YATES, 1995).

## 2.6 Riego deficitario controlado (RDC).

### 2.6.1 introducción al RDC.

El RDC conceptualmente es desarrollado con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico; bajo esta premisa, el RDC plantea reducir el consumo de, agua total aplicada a determinado cultivo (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995). El RDC difiere de un estrés hídrico natural, ya que una estrategia de RDC busca llevar al árbol a un ligero estrés en un estado fenológico en el cual la producción no sea afectada (MITCHELL *et al.*, 1984).

Un programa de RDC tiene ciertos riesgos asociados, los que ENGLISH y NAVAID (1996) identifican como: incertidumbre del clima, fallas del sistema de riego y enfermedades; factores que afectan el óptimo uso del agua.

Para implementar un sistema de RDC, se debe prestar atención a una serie de factores que limitan o regulan este tipo de riego; éstos son: períodos críticos, características de suelo, clima de la zona del cultivo, sistema de riego, fenofases, resistencia a la sequía; factores que se desarrollarán a continuación (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

## 2.6.2 Factores limitantes del RDC.

### 2.6.2.1 Características del suelo y sistema de riego.

La posible respuesta positiva que resulta de la aplicación de un RDC conlleva la necesidad de tener un fácil manejo de la humedad del suelo, esto es, llevar al grupo de árboles a un ligero estrés rápidamente, como también sacarlos de ése estrés a igual rapidez (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Es por esto que CHALMERS (1990), recomienda suelos poco profundos, con baja capacidad de retención de agua.

Por lo mismo, pequeños volúmenes húmedos de suelo, dan como restituido sistemas radicales más concentrados, lo que facilita el agotamiento del agua como la recarga. Se deduce de lo anterior la necesidad de usar sistemas de riego localizado (LAMPINEL, et al., 1995).

### 2.6.2.2 Clima apto para RDC.

Al buscar una situación de estrés en el árbol, es indispensable que la pluviometría de la zona sea ad-hoc con el RDC, o sea, una zona de escasa pluviometría (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

### 2.6.2.3 Períodos críticos.

Los períodos críticos son aquellas fenofases en que un estrés hídrico podría reducir considerablemente la producción y la calidad de la fruta (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

En términos generales, es difícil determinar los períodos críticos de cada cultivo, pero algunos autores señalan como períodos críticos a aquellos asociados al crecimiento del fruto (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Para el caso concreto del palto, LOVATT (1990) establece que la floración y la fertilización son los períodos críticos del palto, por lo tanto cualquier factor detrimental en éstas fenofases provocará una cuaja inadecuada y una producción deficiente.

Un aspecto importante a considerar, es la cubierta epidemial de las panículas, la que es más propensa a sufrir deshidrataciones que las hojas durante un mismo período. Por lo tanto, un estrés severo en esta época puede producir daños irreversibles a los órganos florales (WIHLLEY, CHAMPMAN y SARANAH, 1988).

Por otro lado, WOLSTENHOLME, WHILEY y SARANAH (1990), indican que el fruto sería favorecido, en cuanto a materia seca, cuando el vigor de los brotes indeterminados de primavera es controlado. Este control de vigor se puede realizar por medio del riego, o con aplicaciones de inhibidores del crecimiento.

#### 2.6.2.4 Crecimiento vegetativo v/s crecimiento reproductivo.

El fin último del sistema RDC es desacelerar el crecimiento vegetativo sin afectar el crecimiento de los frutos; por lo que una clara separación entre los crecimientos puede definir la aptitud para la aplicación de un plan RDC (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

A manera de ejemplo, TORRECILLAS et al, (1993) señalan que el crecimiento rápido del fruto en el limonero se inicia cuando ya el 90% del crecimiento de los brotes ha ocurrido.

#### 2.6.2.5 Resistencia a la sequía.

Otro aspecto muy importante para la aplicación de un sistema RDC es la capacidad de los árboles para adaptarse a situaciones de estrés hídrico (SYVERSTSEN, 1985).

La exploración de estratas en profundidad en busca de agua podría ser uno de los primeros mecanismos de adaptación a condiciones de estrés hídrico. Por otro lado, el ajuste osmótico es un mecanismo adaptativo que ocurre en manzanos, almendro, pistacho, duraznero y peral; lo cual permite mantener el turgor de la célula a bajos potenciales hídricos (GOODE y HIGGS, 1973; CASTEL y FERERES, 1982; BEHBOUDIAN et al, 1986).

SCHULZE (1986), señala que el déficit hídrico del suelo puede provocar la emisión por parte de las raíces de sustancias químicas que inducen a su vez en las hojas un efecto de mayor duración del cierre estomático para evitar la deshidratación foliar. Cuando este cierre es insuficiente, se inducen procesos de defoliación para disminuir las pérdidas de agua por transpiración.

Cuando ocurre un estrés natural en el suelo, TAIZ y ZEIGER (1998) señalan que se produce un crecimiento de las raíces a zonas de suelo húmedo.

##### 2.6.2.5.1 Resistencia del palto a la sequía.

LAHAV y KALMAR (1977) coinciden con lo dicho por ADATO y LEVISON (1991) en que el palto aumenta su eficiencia productiva al disminuir el aporte hídrico.

Esta restricción hídrica debe ser moderada, ya que según SCHOLEFIELD et al (1980) en condiciones extremas, la baja conductancia de vapor de agua y por lo tanto el menor ingreso de CO<sub>2</sub> producen serios efectos adversos en la fotosíntesis.

En un ensayo efectuado con paltos cv. Hass de vivero, BARRIENTOS, RODRÍGUEZ y ESPINOZA (1993) determinaron que no existía diferencia entre los potenciales hídrico, osmótico y de turgencia entre plantas con régimen hídrico normal y bajo estrés. Lo anterior fue atribuido al efecto de la prolina, aminoácido que participa como soluto en el proceso de ajuste osmótico. Luego, se concluyó que el palto reali/a éste electo osmótico para mantener el balance hídrico.

Según LOVATT (1987), bajo condiciones de estrés, el crecimiento vegetativo disminuye, por lo tanto la síntesis de proteínas también disminuye y los aminoácidos no utilizados son catabolizados, lo cual hace que se acumule amonio. Por otro lado, la absorción de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y su posterior reducción a amonio continúa; el mecanismo para eliminar los excesos de amonio es a través de la biosíntesis de arginina, sin embargo, si ésta ruta metabólica falla, los altos niveles de amonio producirán quemaduras apicales, necrosis de los márgenes de las hojas, abscisión foliar y muerte de brotes. Con respecto a lo anterior, la biosíntesis de arginina sólo se produciría cuando hay una disminución del crecimiento a causa de la temperatura y no por factores hídricos. El daño producido por la acumulación de amonio en los brotes es un factor a considerar al momento de diseñar una estrategia de estrés en paltos.

LOVATT, 1987; CHAIKIATHYOS, MENDEL y RASMUNSEN, 1994) observaron que bajas temperaturas inducen floración en paltos; al contrario, CHAIKIATHYOS, MENDEL y RASMUNSEN, (1994); LAHAV y KALMAR (1983) no observan una intensificación en la floración debido a un estrés hídrico en otoño (período inductivo). Luego un estrés hídrico por sí solo, no tendría efecto sobre la intensidad de la floración (LOVATT, 1987).

#### 2.6.2.6 RDC en otras especies frutales.

Ensayos efectuados por HUGUET et al (1990) y LI et al (1989), señalan que para el caso del duraznero, existe un período de alta sensibilidad, el cual corresponde a la última fase de desarrollo del fruto. Un estrés en éste período, produjo una reducción en la producción y en el calibre, aunque estos frutos presentaron mayores niveles de sólidos solubles, acidez y mayor duración en post cosecha.

En ensayos realizados en almendros en España se aplicó el 100% del requerimiento hídrico hasta finalizado el crecimiento de la semilla, posteriormente se bajó el riego a un 20% de los requerimientos hasta la cosecha; se comparó el tratamiento con un testigo regado a 100%. Se consiguió un ahorro de agua de un 62%, no afectando la producción ni la calidad de la almendra.

DOMINGO (1994), comparó un tratamiento RDC, donde bajó a 25% el riego del limonero fino durante todo el año, excepto en el período de crecimiento rápido del fruto donde se aplicó el 100% del requerimiento hídrico. Se comparó el tratamiento con un testigo de 100% del ETC y otro con el 70% del ETC durante el período de crecimiento rápido del fruto. Ninguno de los tratamientos deficitarios provocó una disminución de la producción total durante los cuatro años del ensayo; sin embargo, el déficit hídrico en el período de crecimiento rápido del fruto provocó un retraso en alcanzar el tamaño comercial del fruto.

CASTEL y BUJ (1990) evaluaron la respuesta de árboles de naranjo *Salustiana* al déficit hídrico de alta frecuencia. Los tratamientos fueron los siguientes: control (evaporación medida por bandeja clase A); 80 y 60% del control todo el año; 60% del control durante floración y cuaja; 60% del control durante la maduración del fruto. El potencial hídrico del xilema y la conductancia estomática no tuvieron una relación muy directa con los tratamientos. Las mediciones del potencial osmótico de la hoja

en primavera y en verano mostraron que no hubo ajuste osmótico, ni siquiera en los tratamientos más severos y hubo un remanente de turgor incluso en los valores más bajos de potencial hídrico del xilema. El valor del potencial hídrico en máximo y mínimo turgor que se encontraron en este ensayo estuvieron entre los reportados por FERERES *et al* (1979) y SYVERTSEN *et al* (1981) para hojas de similar edad.

La cosecha fue notablemente más baja en el tratamiento de 60% del control todo el año. El número de frutos por árbol no se redujo en ningún tratamiento, sin embargo, el peso de los frutos sí fue afectado (CASTEL y BUJ, 1990).

Por otro lado, el número de llores no fue afectado por ningún tratamiento; así como tampoco fue perjudicado el contenido de jugo de los frutos (CASTEL y BUJ, 1990).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del ensayo.

El ensayo se realizó en la Estación Experimental "La Palma" de la Facultad de Agronomía, perteneciente a la Universidad Católica de Valparaíso.

El huerto goteo se encuentra a los 32°53.558' de latitud sur y 71°12.095' de longitud este, a una altura de 142 m.s.n.m.

El huerto microaspersión, por su parte, se encuentra a los 32°53.740' de latitud sur y 71°12.120' de longitud este, a una altitud de 147 m.s.n.m.

#### 3.2 Descripción del ensayo.

El ensayo consistió en evaluar tres láminas de riego en cuatro etapas del año (Cuadro 2). El diseño del RDC se hizo en base a la evaporación de bandeja clase A. El tratamiento testigo o  $T_0$  es regado con el 100% del requerimiento hídrico. Del tratamiento  $T_0$  se establecen los siguientes tratamientos de 75% y 50% de restricción, en diferentes épocas. La distribución temporal fue pensada para que los tratamientos restrictivo y control fueran aplicados en los diferentes estados fenológicos del palto.

El ensayo se realizó en paralelo sobre dos sectores, el primer sector regado por goteros se denominó "HUERTO GOTEO"; el segundo sector, regado por microaspersores se denominó "HUERTO MICROASPERSIÓN".

El huerto microaspersión está en su sexto año de plantación, están distanciados a 5x5 metros y los árboles son regados por un microaspersor autocompensado (Dan 2001) de 36 litros por hora (100% del riego).

Los paltos del huerto goteo están en su cuarto año de plantación, están plantados a una distancia de 6x4 metros, y cada árbol está regado por cuatro goteros autocompensados de 4 o 2 litros por hora dependiendo del tratamiento. Todos los paltos del huerto goteo como los paltos del huerto microaspersión, son cultivar Hass sobre patrón mexicana.

En ambos huertos, goteo y microaspersión, se aplicaron ocho tratamientos más el testigo. Los tratamientos 1 y 2 corresponden al 75 y 50% del riego respectivamente durante todo el año; en tanto, los demás tratamientos abarcan las diferentes estaciones del año (primavera, verano y otoño; Cuadro 2), de esta forma se evalúa el efecto del déficit hídrico durante todo el año. Cabe destacar que el huerto microaspersión cuenta con dos tratamientos extras (T9 y T10) de 150 y 130%, los que serán evaluados junto con el ensayo deficitario. Para lograr el efecto de, 75 y 50% del riego, se ocuparon microaspersores de 28 y 20 litros/hora respectivamente. Para el huerto goteo se ocuparon dos goteros de 4 litros/hora y dos goteros de 2 litros/hora para llegar al 75% del requerimiento hídrico. Se ocuparon cuatro goteros de 2 litros/hora para los tratamientos de 50% del riego. El resumen de los tratamientos y épocas se aprecia en la Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Nivel restrictivo y duración de los tratamientos.

| Trat           | meses        |     |     |     |      |      |     |     |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
|                | SEP          | OCT | NOV | DIC | ENE  | FEB  | MAR | ABR |
| T <sub>0</sub> | 100% Control |     |     |     |      |      |     |     |
| T <sub>1</sub> | 75%          |     |     |     |      |      |     |     |
| T <sub>2</sub> | 50%          |     |     |     |      |      |     |     |
| T <sub>3</sub> | 75%          |     |     |     | 100% |      |     |     |
| T <sub>4</sub> | 50%          |     |     |     | 100% |      |     |     |
| T <sub>5</sub> | 100%         |     |     | 75% |      | 100% |     |     |
| T <sub>6</sub> | 100%         |     |     | 50% |      | 100% |     |     |
| T <sub>7</sub> | 100%         |     |     |     | 75%  |      |     |     |
| T <sub>8</sub> | 100%         |     |     |     | 50%  |      |     |     |

### 3.3 Descripción de las variables.

#### 3.3.1 Contenido de humedad.

Esta referido a la humedad del suelo, medido en porcentaje. Es una variable de tipo cuantitativa continua. El objetivo, es evaluar el contenido y balance de humedad edáfica por tratamiento y en cuatro estratas.

#### 3.3.2 Crecimiento de brote.

Está referido al crecimiento del brote en longitud. El objetivo es determinar el largo total del brote por tratamiento; es una variable de tipo cuantitativa continua.

#### 3.3.3 Peso de la palta.

Variable referida al peso neto de la palta al momento de la cosecha de una muestra cercana a 60 unidades, o las que hubiese. Es una variable cuantitativa continua.

### 3.4 Mediciones.

La humedad de suelo se midió a través de una sonda de capacitancia, con una frecuencia de 2 veces por semana (lunes y jueves), desde el 9 de octubre del 2000 al 14 de mayo del 2001.

Un árbol de cada tratamiento cuenta con un tubo de PVC a 40 cm del tronco por donde se introdujo la sonda de capacitancia. Las mediciones se realizaron a cuatro profundidades, 20, 40, 60, 80 cm.

El crecimiento del brote se midió desde el 13 de octubre del 2000 al 10 de mayo del 2001, para lo cual se utilizó una huincha de medir. La frecuencia de medición fue quincenal. Para el huerto goteo se midieron cuatro brotes (cada uno dispuesto hacia un punto cardinal) por árbol y un árbol medido por tratamiento con una repetición. Para el huerto microaspersión se midieron cuatro brotes por árbol y por bloque.

Se midió el peso de las paltas al momento de la cosecha (20 de diciembre 2000), se tomó una muestra de cerca de 60 paltas por tratamiento en el huerto microaspersión. El bajo número de frutos del huerto goteo obligó a realizar un análisis con una cantidad de frutos mucho menor a 60, incluso hubo tratamientos que quedaron exentos de análisis por no tener frutos.

### 3.5 Diseño experimental.

El huerto goteo se dividió en cuatro bloques, cada bloque corresponde a una hilera de paltos, donde los tratamientos fueron distribuidos completamente al azar (Anexo 5 y 6). A cada tratamiento se le asignaron tres árboles, pero sólo se midieron las variables en estudio en el árbol del centro para minimizar el efecto borde.

El huerto microaspersión fue dividido en cinco bloques, con una repetición.

### 3.6 Programación del riego.

La programación del riego se realizó a través de la bandeja evaporimétrica clase A, desde donde se obtuvieron los valores de evaporación para calcular la frecuencia y tiempo de riego (Anexo 7).

### 3.7 Características comparativas de suelo en huerto goteo y microaspersión.

En cuanto a las características de suelo, podemos decir que:

El huerto goteo presenta una textura franco-limosa continua en el perfil, con un 5,45% de materia orgánica promedio en todo el perfil, en tanto, la estrata "A" del huerto microaspersión tiene un 3,88% de materia orgánica y también es clasificada como textura franco-limosa. La estrata "B" del huerto microaspersión tiene un 0,99% de materia orgánica, con una textura franco.

Del Cuadro 3 se desprende que a una presión cercana a la presión de capacidad de campo (0,33 bar), las dos estratas del huerto microaspersión obtuvieron mayor cantidad de agua que el huerto goteo. Igual situación ocurre a una presión de 0,1 bar.

**Cuadro 3** Análisis comparativo de suelo entre suelo del huerto goteo y microaspersión.

|                   | <b>Arena %</b> | <b>Arcilla %</b> | <b>Limo %</b> |
|-------------------|----------------|------------------|---------------|
| <b>Goteo</b>      | 20,00          | 24,00            | 56,00         |
| <b>Microasp A</b> | 20,70          | 18,00            | 61,30         |
| <b>Microasp B</b> | 36,70          | 20,00            | 43,40         |

| <b>% Pp</b>           | <b>0.1 Bar</b> | <b>0.33 Bar</b> | <b>0.7 Bar</b>  | <b>0.4 Bar</b> | <b>15 Bar</b> |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| <b>Huerto goteo</b>   | 25,80          | 22,12           | 16,29           | 19,95          | 9,42          |
|                       | <b>0.1 Bar</b> | <b>0.2 Bar</b>  | <b>0.33 Bar</b> | <b>0.5 Bar</b> | <b>15 Bar</b> |
| <b>Huerto micro A</b> | 57,71          | 38,83           | 48,59           | 20,41          | 9,94          |
| <b>Huerto micro B</b> | 52,16          | 39,02           | 43,13           | 14,54          | 7,52          |

Fuente: Laboratorio de Suelo Facultad de Agronomía de la UCV. .

El Anexo 8 muestra las características de los diferentes tipos de suelo bajo el análisis de calicata.

### 3.8 Clima de Quillota.

Según NOVOA y VILLASECA (1989), Quillota está ubicada bajo condiciones de clima mediterráneo, la cual presenta lluvias concentradas en la estación Iría, un período seco durante la estación cálida y un régimen térmico marino. Dentro del clima mediterráneo, la zona del ensayo se localiza en la sub división agroclima Quillota.

El agroclima Quillota, se localiza 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 temperatura media anual es 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 es de nueve meses (septiembre a mayo). La temperatura media mensual se mantiene sobre 10°C (NOVOA y VILLASECA, 1989).

El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 473 mm, siendo junio el mes más lluvioso, con una media de 125 mm. La evaporación media llega a 1.361 mm/año, con un máximo mensual de 219,3 mm en diciembre, y un mínimo de 36,1 mm en junio. La estación seca es de ocho meses (septiembre a abril) El detalle de las condiciones climatológicas de la zona del ensayo se muestra en el Anexo 9 (NOVOA y VILLASECA, 1989).

El clima que presenta la zona del ensayo se adecua al modelo de clima necesario para aplicar un sistema RDC.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 4.1 Variable contenido de humedad del suelo.

#### 4.1.1 Muerto goteo.

A continuación se presenta la variación de la humedad del suelo a través del tiempo, la cual se utilizará en el análisis de los resultados de largo de brote y peso de fruta.

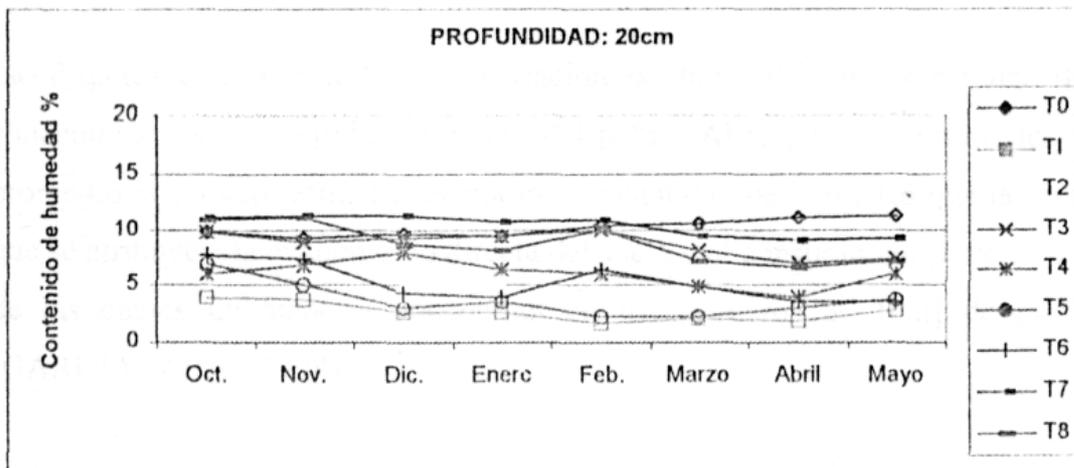
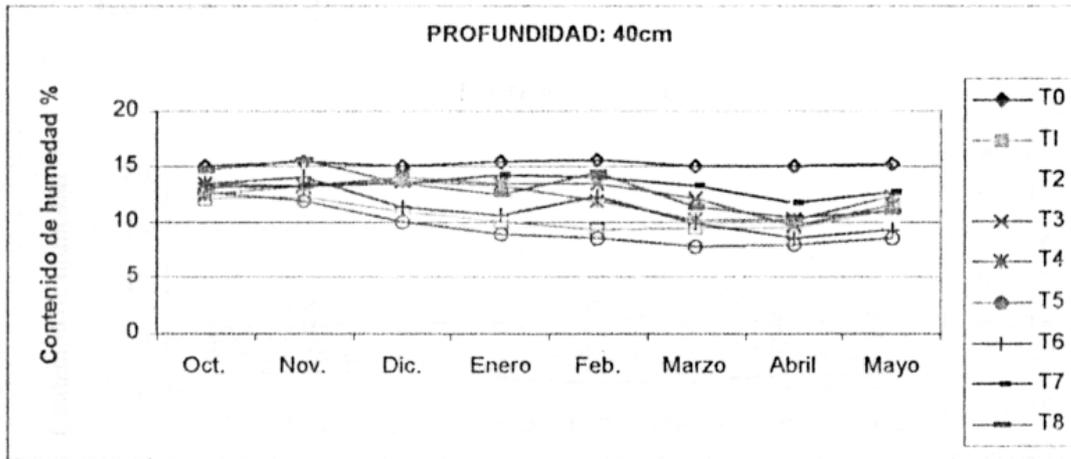


Figura 3 Contenido de humedad en la primera estrata por tratamiento.



**Figura 4.** Contenido de humedad en la segunda estrata por tratamiento.

Las Figuras 3 y 4 muestran la variación de humedad en las estratas donde se concentra la mayor cantidad de raíces del pato. Al respecto se puede decir que en promedio la primera estrata presenta menor cantidad de humedad que la segunda, lo que se atribuye a la evaporación directa del suelo y al consumo por parte de las raíces, de las cuales un 50% se concentran en los primeros 30 [cm] de profundidad (GARDIAZABAL 1998).

Un análisis conjunto revela que la mayoría de las curvas de humedad mostraron las variaciones estacionales esperables. Lo anterior no está exento de heterogeneidad, tomando como ejemplo los tratamientos 6 (50% del riego en enero y febrero) y 8 (50% febrero a abril), los cuales mostraron un alza de humedad en el mes de febrero, situación que se explicaría por una condición ajena al ensayo. Dentro de ciertos márgenes, el contenido de humedad promedio se comportó de forma predecible de acuerdo a los tratamientos de riego aplicados.

#### 4.1.2 Huerto microaspersión.

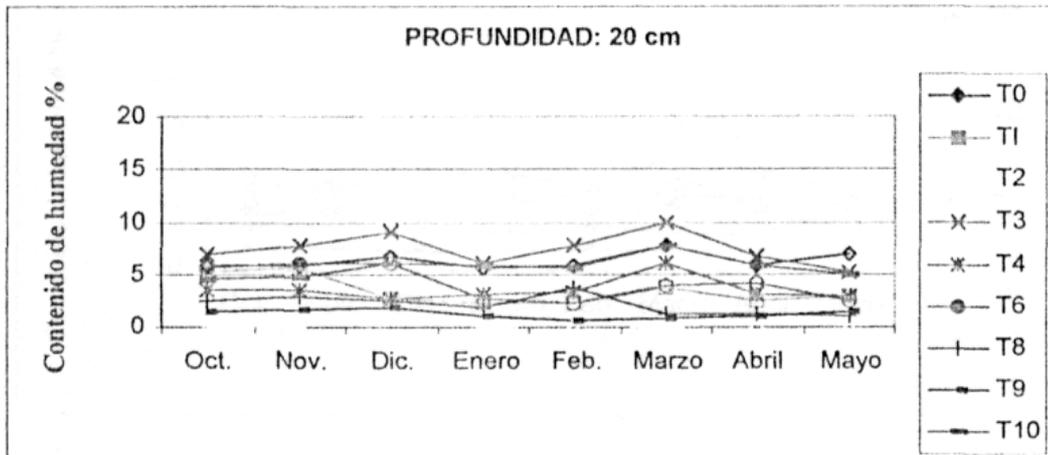
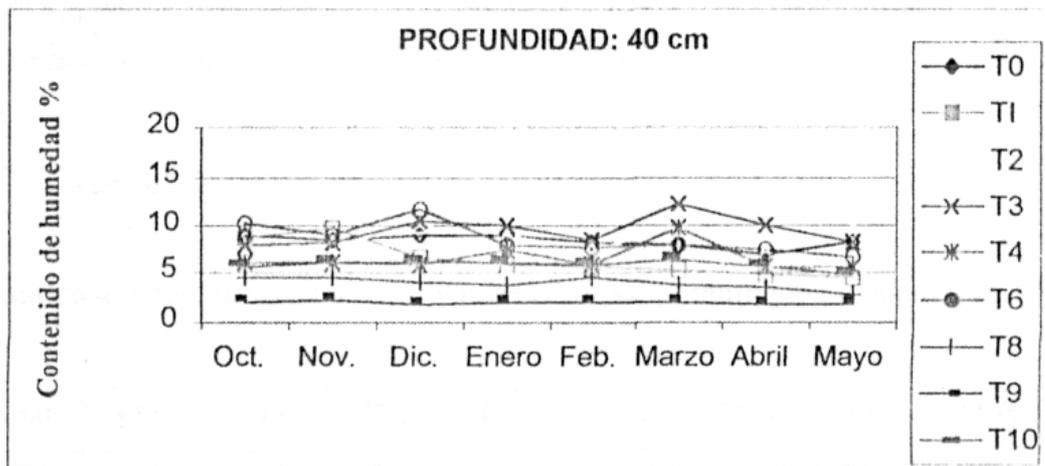


Figura 5. Contenido de humedad en la primera estrata por tratamiento.



**Figura 6.** Contenido de humedad en la segunda estrata por tratamiento.

De las Figuras se puede apreciar que la primera estrata tiene en promedio una menor cantidad de humedad, situación atribuible al consumo de agua por parte de las raíces, y en menor medida a la evaporación directa del suelo.

En un análisis conjunto podemos observar que los tratamientos experimentaron variaciones estacionales similares entre estratas. Sin embargo, entre curvas de humedad se nota diferencias de una estrata a otra. A manera de ejemplo se puede citar al tratamiento 2 (50% del riego todo el año), el cual registra una humedad muy baja en la primera estrata, situación que se revierte en la segunda estrata. Esta condición podría deberse a una mayor acumulación de humedad en una estrata de menor concentración de raíces absorbentes.

Llama la atención el tratamiento 9 (150% todo el año), el cual se esperaba que fuese el de mayor contenido de humedad; sin embargo la curva de humedad de dicho tratamiento se encuentra por debajo de las demás. Esta situación anómala puede ser atribuida a la incorrecta ubicación del emisor como a una condición de suelo local,

muy arenoso y pedregoso lo que aumentaría la velocidad de percolación y disminuiría la retención de humedad (HONORATO, 1993).

#### 4.2 Variable largo de brote.

**Cuadro 4** Crecimiento mensual y promedio por tratamiento en huerto goteo (cm).

| Trat      | Oct | Nov | Dic | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Prom |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| <b>T0</b> | 2,7 | 5,1 | 7,5 | 9,0  | 10,6 | 13,1 | 14,9 | 15,5 | 9,8  |
| <b>T1</b> | 2,8 | 4,9 | 8,7 | 12,6 | 14,0 | 16,6 | 20,2 | 20,2 | 12,5 |
| <b>T2</b> | 3,4 | 5,8 | 9,5 | 11,0 | 11,4 | 12,3 | 13,0 | 13,1 | 9,9  |
| <b>T3</b> | 2,6 | 5,4 | 8,8 | 11,6 | 13,3 | 15,4 | 18,2 | 18,8 | 11,8 |
| <b>T4</b> | 3,6 | 6,2 | 8,0 | 10,0 | 12,5 | 16,2 | 19,2 | 19,5 | 11,9 |
| <b>T5</b> | 3,1 | 5,9 | 6,2 | 7,8  | 8,7  | 9,9  | 11,2 | 11,8 | 8,0  |
| <b>T6</b> | 3,0 | 5,5 | 7,3 | 9,5  | 10,3 | 11,6 | 14,0 | 14,9 | 9,5  |
| <b>T7</b> | 2,6 | 4,8 | 8,2 | 9,6  | 11,5 | 14,3 | 16,4 | 16,6 | 10,5 |
| <b>T8</b> | 3,0 | 5,7 | 6,8 | 9,3  | 11,1 | 13,0 | 13,3 | 13,3 | 9,4  |

**Cuadro 5.** Crecimiento mensual y promedio por tratamiento en huerto microaspersión (cm).

| Trat       | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Prom |
|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| <b>T0</b>  | 2,9 | 4,7 | 5,7 | 7,4 | 9,8  | 10,2 | 10,7 | 10,7 | 7,7  |
| <b>T1</b>  | 3,1 | 3,4 | 4,5 | 4,9 | 5,3  | 5,3  | 5,5  | 5,7  | 4,7  |
| <b>T2</b>  | 3,3 | 4,3 | 5,2 | 6,3 | 7,1  | 7,3  | 7,4  | 7,3  | 6,0  |
| <b>T3</b>  | 2,7 | 4,8 | 6,7 | 9,2 | 14,2 | 15,5 | 16,2 | 16,4 | 10,7 |
| <b>T4</b>  | 3,9 | 4,9 | 5,7 | 6,9 | 9,3  | 9,7  | 11,5 | 11,8 | 8,0  |
| <b>T5</b>  | 3,0 | 4,1 | 5,3 | 7,6 | 9,6  | 9,7  | 9,8  | 9,8  | 7,3  |
| <b>T6</b>  | 3,9 | 4,3 | 5,0 | 6,2 | 6,6  | 6,7  | 6,8  | 6,8  | 5,8  |
| <b>T7</b>  | 3,8 | 4,5 | 4,9 | 6,1 | 6,8  | 7,0  | 7,2  | 7,1  | 5,9  |
| <b>T8</b>  | 3,2 | 5,5 | 5,9 | 6,7 | 7,6  | 8,5  | 8,9  | 8,9  | 6,9  |
| <b>T9</b>  | 3,4 | 5,0 | 6,5 | 8,4 | 11,1 | 11,8 | 12,2 | 12,2 | 8,9  |
| <b>T10</b> | 3,2 | 4,8 | 5,2 | 7,3 | 8,1  | 8,5  | 8,6  | 8,6  | 6,8  |

Un análisis general de los resultados permite comprobar que en éste ensayo no existieron diferencias en cuanto a crecimiento de brotes entre los tratamientos, en ninguno de los métodos de riego. Se registran crecimientos iguales tanto en tratamientos restrictivos de primavera como en tratamientos testigos.

Los resultados no permiten comprobar lo expuesto por LOVA TT (1987), quien indica que el brote de primavera sería afectado por una restricción hídrica en dicha época.

Por otro lado, los resultados tampoco permiten confirmar lo expuesto por KANEMASU, ASAR y YOSHIDA (1985), los que indican que se produce un cierre estomático como consecuencia de un estrés hídrico. Si se relaciona esto con el hecho, que el crecimiento de la planta está directamente relacionado con su transpiración

(SYVERTSEN, 1985), se concluiría que una restricción hídrica se traduce en un cese en el crecimiento vegetativo.

Una posible explicación a éstos resultados, sería un crecimiento compensatorio de los brotes una vez restablecida la lámina de riego normal (100%). A manera de ejemplo se puede observar los tratamientos 3 (75% septiembre a enero) y 4 (50% septiembre a enero), los cuales experimentan una gran tasa de crecimiento a partir del cambio de régimen de riego. Por otro lado, debido a la forma extendida característica del sistema radicular del palto, podría haber habido alguna interferencia de un tratamiento sobre el contiguo, tomando en cuenta que en el huerto microaspersión está plantado a una distancia de 5x5 m.

#### 4.3 Variable peso de fruta.

**Cuadro 6.** Peso promedio de paltas por tratamiento en huerto goteo (g)\*.

| T8    | T5    | T0    | T3    | T1    | T2    | T7    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 215,6 | 190,1 | 184,3 | 172,0 | 147,7 | 140,1 | 138,4 |
| a     | b     | b     | b     | c     | cd    | cd    |

**Cuadro 7.** Peso promedio de paltas por tratamiento en huerto microaspersión (g)\*.

| T10   | T0    | T7    | T5    | T6    | T9    | T1    | T8    | T4    | T2    | T3    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 205,8 | 205,7 | 195,9 | 192,1 | 187,9 | 187,9 | 178,9 | 176,4 | 170,2 | 164,3 | 158,2 |
| a     | a     | b     | b     | b     | b     | c     | c     | c     | d     | d     |

\*El análisis estadístico es sólo referencial debido a que por motivos de diseño de la red de riego las repeticiones quedaron espacialmente ordenadas.

(SYVERTSEN, 1985), se concluiría que una restricción hídrica se traduce en un cese en el crecimiento vegetativo.

Una posible explicación a éstos resultados, sería un crecimiento compensatorio de los brotes una vez restablecida la lámina de riego normal (100%). A manera de ejemplo se puede observar los tratamientos 3 (75% septiembre a enero) y 4 (50% septiembre a enero), los cuales experimentan una gran tasa de crecimiento a partir del cambio de régimen de riego. Por otro lado, debido a la forma extendida característica del sistema radicular del palto, podría haber habido alguna interferencia de un tratamiento sobre el contiguo, tomando en cuenta que en el huerto microaspersión está plantado a una distancia de 5x5 m.

#### 4.3 Variable peso de fruta.

**Cuadro 6.** Peso promedio de paltas por tratamiento en huerto goteo (g)\*.

| T8    | T5    | T0    | T3    | T1    | T2    | T7    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 215,6 | 190,1 | 184,3 | 172,0 | 147,7 | 140,1 | 138,4 |
| a     | b     | b     | b     | c     | cd    | cd    |

**Cuadro 7.** Peso promedio de paltas por tratamiento en huerto microaspersión (g)\*.

| T10   | T0    | T7    | T5    | T6    | T9    | T1    | T8    | T4    | T2    | T3    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 205,8 | 205,7 | 195,9 | 192,1 | 187,9 | 187,9 | 178,9 | 176,4 | 170,2 | 164,3 | 158,2 |
| a     | a     | b     | b     | b     | b     | c     | c     | c     | d     | d     |

\*El análisis estadístico es sólo referencial debido a que por motivos de diseño de la red de riego las repeticiones quedaron espacialmente ordenadas.

Si bien de los resultados anteriores se desprende que los mayores pesos de fruta son obtenidos con tratamientos no restrictivos de primavera (T8 en huerto goteo y T0, T10 en huerto microaspersión), no se puede establecer un patrón de comportamiento definido en cuanto a láminas de riego y peso de fruta.

Como se puede apreciar en el Cuadro 6, el mayor peso de paltas se obtuvo con un tratamiento restrictivo de otoño (50% de febrero a abril), resultado que confirmaría lo expuesto por WOLSTENHOLME, WHILEY y SARANAH (1990), quienes plantean que el fruto sería favorecido en cuanto a peso seco cuando el vigor del brote es controlado (en este caso el "flush" de crecimiento de otoño). Sin embargo dicho resultado puede objetarse con los obtenidos por el tratamiento 10 (130% todo el año, Cuadro 7), con el cual se obtuvo un alto peso de fruto.

Por otro lado, LOVATT (1990) señala que el período crítico para el palto, es la floración y fertilización, en donde un déficit hídrico produciría un marcado efecto negativo sobre la producción. Los resultados obtenidos por los tratamientos O (control) y 3 (75% de septiembre a enero) no nos permiten confirmar lo anteriormente expuesto, ya que no existen diferencias estadísticas entre el testigo y el tratamiento de primavera.

La heterogeneidad de resultados obtenidos, podría atribuirse al carácter añero de los paltos, situación que podría influir en el peso del fruto de una temporada a otra.

Cabe destacar lo dicho por SYVERTSEN (1985), quien plantea que para obtener una alta producción se debe incrementar la lámina de riego (Anexo 11). Los resultados obtenidos por el tratamiento 9 (150% todo el año) no permiten confirmar lo expuesto por el autor, ya que el peso promedio obtenido está por debajo de otros tratamientos. El resultado anterior podría atribuirse a una condición de saturación de suelo, a la cual el palto es sumamente sensible (GARDIAZABAL, 1998).

#### 4.4 Relación entre variable.

El fin último del presente ensayo es relacionar un cierto nivel de restricción hídrica con los parámetros vegetativo y reproductivo.

A la luz, de los resultados obtenidos y expuestos anteriormente, en el presente ensayo no parece existir una linealidad entre contenido de humedad, crecimiento de brote y peso de fruto; ya que se obtuvieron resultados opuestos entre ciertos tratamientos restrictivos con tratamientos no restrictivos en la misma época.

## **5. CONCLUSIONES.**

No fue posible determinar una época fenológica en la que una restricción hídrica resultara en un control sobre el crecimiento vegetativo, bajo ninguno de los métodos de riego incluidos en el estudio.

Por otro lado, en el huerto goteo se pudo establecer que la época de restricción hídrica de menor perjuicio sobre el calibre es, de febrero a abril, con un nivel restrictivo del 50% de la lámina de riego total.

Cuando se regó por microaspersión, se estableció que un régimen de riego no restrictivo durante todo el año, es lo que produjo el menor perjuicio sobre el peso del fruto, esto es, 100% de la lámina de riego todo el año.

## 6. RESUMEN

Un programa de Riego Deficitario Controlado podría ser la solución para controlar el gran crecimiento vegetativo del palto (*Persea americana* Mill) sin afectar el calibre del fruto.

Para determinar el impacto de RDC sobre el cultivo del palto se diseñó un ensayo que contempla 4 épocas de restricción (año completo, primavera, verano y otoño) para cubrir todo el período de crecimiento del palto. A su vez, se aplicaron dos láminas de riego en las épocas determinadas (75 y 50%). El ensayo se llevó a cabo en paralelo en dos huertos, uno regado por goteo y otro huerto regado por microaspersión. Se midieron tres variables: humedad de suelo, calibre de fruto y largo del brote. Los resultados obtenidos mostraron que no hubo diferencia en el largo del brote, pero se obtuvo mayor peso de fruto con una restricción de 50% entre los meses de febrero hasta abril. Por su parte para el huerto microaspersión el tratamiento 3 (75% de septiembre a enero) se produjo mayor crecimiento de brote, en tanto que el mayor peso de fruto se obtuvo con tratamientos no restrictivos (100 y 130%).

## 7. LITERATURA CITADA

- ADATO, I. y LEVISON, B. 1991. Influence of reduced rates of water and fertilizer application using daily intermittent drip irrigation on the water requirement, root development and responses of avocado trees (cv. Fuerte). *The journal of horticultural science* 66(4) 449-463.
- ALBIÑANA, L.I. 1986. Cultivo del aguacate. Barcelona aedos. 175p.
- BARRIENTOS, A., RODRIGUEZ, JL. y ESPINOZA, JL. 1993. Respuesta de las plantas de aguacate cv Hass bajo sequía. Memoria. México, Fundación Salvador Sanchez Colin, S.C., pp 151-166.
- BEHBOUDIAN, M.H., WALKER, R.R. y TÖRÖKFALVY, E. 1986. Effects of water stress and salinity on photosynthesis of pistachio. *Scientia Hort.* 29:251-261.
- BOWER, J.P., CUTTING, J.G.M. y WOLSTENNOLME, B.N. 1989. Effect of pre and post-harvest water stress on the potential for fruit quality defects in avocado. *S Afr j Plant Soil* 6 (4) 219-222
- CALABRESE, F. 1992. El Aguacate. Madrid, Mundiprensa. 249 p.
- CARDEMIL, G. 1999. Aproximación a los requerimientos hídricos del Palto Hass para la Provincia de Quillota. Taller de Licenciatura. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 154p
- CASTEL, J.R. y BUJ, A. 1988. Responses of salustiana oranges to high fequency deficit irrigation. *Irrigation Science* 11(2): 121-127.
- \_\_\_\_\_ J.R. y FERERES, E. 1992. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J. Hort. Science* 57: 175-187.
- CHAIKIATTIYOS, S., MENSEL, C.M. y RASMUNSEN. T.S. 1994. Floral induction in tropical trees: effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science* 69(3): 397-415.
- CHALMERS, D.J. 1990. Control de crecimiento de la planta por la regulación de los déficit de agua y la limitación de la zona de humectación. *Frut* 5: 369-375.
- CHANDLER, W.H. 1962. Frutales de hoja perenne. México. UTEHA. 666p.

- CONTADOR, G. 1998. Caracterización del status hídrico del palto en función de la humedad disponible en el suelo en dos tipos de suelo y dos sistemas de riego. Taller de Licenciatura. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 23p.
- DE JUAN VALERO, J.A. y DE SANTA OLALLA, F.J.M. 1993. Agronomía del riego. Madrid. Mundiprensa. 732p.
- DOOREMBOS, J. y PRUITT, W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. Riego y Drenaje, n° 24. 194p.
- ENGLISH, M. y NAVAJID, S. 1996. Perspectives on déficit irrigation. Agricultural Water Management. 32(1)1-14.
- FABER, B.A., ARPAIA, M.L. y YATES, M.V. 1995. Irrigation management of avocado in california coastal enviroment. World avocado congress 111. Tel aviv. Israel. 22-27 octubre.
- FAUST, M. 1989. Physiology. of températe zone fruit trecs. New York. John Wiley & Sons. 329p
- FERSINI, A. 1978. El cultivo del aguacate. México, diana. 132p.
- FERERES, E., CRUZ-ROMERO, G., HOFFMAN, G.L. y RAWLINS, S.L. 1979. Recovery of oranges trees folowing severe water stress. J. Appl. Ecol. 16:833-842.
- FUENTES, J.L. 1996. Manual de riego para regantes. Madrid. Mundiprensa. 157p.
- GAILLARD, J.P. 1987. L'avocaticr. Sa culture, ses produits. París. Maisonneuve & larose.
- GARDÍAZABAL, F y ROSENBERG, G. 1983. El Cultivo del palto. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. 166p.
- y ----- 1991. Cultivo del Palto, Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 201 p.
- . 1998. Factores Agronómicos a Considerar en la implementación de un Huerto de Paltos. Seminario internacional de paltos, Viña del Mar, 4 al 6 Noviembre. Pp 17-39.

- GOODE, J.E. and HIGGS, K.H. 1973. Water osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48: pp 202-215.
- HERNÁNDEZ, F. 1991. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de Quillota V Región. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 99p.
- KANEMASU, E.T., ASRAR, G., and YOSHIDA, M. 1985. Remote sensing techniques for assessing water deficit and modeling crop response. *Hort. Sci.* 20 (6): 1043-1046.
- KÖHNE, J.S. 1998. Floración, Desarrollo de Fruta y manipulación de Producción en paltos. Seminario Internacional de Paltos, Viña del Mar, 4 al 6 Noviembre. Pp 81-91.
- KRIZEK, D. 1985. Methods of inducing water stress in plants. *Hort. Sci.* 20 (6): 1028-1034
- LAHAV, E. and KALMAR, D. 1983. Determination of the irrigation régime for an avocado plantation in spring and autumn. *Aust. J. Agric. Res.* 34 (6):717-724.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_ 1977. Water requirements of avocado in israel. I. Tree and soil parameters. *Australian Journal Agriculture Research* 28: 859-868
- LAMPINEL, B.D., SCHACKEL, K.A., SOUTHWICK, S.M., OLSON, B, YEAGER, J.T. and GOLDHAMER, D. 1995. Sensitivity of yield and fruit quality of french prune to water deprivation at different fruit growth stages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 139-147.
- CHILE OPENS, 2001. Chile opens doors to california avocados, *California grower* 25(1):5-7.
- LOVATT, C. 1990. Factor affecting fruit set/early fruit drop in avocado. *California Avocado Society Yearbook* 95: 193-199.
- \_\_\_\_\_ 1987. Stress. *California Avocado Society Yearbook* 71: 251-255.
- MAGDAHL, C. 1998. La Industria de la Palta en Chile. Seminario Internacional de Paltos, Viña del Mar, 4 al 6 Noviembre. Pp 1-15.

- MARROCCO, R.P. 1990. Estimated water use. California grower. 14(4):24.
- MICHELAKIS, R, VOUGIOUCALOU, 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.
- MITCHELL, P.D., JERIE, P.H. and CHALMERS, DJ. 1984. Effects of regulated water deficit on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. Journal of the American Society for Horticultural Science 109: 604-606.
- NOVOA, R. y VILLASECA, S. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. 221 p.
- ODEPA, 2001. Mercado de la Palta (on line). [www.odepa.cl](http://www.odepa.cl).
- \_\_\_\_\_ 2000. (on line). Tabla de Producciones y superficie nacional, [www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)
- PALMA, A.R. 1991. Aproximación al ciclo fonológico del palto (*persea americana* Mill) cv. Fuerte. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía 127p
- SALGADO, E. 1997. Apuntes de relación suelo-agua-planta. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 1 14p.
- \_\_\_\_\_ y BOZZOLO, V. 1997. Coeficiente de Cultivo (Kc) para Paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Simiente. 67(1-2).
- \_\_\_\_\_. 1990. Manejo del riego. Curso internacional producción, post-cosecha y comercialización de paltas. UCV, Viña del Mar, 2-3-4-5 Octubre de
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. y TORRECILLAS, A. 1995. Aspectos Relacionados con la Utilización de Estrategias de Riego deficitario controlado en cultivos Leñosos In. Madrid. Mundiprensa. Pp 43-63.
- SCHOLEFIELD, P.B.; WALCOTT, J.J.; KRIEDERMANN, P.E. and RAMADASAN, A. 1980. Some environmental effects on photosynthesis and water relations of avocado leaves. California Avocado Society Yearbook 64, 93-105.

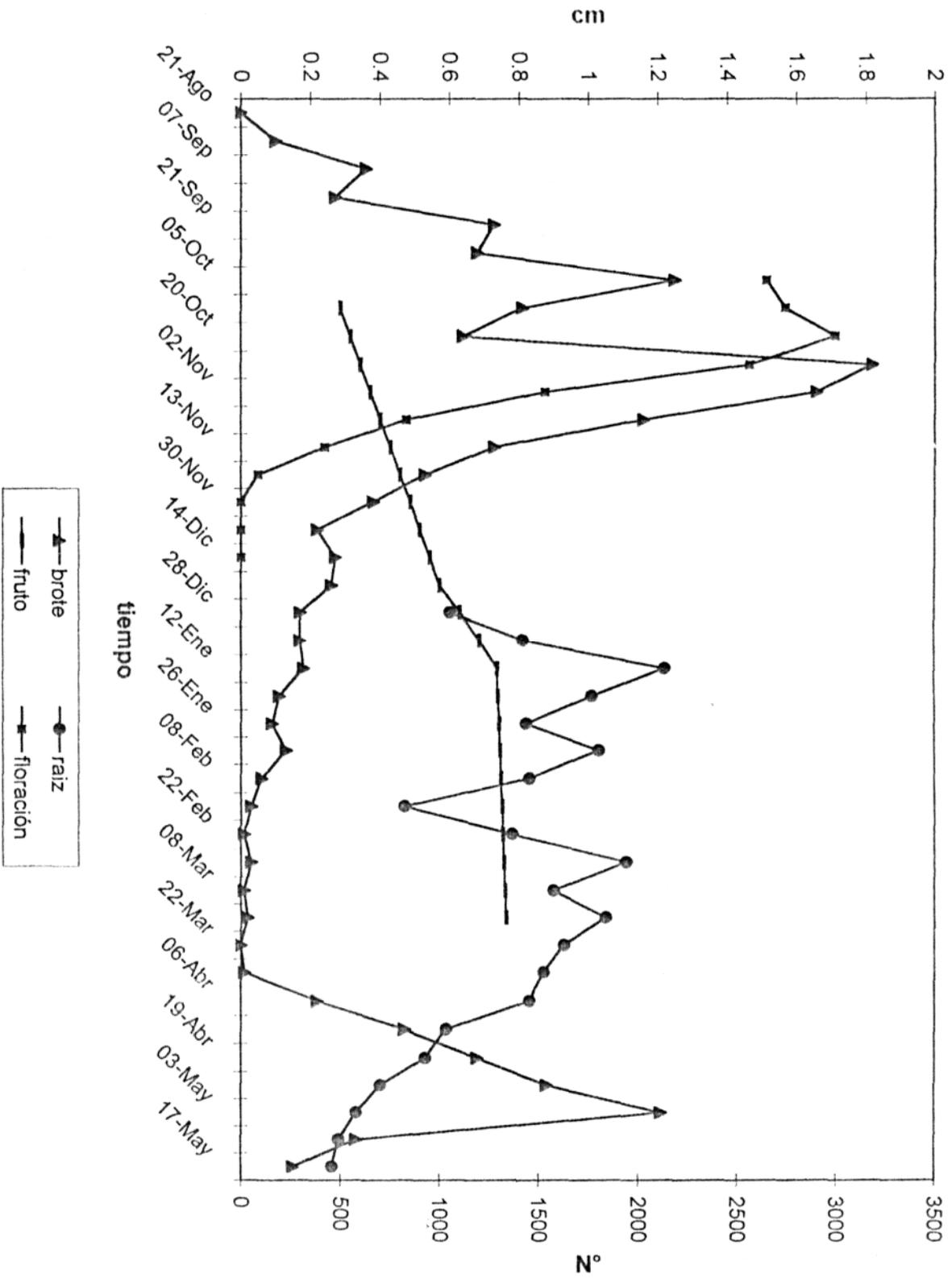
- SCHULZE, E.D. 1986. Carbón dioxide and water vapor exehange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 37:247-274.
- SPOMER, L. 1985. Techniques for measuring plant water. *Hort. Sci.* 20(6): 1022-1025.
- SYVERTSEN, J.P. 1985. Integration of water stress in fruit trees. *Hort. Sci.* 20 (6): 1039-1043.
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. 1998. *Plant Physiology*. Massachusett. Sinauer Associates, Inc. 792p.
- TAPIA, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del Palto (*persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de Quillota V región. Taller de Licenciatura. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 99p
- TORO, M. 1995. Efecto del método de riego en la distribución espacial del sistema radical de paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass en dos tipos de suelo. Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 27p.
- TORRECILLAS, A., RUIZ-SANCHEZ, M.C., DOMINGO, R., HERNANDEZ-BORROTO, J. 1993. Regulated déficit irrigation on Fino lemon trees. *Acta Hortic.* 335:205-212.
- VILLABLANCA, I. 1994. Estudio comparativo de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión). Taller de Licenciatura. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 108p.
- VILLANUEVA, P.P. 1998. Distribución espacial de raíces en palto en dos suelos bajo dos sistemas de riego. Taller de Licenciatura. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 23p.
- WHILEY, A.W., CHAPMAN, K.R., SARANAH, J.B. 1988. Water loss by floral struclures of avocado (*Persea americana* Mill cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research.* 39:457-467.
- WILHELMY, C. 1998. Evaluación económica del cultivo del palto. Seminario Internacional de Paltos, Viña del Mar, 4 al 6 Noviembre. Pp 119-143.

WOLSTENHOLME, B.N. y WHILEY, A.W. 1989. Carbohydrates and phenological cycling as managment tools for avocados orchards. South African Avocado Association Yearbook 12:33-37.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and SARANAH, J.B 1990. Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. *Scientia Horticulturae* 41:317-327.

ANEXOS

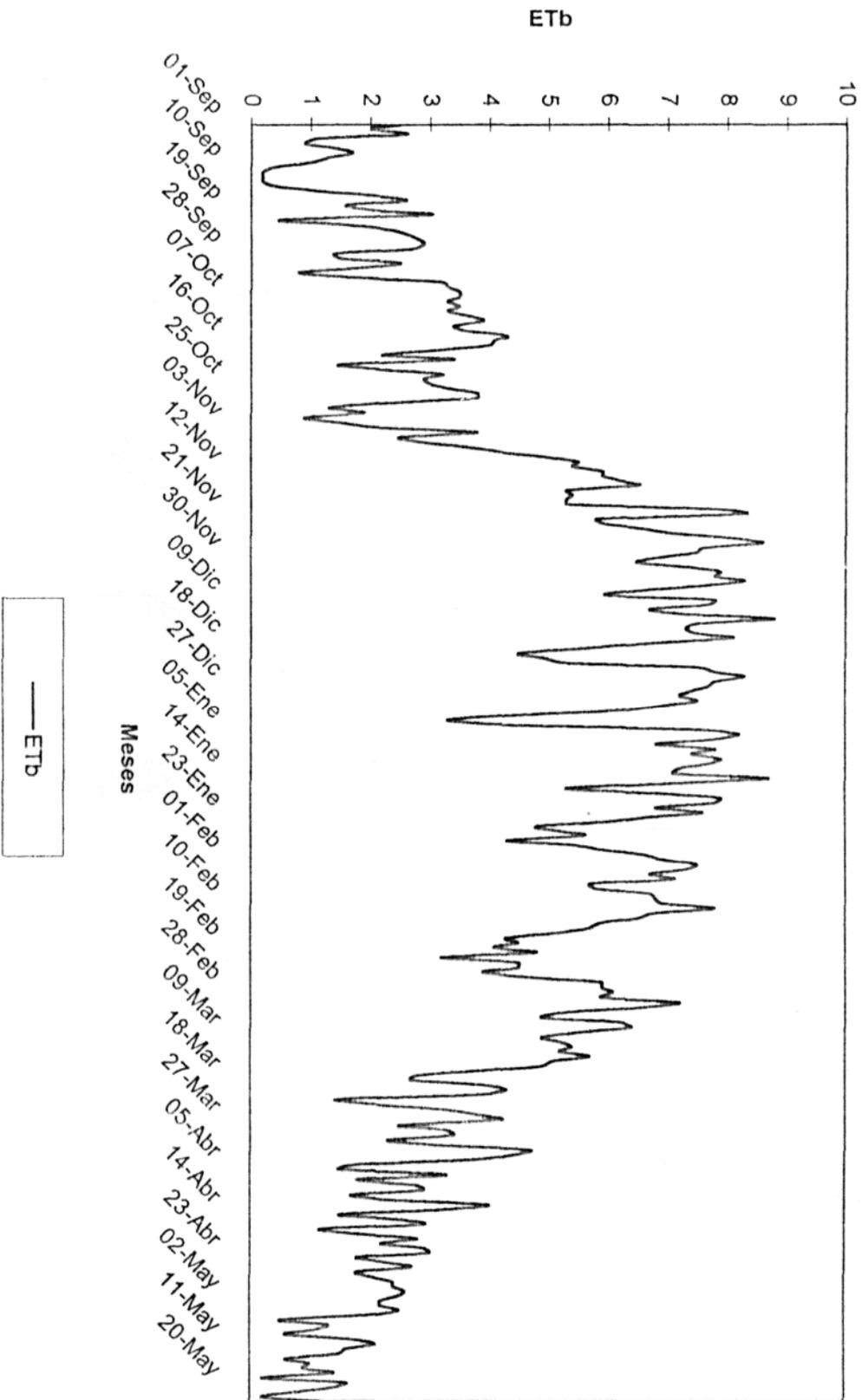
Anexo 1 curva fenológica del patito



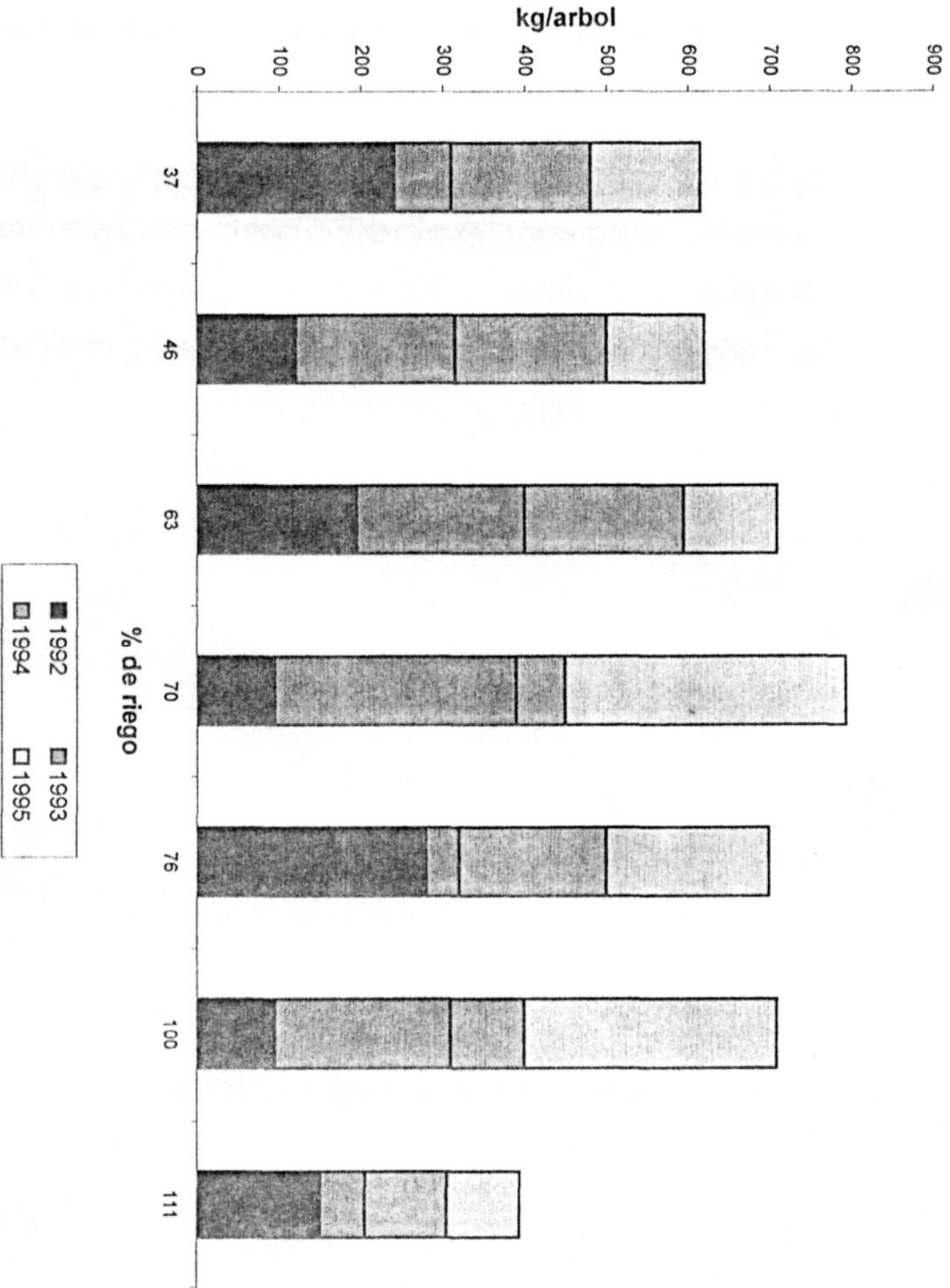
**Anexo 2.** Kc y Kb propuestos para la zona de Quillota.

|    | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kc | 0.52 | 0.54 | 0.54 | 0.65 | 0.64 | 0.63 | 0.56 | 0.55 |
| Kb | 0.78 | 0.78 | 0.83 | 0.70 | 0.60 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |

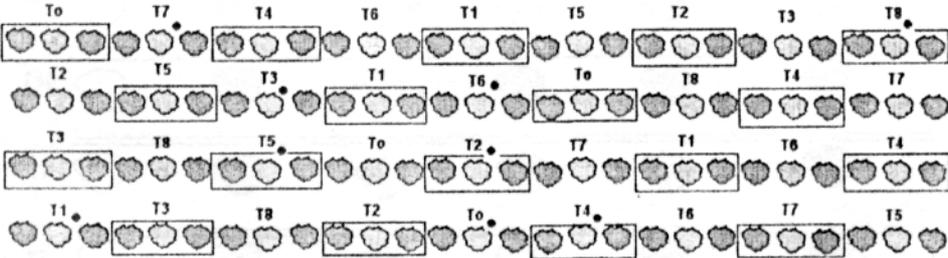
Anexo 3 ETb para la temporada 00/01



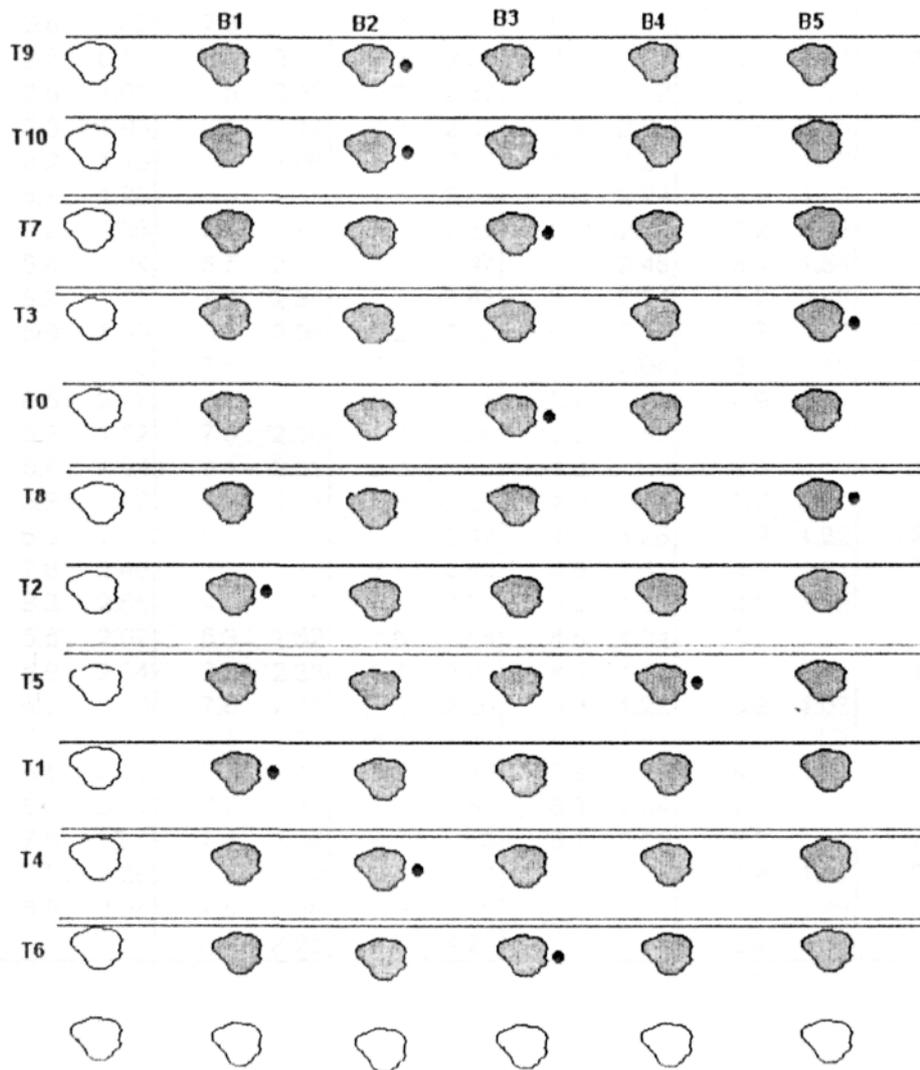
Anexo 4 producción de paltas en ensayo RDC (U.S.)



Anexo 5 Distribución espacial de los tratamientos en huerto goteo.



**Anexo 6** Distribución espacial de tratamientos huerto microaspersión.



Los puntos negros son los tubos de medición de humedad, en tanto que las líneas negras son laterales de 100% y azules de la lámina restrictiva correspondiente.

Anexo 7 planilla de riego y evaporación

|    | oct |       | nov |       | dic |       | ene |       | feb |       | mar |       | abr |       | may |       |
|----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
|    | Etb | Riego |
| 1  | 1.8 |       | 0.9 | 0.18  | 6.5 | 2.17  | 6.2 | 2.1   | 6.9 | 2.25  | 5.9 | 2.04  | 4.7 | 1.22  | 2.5 | 0.44  |
| 2  | 0.8 | 3.44  | 1.5 | 0.31  | 7.4 | 2.36  | 4.5 | 1.34  | 7.5 | 2.38  | 7.2 | 2.32  | 4.4 | 1.17  | 2.2 | 0.38  |
| 3  | 1.8 |       | 2.1 | 0.44  | 7.9 | 2.46  | 3.3 | 1.09  | 7.3 | 2.34  | 6.5 | 2.17  | 3.8 | 1.01  | 2.2 | 0.38  |
| 4  | 3.2 |       | 3.8 | 1.2   | 7.8 | 2.45  | 4.3 | 1.3   | 6.7 | 2.21  | 5.3 | 1.52  | 1.8 | 0.38  | 2.5 | 0.44  |
| 5  | 3.3 |       | 2.5 | 0.52  | 8.3 | 2.55  | 7.5 | 2.38  | 7.1 | 2.3   | 4.9 | 1.43  | 1.5 | 0.26  | 2   | 0.35  |
| 6  | 3.5 | 3.28  | 2.9 | 1.01  | 7.5 | 2.38  | 8.2 | 2.57  | 5.7 | 2     | 6.2 | 2.09  | 3.3 | 0.58  | 0.5 | 0.08  |
| 7  | 3.5 | 1.01  | 3.6 | 1.03  | 6.5 | 2.17  | 7.8 | 2.45  | 5.8 | 2.02  | 6.4 | 2.15  | 1.8 | 0.31  | 1.3 | 0.22  |
| 8  | 3.3 | 0.58  | 4.2 | 1.13  | 6   | 2.06  | 6.8 | 2.24  | 6.7 | 2.21  | 5.6 | 1.58  | 2.8 | 0.49  | 1.1 | 0.14  |
| 9  | 3.5 | 1.01  | 4.9 | 1.26  | 7.8 | 2.45  | 7.8 | 2.45  | 6.8 | 2.24  | 4.9 | 1.43  | 2.9 | 0.51  | 0.6 | 0.1   |
| 10 | 3.3 | 0.58  | 5.5 | 1.36  | 7.7 | 2.42  | 7.4 | 2.36  | 6.9 | 2.25  | 5.2 | 1.49  | 1.7 | 0.3   | 1.7 | 0.3   |
| 11 | 3.7 | 1.05  | 5.4 | 1.34  | 6.7 | 2.21  | 7.9 | 2.47  | 7.8 | 2.45  | 5.4 | 1.54  | 2.4 | 0.42  | 2.1 | 0.37  |
| 12 | 3.9 | 1.09  | 5.9 | 1.43  | 7.3 | 2.34  | 7.7 | 2.43  | 6.8 | 2.24  | 5.2 | 1.49  | 4   | 1.1   | 1.6 | 0.28  |
| 13 | 3.4 | 1     | 5.9 | 1.43  | 8.8 | 3.06  | 7.2 | 2.32  | 6.5 | 2.17  | 5.7 | 2     | 3.2 | 0.56  | 1.5 | 0.26  |
| 14 | 3.6 | 1.03  | 6.2 | 2     | 7.5 | 2.38  | 7.1 | 2.3   | 5.9 | 2.04  | 5.1 | 1.48  | 1.5 | 0.25  | 0.6 | 0.1   |
| 15 | 4.3 | 1.15  | 6.5 | 2.17  | 7.3 | 2.34  | 8.7 | 3.4   | 5.7 | 2     | 4.9 | 1.43  | 2.5 | 0.44  | 1   | 0.17  |
| 16 | 4.1 | 1.12  | 5.3 | 1.52  | 7.5 | 2.38  | 7   | 2.28  | 5.2 | 1.49  | 3.9 | 1.22  | 2.9 | 0.51  | 0.9 | 0.15  |
| 17 | 4   | 1.1   | 5.4 | 1.54  | 8.1 | 2.51  | 5.3 | 1.52  | 4.3 | 1.3   | 2.8 | 0.58  | 1.2 | 0.21  | 1.4 | 0.24  |
| 18 | 3.2 | 0.56  | 5.3 | 1.52  | 6.7 | 2.21  | 6.9 | 2.26  | 4.5 | 1.34  | 2.7 | 0.57  | 1.8 | 0.31  | 0.2 | 0.03  |
| 19 | 2.2 | 0.39  | 5.3 | 1.52  | 5.7 | 2     | 7.9 | 2.47  | 4.1 | 1.26  | 3.9 | 1.22  | 2.8 | 0.49  | 1.6 | 0.28  |
| 20 | 3.4 | 1     | 7.8 | 2.45  | 4.5 | 1.34  | 7.8 | 2.45  | 4.8 | 1.41  | 4.3 | 1.31  | 2.2 | 0.38  | 1.4 | 0.24  |
| 21 | 1.5 | 0.26  | 8.3 | 2.55  | 4.9 | 1.43  | 6.8 | 2.24  | 3.2 | 1.07  | 3.9 | 1.22  | 2.9 | 0.51  | 0.8 | 0.14  |
| 22 | 2.1 | 0.37  | 5.8 | 2.02  | 5.3 | 1.52  | 7.6 | 2.4   | 4.5 | 1.34  | 1.5 | 0.31  | 3   | 0.52  | 0.2 | 0.03  |
| 23 | 3.2 | 0.56  | 5.9 | 2.04  | 7.5 | 2.38  | 6.7 | 2.21  | 4.5 | 1.34  | 2.1 | 0.44  | 1.8 | 0.31  | 1.2 | 0.21  |
| 24 | 2.9 | 0.51  | 6.6 | 2.19  | 7.8 | 2.45  | 6   | 2.06  | 3.9 | 1.22  | 3.2 | 1.07  | 2.3 | 0.4   |     |       |
| 25 | 3   | 0.52  | 7.1 | 2.3   | 8.3 | 2.55  | 4.8 | 1.41  | 4.8 | 1.41  | 3.8 | 1.2   | 2.7 | 0.47  |     |       |
| 26 | 3.3 | 0.58  | 8.1 | 2.51  | 7.8 | 2.45  | 5.2 | 1.49  | 5.9 | 2.04  | 4.2 | 1.28  | 1.8 | 0.31  |     |       |
| 27 | 3.8 | 1.06  | 8.6 | 3.01  | 7.7 | 2.42  | 5.6 | 1.58  | 5.9 | 2.04  | 2.5 | 0.52  | 2   | 0.35  |     |       |
| 28 | 3.8 | 1.06  | 7.6 | 2.4   | 7.4 | 2.36  | 4.3 | 1.3   | 6.1 | 2.09  | 3.3 | 1.09  | 2.4 | 0.42  |     |       |
| 29 | 2.2 | 0.38  | 7.5 | 2.38  | 7.2 | 2.32  | 5.4 | 1.54  |     |       | 3.4 | 1.12  | 2.4 | 0.42  |     |       |
| 30 | 1.3 | 0.22  | 6.8 | 2.24  | 7.5 | 2.38  | 5.9 | 0     |     |       | 2.3 | 1.48  | 2.6 | 0.45  |     |       |
| 31 | 1.9 |       |     |       | 6.9 | 2.25  | 6.6 | 4.24  |     |       | 3.2 | 1.07  |     |       |     |       |

## **Anexo 8. Análisis de calicatas.**

### **Calicata 1; huerto microaspersión.**

O a 25 cm. Alta pedregosidad, color claro, no forma pasta en saturación, presencia de raicillas, actividad biológica, arenoso al tacto, límite claro.

25 a 50 cm cambio abrupto de textura, formación de figuras en saturación, quebradizo en seco, menor pedregosidad, color oscuro, no se ve actividad biológica, sin presencia de raicillas, presencia de gravas.

### **Calicata 2; huerto goteo.**

O a 19 cm color oscuro, alta presencia de grava, no forma figuras en saturación, presencia de actividad biológica y raicillas.

19 a 44cm muy arenoso al tacto, no forma figuras en saturación, altamente pedregoso, color pardo claro, no friable, no hay presencia de raicillas, sin actividad biológica.

44 a 100 cm limite claro color pardo oscuro, menor presencia de piedras, forma figuras en saturación, sin actividad biológica, grava en profundidad, no se ven raicillas.

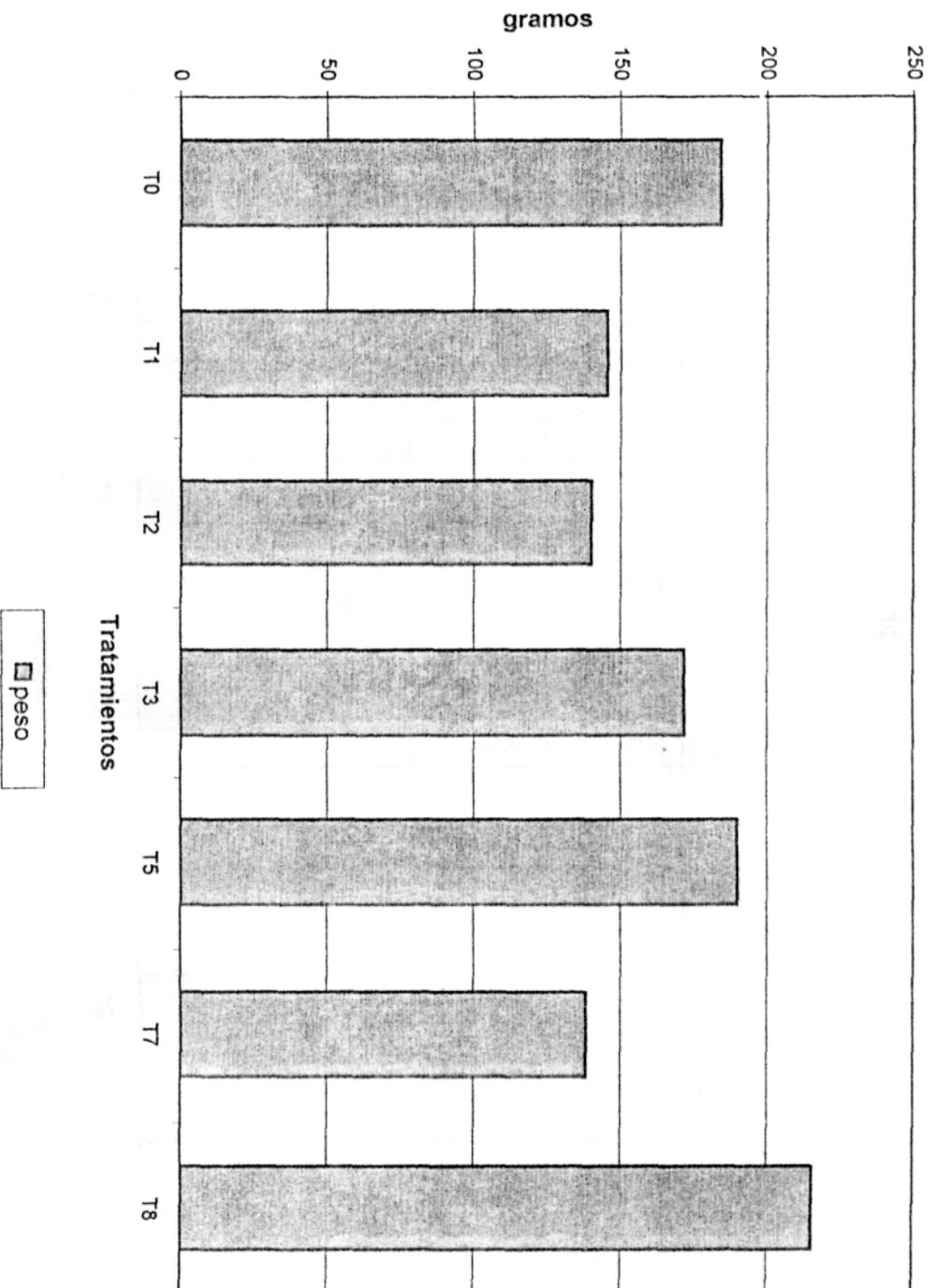
Anexo 9. Agroclima Quillota.

| Mes            | Temperaturas |        |         |       |          | Suma térmica días° |         |
|----------------|--------------|--------|---------|-------|----------|--------------------|---------|
|                | Maxima       | Mínima | Min.abs | Media | Amplitud | Base 5             | Base 10 |
| Enero          | 26.8         | 11.5   | 8.4     | 19.15 | 15.30    | 439                | 284     |
| Febrero        | 26.6         | 11.2   | 7.8     | 19.90 | 15.40    | 389                | 249     |
| Marzo          | 25.6         | 9.8    | 5.3     | 17.70 | 15.80    | 394                | 239     |
| Abril          | 27.7         | 8.1    | 3.6     | 15.40 | 14.60    | 312                | 162     |
| Mayo           | 19.9         | 7.4    | 2.7     | 13.65 | 12.50    | 268                | 113     |
| Junio          | 16.9         | 5.8    | 0.9     | 11.35 | 11.10    | 191                | 41      |
| Julio          | 16.8         | 5.5    | 0.4     | 11.15 | 11.30    | 191                | 36      |
| Agosto         | 18.2         | 5.8    | 0.1     | 12.00 | 12.40    | 217                | 62      |
| Septiembre     | 19.7         | 6.9    | 2.4     | 13.30 | 12.80    | 249                | 99      |
| Octubre        | 21.9         | 8.2    | 3.3     | 15.05 | 13.70    | 312                | 157     |
| Noviembre      | 24.7         | 9.1    | 5.2     | 16.90 | 15.60    | 357                | 207     |
| Diciembre      | 26.2         | 10.7   | 6.7     | 18.45 | 15.50    | 417                | 262     |
| Promedio anual | 22.1         | 8.2    | 3.9     | 15.25 | 13.83    | 311                | 159     |
|                |              |        |         |       |          | Σ 3734             | Σ 1909  |

| Mes     | Precipit.<br>mm | Evaporac<br>mm | Viento<br>Km/hr | Índice de<br>humedad | Agua del suelo<br>mm | Humedad<br>relativa<br>% |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Ene     | 2.5             | 232            | 6.66            | 0.02                 | 0.00                 | 67.00                    |
| Feb     | 6.3             | 159            | 6.85            | 0.06                 | 0.00                 | 70.00                    |
| Mar     | 2.2             | 121            | 5.74            | 0.03                 | 0.00                 | 73.00                    |
| Abr     | 12.4            | 90             | 4.63            | 0.20                 | 0.00                 | 77.00                    |
| May     | 77.4            | 45             | 4.26            | 2.46                 | 45.90                | 82.00                    |
| Jun     | 125.4           | 38             | 4.63            | 4.71                 | 100.00               | 83.00                    |
| Jul     | 86.2            | 44             | 5.00            | 2.80                 | 100.00               | 82.00                    |
| Ago     | 78.4            | 56             | 5.37            | 2.00                 | 100.00               | 80.00                    |
| Sep     | 25              | 70             | 6.11            | 11.00                | 76.00                | 79.00                    |
| Oct     | 13              | 126            | 6.48            | 11.00                | 0.80                 | 76.00                    |
| Nov     | 4.8             | 185            | 7.59            | 0.04                 | 0.00                 | 70.00                    |
| Dic     | 2.8             | 195            | 7.96            | 0.02                 | 0.00                 | 68.00                    |
| μ       | 35.98           | 113.42         |                 |                      |                      | 75.58                    |
| Σ anual | 436.4           | 1.361          |                 | 0.44                 |                      |                          |

Fuente: INIA, 1989

### Anexo 10 Peso paltas en huerto goteo



### Anexo 11 Peso de paltas huerto microaspersión

