



**INIA**  
Ministerio de  
Agricultura

Gobierno de Chile

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

# RIEGO EN MANDARINOS Y PALTOS

## RESULTADOS DE INVESTIGACIONES EN EL VALLE DEL RÍO LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO

EDITORES | ALFONSO OSORIO ULLOA  
MARCELA BURGOS ROBLES



ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA N° 240





**INIA**  
Ministerio de  
Agricultura

Gobierno de Chile

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

# **RIEGO EN MANDARINOS Y PALTOS**

## **RESULTADOS DE INVESTIGACIONES EN EL VALLE DEL RÍO LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO**

**EDITORES** | **ALFONSO OSORIO ULLOA**  
**MARCELA BURGOS ROBLES**

**AUTORES** | **Alfonso Osorio Ulloa**  
**Angélica Salvatierra González**  
**Antonio Ibacache González**  
**Marcela Burgos Robles**  
**Mauricio Cortés Urtubia**  
**Kattia Araya Rypowski**

**INIA INTIHUASI**  
**CHILE, 2012**

**BOLETÍN INIA N° 240**

## **Autores**

Alfonso Osorio Ulloa, Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Angélica Salvatierra González, Ingeniera Agrónoma M. Sc., Ph. D  
Antonio Ibacache González, Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Marcela Burgos Robles, Ingeniera Agrónoma  
Mauricio Cortés Urtubia, Ingeniero Agrónomo  
Kattia Araya Rypowski, Ingeniera Agrónoma

## **Director Responsable**

Francisco Meza Álvarez, Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Centro Regional de Investigación Intihuasi

## **Editores**

Alfonso Osorio Ulloa, Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Marcela Burgos Robles, Ingeniera Agrónoma

## **Boletín INIA N° 240**

Boletín editado por el Centro Regional de Investigación Intihuasi, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura Chile, como parte del Proyecto: “Sistema Interactivo de Apoyo al Riego, SIAR Limarí”, financiado por INNOVA-CORFO, 2006-2009.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

## **Cita bibliográfica**

Osorio A. y Burgos M., edición 2012. Riego en Mandarinos y Paltos: Resultados de Investigaciones en el Valle del Río Limarí. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. Boletín N°240. 100 p.

## **Diseño y Diagramación**

Miradatres Ltda.

## **Impresión**

Editorial del Norte Ltda.  
Cantidad de ejemplares: 500  
La Serena, Chile, 2012.

## PRESENTACION

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, desde antes de la creación del Centro Regional de Investigación en la región en 1991 (CRI Intihuasi), ha venido realizando diversas investigaciones, actividades de transferencia y capacitación en el uso de los recursos hídricos a los agricultores y regantes de los distintos valles de la región; tomando en cuenta la importancia que el riego tiene en la agricultura, especialmente en las regiones áridas, de limitada disponibilidad de agua, como lo es la Región de Coquimbo; permitiendo el buen crecimiento de las especies y la obtención de frutos de calidad.

En este contexto, y gracias a la ejecución del Proyecto: “Sistema Interactivo de Apoyo al Riego, SIAR Limarí”, financiado por INNOVA-CORFO, 2006-2009, es posible hoy presentar el Boletín RIEGO EN MANDARINOS Y PALTOS, RESULTADOS DE INVESTIGACIONES EN EL VALLE DEL RÍO LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO, editado por el Centro Regional de Investigación Intihuasi, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Chile.

Si bien en la región de Coquimbo, ha aumentado la existencia de embalses, en la Provincia del río Limarí este tipo de infraestructura, conocida como Sistema Paloma, se ha mantenido; sustentando el aumento de una superficie importante de plantaciones frutales con riego tecnificado de mayor eficiencia, y que ha permitido enfrentar períodos con déficit pluviométrico, los cuales son cada vez más frecuentes y prolongados, como el que está afectando a la región en la actualidad.

Las especies Paltos y Cítricos, se encuentran mayoritariamente presentes en la región, respecto al resto del país. En la Provincia del Limarí, los cítricos concentran la mayor cantidad de huertos de mandarinos, con una superficie plantada de 1.503 ha, la que corresponde al 59% de la superficie nacional y un 75% de la superficie regional. En palto, la superficie plantada con esta especie en la región alcanza las 6.800 ha; correspondiendo al 12% del total nacional (39.255 ha); siendo la provincia de Limarí, la que posee la mayor superficie regional de las plantaciones de paltos (66%). Chile es el segundo país exportador de esta fruta a nivel mundial.

Con la edición de este nuevo Boletín, INIA Intihuasi espera contribuir decididamente a la difusión de resultados de sus proyectos de investigación y ser un aporte real a las necesidades de capacitación, especialmente para el desarrollo de la agricultura de zonas áridas de nuestro país.

**Francisco Meza Álvarez**  
**Director Regional**  
**INIA CRI Intihuasi**



## AGRADECIMIENTOS

En esta publicación se entregan los resultados del trabajo realizado, durante tres años, en aspectos de riego en mandarinos y paltos, en diferentes sectores de la Provincia de Limarí.

Los campos, donde se instalaron cada uno de los ensayos, fueron predios particulares, cuyos propietarios, con el propósito de hacer un aporte a la generación de información útil para otros agricultores de la zona, los facilitaron al Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Intihuasi. A continuación se indica el nombre de las empresas y personas participantes en cada caso:

- Soc. Agrícola UNIAGRI Ovalle Ltda., Sr. Román Aros.
- Soc. Agrícola Rafael Prohens y Cía. Ltda., Sres. Nicolás y Juan E. Prohens.
- Soc. Agrícola UAC, La Granja., Sr. Luis Rodríguez.
- Soc. Agrícola AGRICOR Ltda., Sr. Luis Cortes.
- Soc. Agrícola Jacobita Alfonso Ltda., Sr. Marcos Zepeda G.
- Soc. Agrícola Antumalal Ltda., Sr. Micael Goldschmidt y Sr. René Olivares.

Deseamos expresar a todos ellos nuestro agradecimiento por su disposición y apoyo durante el establecimiento y desarrollo de las investigaciones, sin el cual no hubiese sido posible la realización de los trabajos.

Del mismo modo expresamos nuestro agradecimiento a las siguientes organizaciones de regantes:

- Junta de Vigilancia del río Grande y Limarí y sus Afluentes
- Asociación de Canalistas del Canal Camarico
- Asociación de Canalistas del Canal Palqui, Maurat, Semita

Las cuales a través de sus Directivos y profesionales, brindaron un importante apoyo al trabajo que se informa.

Finalmente se hace extensivo el agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron de una u otra manera en la ejecución de estos ensayos y a la realización de esta publicación.

## CONTENIDO

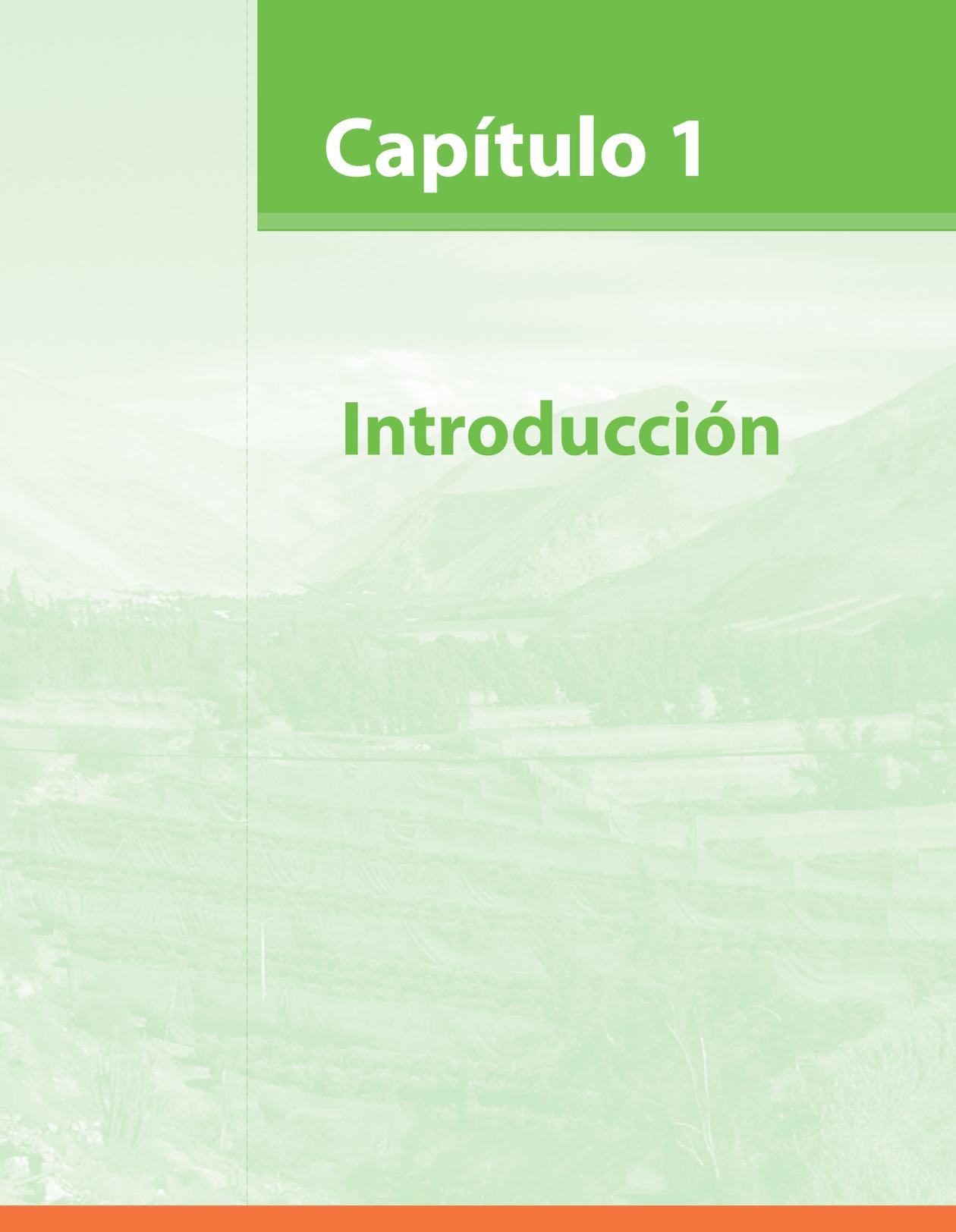
	pág.
<b>Capítulo 1: Introducción</b>	11
<b>Capítulo 2: Factores ambientales y manejo del riego</b>	15
2.1.- Efecto de los factores edafo-climáticos sobre el comportamiento de mandarina y palto	15
2.2.- Factores asociados directamente a la Programación de Riego	17
2.3.- Indicadores de Eficiencia en el Uso de Agua	21
<b>Capítulo 3: Sitios de estudio y diseño de ensayos</b>	25
<b>Capítulo 4: Mandarino (<i>Citrus reticulata</i> Blanco)</b>	29
4.1.- Implementación de los sitios de estudio	29
4.2.- Condiciones de riego	32
4.2.1.- Volúmenes de agua aplicados (VAA)	32
4.2.2.- Evapotranspiración de Referencia (ETo)	37
4.2.3.- Eficiencia de riego (Ef)	39
4.2.4.- Factor de Sombreamiento (FS)	44
4.2.5.- Coeficiente del Cultivo (Kc)	45
4.3.- Respuesta agronómica al riego	47
4.3.1.- Comportamiento del cultivo	47
4.3.2.- Respuesta productiva del cultivo de mandarinos	52
4.4.- Indicadores de Eficiencia en el Uso del Agua	60
4.5.- Conclusiones y recomendaciones	62
<b>Capítulo 5: Palto (<i>Persea americana</i> Mill)</b>	65
5.1.- Implementación de los sitios de estudio	65
5.2.- Condiciones de Riego	68
5.2.1.- Volúmenes de agua aplicados (VAA)	68
5.2.2.- Evapotranspiración de Referencia (ETo)	73
5.2.3.- Eficiencia de riego (Ef)	74
5.2.4.- Factor de Sombreamiento (FS)	80
5.2.5.- Coeficiente del Cultivo (Kc)	80
5.3.- Respuesta agronómica al riego	82
5.3.1.- Comportamiento del cultivo	82
5.3.2.- Respuesta productiva del cultivo de paltos	89
5.4.- Indicadores de Eficiencia en el Uso del Agua	95
5.5.- Conclusiones y recomendaciones	97
<b>Capítulo 6: Bibliografía consultada</b>	99





# Capítulo 1

## Introducción





## Introducción

Los rubros de paltos y mandarinos corresponden a los frutales con mayor superficie en la región de Coquimbo, después de la vid de mesa, por lo que constituyen una parte importante de las actividades productivas de los agricultores de esta región.

Según el Censo Agropecuario 2007 (INE, 2008), la superficie plantada con mandarinos, clementinas y otras mandarinas, en Chile supera las 2.600 ha., de las cuales, en la Región de Coquimbo se localizan 2.011 ha, equivalentes al 79% del total nacional. Dentro de esta región, la Provincia del Limarí es la que concentra la mayor cantidad de huertos de mandarinos, con una superficie plantada de **1.503 ha**, la que corresponde al 59% de la superficie nacional y un 75% de la superficie regional (Figura 1).

Del total de la superficie de mandarinos en la región, la variedad más plantada es Clemenule, ocupando sobre el 57% de la superficie regional (CIREN, 2011). Esto se debe a que esta variedad es considerada una de las más productivas, con un promedio de 31,4 t/ha, de alta calidad, con un 64% de producción exportable y sobre todo por ser una de las más demandadas, tanto en mercados externos como mercados internos. Al comparar la superficie actual con la existente en el año 2005, se produce una variación positiva de 38,4%. Además se presentó un aumento en el rendimiento promedio obtenido por hectárea y en la proporción de fruta exportable.

En el caso de paltos, en Chile es uno de los rubros frutícolas que mayor desarrollo ha presentado en la última década. Hoy en día la superficie plantada con esta especie es la tercera en importancia, a nivel nacional, llegando a más de 39.000 ha (INE, 2008), siendo Chile el segundo país exportador de esta fruta a nivel mundial. Según ODEPA, el 2010 se alcanzaron MU\$ 177.083 en exportaciones de paltas variedad Hass, con más de 107 mil toneladas.

Según el Censo Agropecuario realizado el año 2007, la región de Coquimbo posee el 12% de la superficie nacional con este cultivo, unas **6.800 ha**, siendo la provincia de Limarí la que posee la mayor superficie regional de las plantaciones de paltos (66%) (Figura 1).



Figura 1: Superficie plantada con mandarinos y paltos en la Región de Coquimbo.  
Fuente: Censo Agropecuario 2007.

La creciente plantación de paltos en la zona centro-norte de Chile, ha generado el desplazamiento de la especie hacia sectores de suelos marginales y laderas de cerro, debido a la escasez y alto costo de suelos profundos y de calidad superior. El año 2007



se generó un gran aumento en la superficie de cultivo de esta especie, provocando un incremento del 60% entre el año 2005 y el 2011, en la región de Coquimbo (CIREN 2011).

En laderas de cerro, se busca lugares con climas benignos, que signifiquen producciones tempranas y libres de heladas, o bien reemplazar cultivos frutales que hoy en día carecen de rentabilidad. Por esta razón, el palto se cultiva hoy en día en suelos cada vez más limitantes, lo que junto a problemas en el manejo y diseño de sistemas de riego, ha aumentado el decaimiento por asfixia radical en una gran cantidad de huertos. Lo anterior podría ser una explicación de porqué la producción promedio nacional alcanza sólo 9 t/ha en huertos productivos, mientras que el potencial productivo de esta especie, en condiciones adecuadas de suelo y clima, supera las 22 t/ha (Ferreyra et al, 2011).

Por lo tanto, queda de manifiesto que el potencial productivo de la especie permite producciones superiores al promedio actual. Para lograr altas producciones y acercarse al potencial de la especie es necesario manejar adecuadamente el factor riego, ya que debe mantenerse un buen balance entre el agua y el aire en el suelo.

La producción de paltos, mandarinos y de la mayoría de las especies frutales, depende en gran medida del manejo de riego. En este caso, el manejo del agua no sólo se traduce en kilogramos exportables, sino también, en el estado sanitario de la planta y en la longevidad del huerto. Las estrategias de riego son variadas y su ejecución depende principalmente de las características de cada caso.

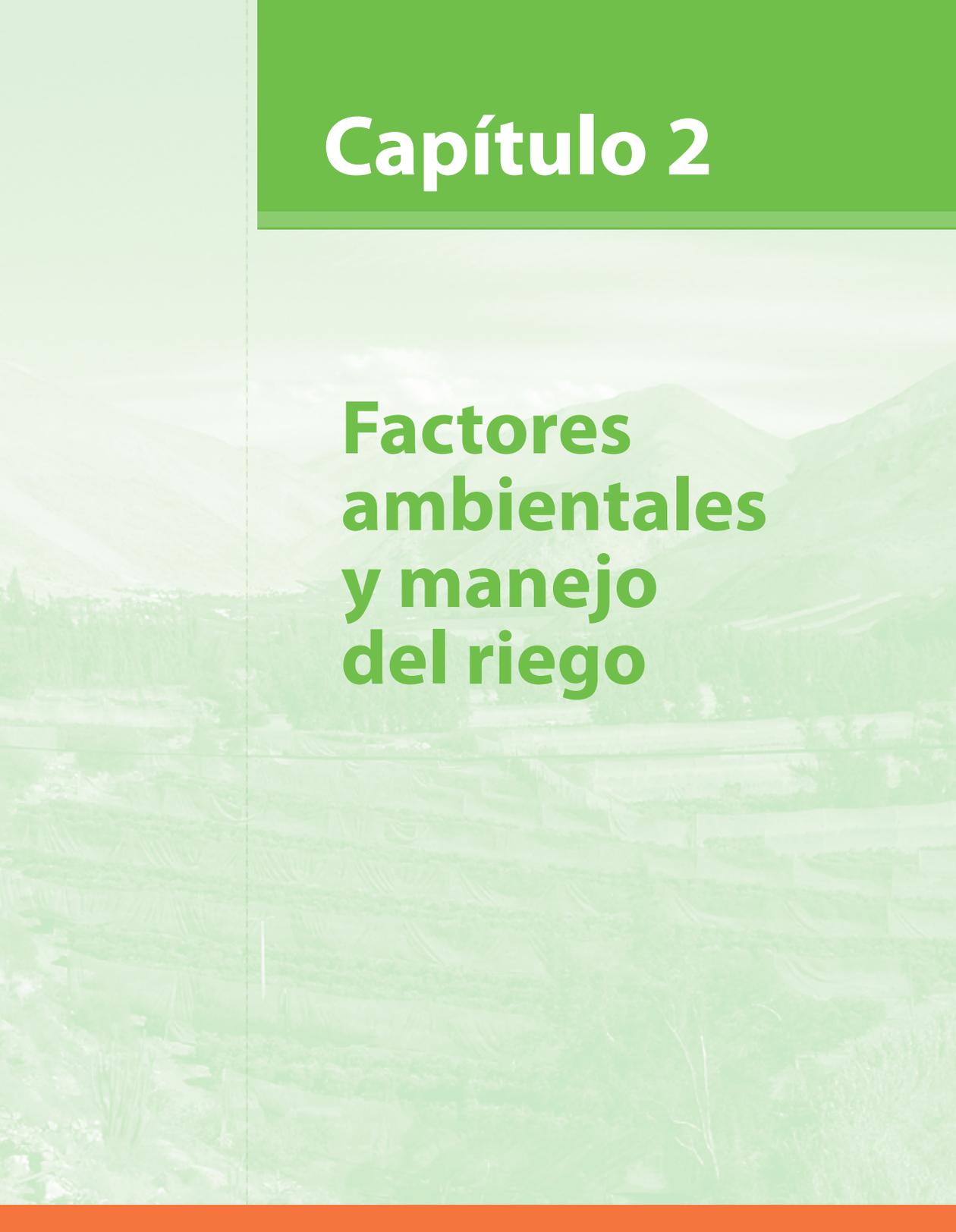
Con los antecedentes antes indicados, éstas dos especies, paltos y mandarinos, se incluyeron en las investigaciones del proyecto “Sistema Interactivo de Apoyo al Riego, SIAR Limarí”, que tuvo como uno de sus objetivos evaluar el comportamiento productivo de ellas, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y su relación con distintas tasas de riego.

En este Boletín, se dan a conocer los resultados obtenidos en dichas investigaciones en riego realizadas en Mandarinos de la variedad **Clemenule** y Paltos variedad **Hass**, en el Valle del Río Limarí, Provincia de Limarí, Región de Coquimbo (30°35`S, 71°11`O); durante el período 2006-2009. Además se pretende que estos resultados sirvan de referencia para el manejo del riego en huertos de las dos especies estudiadas, considerando la variabilidad que presentaron los ensayos y que reflejaron las condiciones distintas de suelo y de manejo en general.

El proyecto indicado se desarrolló con financiamiento de INNOVA CORFO y el apoyo de la Junta de Vigilancia del Río Grande, Limarí y sus Afluentes, de la Asociación de Canalistas del Canal Camarico y de la Asociación de Canalistas del Canal Palqui, Maurat, Semita.

# Capítulo 2

## Factores ambientales y manejo del riego

The background image is a landscape photograph with a green color overlay. It shows a valley with terraced agricultural fields in the foreground, a small town or village in the middle ground, and large mountains in the background under a cloudy sky.



## Factores ambientales y manejo del riego

### 2.1.- Efecto de los factores edafo-climáticos sobre el comportamiento de mandarino y palto

El clima es un factor crítico en el desarrollo del mandarino, siendo la temperatura la variable climática más importante en su comportamiento vegetativo y productivo. Las temperaturas entre 25°C a 30°C se consideran óptimas para la actividad fotosintética y buen desarrollo de la planta; por otro lado, las temperaturas de 35°C o superiores producen una reducción en la tasa fotosintética, causando un menor crecimiento en los brotes del árbol.

La temperatura también afecta el desarrollo de la fruta, condicionando el tamaño. El máximo crecimiento se produce con temperaturas combinadas, día/noche, entre 20°C y 25°C. Pero si ellas superan los 30°C, el crecimiento del fruto es menor.

Además, la temperatura es el factor más influyente en el contenido de sólidos solubles totales (SST) y en la acidez (Ac). En general, los frutos de zonas cálidas poseen concentraciones más elevadas de SST y una mayor relación SST/Ac que en las regiones frías. Esto se explica porque en las zonas cálidas, las altas temperaturas comienzan antes que en las zonas frías, produciendo de esta forma una maduración más temprana y con mejores índices de calidad.

Otro factor climático que afecta el desarrollo de los mandarinos es la humedad relativa (HR). Si bien, estos cítricos se adaptan bien a diferentes valores de HR, se pueden generar problemas en zonas de baja humedad ambiental. En particular descensos bruscos de HR provocan una severa caída de frutos durante su primera etapa de desarrollo. Por otro lado, el color de los frutos es sensible a la HR y la pigmentación es mayor en condiciones de elevada humedad, produciendo frutos más coloridos.

Los mandarinos pueden crecer bajo condiciones de suelo muy diferentes, desde suelos pedregosos hasta suelos arcillosos y pesados (Agustí, 2003). Sin embargo, el desarrollo óptimo se presenta en suelos francos y en los arenosos profundos. Por otro lado, los suelos impermeables y muy arcillosos dificultan su crecimiento, sobre todo cuando la proporción de arcilla es superior al 50%, viéndose seriamente restringido el crecimiento de las raíces.

Por otro lado, el palto, también de hoja persistente, ve afectada su distribución geográfica por cambios climáticos, principalmente temperaturas bajas (heladas) que podrían ocasionar la muerte de un huerto, según la intensidad y la duración. La variedad Hass, de raza guatemalteca, resiste hasta -1,1° C (Gardiazabal, 1990.); sin embargo el daño varía con la etapa fenológica en que se encuentre el cultivo. Si se presentan en floración se reduce considerablemente la cuaja.

El viento es otro factor a considerar ya que provoca russet y caída de frutos, rotura y desganche de ramas; además, un viento excesivo ejerce un efecto negativo sobre la actividad polinizante de las abejas.

En cuanto al suelo, el punto esencial es el drenaje, un buen drenaje del suelo evita asfixia



radicular y enfermedades a la raíz, como *Phytophthora spp* (Gil Salaya, 1997). Por otro lado se indica que para el cultivo del palto se requiere una profundidad de 1 a 1,2 m de suelo libre de napa freática, "hardpan" u otro impedimento que dificulte o impida el normal desarrollo de las raíces (Gardiazabal, 1990). También este autor señala que esta especie requiere suelos preferentemente de texturas francas a arenosas.

Finalmente, el pH de suelo más apropiado para el palto es ligeramente ácido (cercano a 6), un exceso de carbonatos en el suelo motiva la aparición de carencias foliares de elementos como fierro, zinc y manganeso. Se recomienda suelos de pH 5,5 a 8, con salinidad menor a 2 milimhos/cm, una relación de adsorción de sodio (RAS) y un porcentaje de sodio intercambiable menor a 5.

### Requerimientos hídricos

La implementación de métodos de riego más eficientes en la aplicación de agua, como el riego por goteo o el uso de micro-aspersión, han hecho que la planta reciba de una manera más oportuna y directa el agua que requiere para suplir sus requerimientos. Datos aportados por CIREN (2011), indican que el 99% de la superficie regional de mandarinos utiliza riego por goteo; logrando una mayor eficiencia en la entrega de agua, comparado con sistemas de riego tradicionales.

Los mandarinos se caracterizan por ser capaces de soportar períodos prolongados de sequía, debido a la adaptación de las raíces a suelos con baja humedad ya que sus hojas están bien adaptadas para conservar el agua, aunque con diferencias según su edad.

A pesar de esta característica, el manejo del agua de riego se presenta como un factor relevante para la obtención de cosechas elevadas de fruta de alta calidad. El riego reduce la caída fisiológica de frutos y aumenta su tamaño final. Pero también reduce el contenido de sólidos solubles totales y la acidez libre a través de un proceso de dilución, al aumentar el contenido de jugo en los frutos.

El palto, por otra parte, posee un sistema radicular ineficiente en la absorción de agua. Si bien se puede extender hasta 150 cm de profundidad, la mayor cantidad de raíces absorbentes se encuentran entre los 0 y los 60 cm. Gardiazabal (2004) indica que estudios realizados en Israel, demostraron que altos volúmenes de riego, cercanos a 11.000 m<sup>3</sup>/ha, presentaban 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 con menores volúmenes. Sin embargo, excesivas cantidades de agua pueden llevar a crecimiento excesivo y reducción de la producción, por sombreamiento y entrecruzamiento de ramas (Teliz y Mora, 2007), además de favorecer el decaimiento causado por *Phytophthora spp*.

Los paltos pueden ser regados con baja frecuencia de riego, optimizando con esto la relación agua aire en los suelos de textura fina. Sin embargo, es necesario que esta frecuencia se determine de acuerdo a la retención de humedad del suelo, utilizando un umbral de riego entre un 30 a 40% (o sea, agotar, antes de regar, como máximo un 30 a 40% de la humedad aprovechable del suelo) (Ferreira et al, 2011).

En esta especie existen dos períodos donde el riego es crítico, el primero corresponde a la floración y etapa inicial de crecimiento de frutos. Debido al aumento de la transpiración, por la presencia de estructuras florales, un estrés en este período limita el potencial de cuaja de la fruta y su posterior retención. El segundo período crítico está dado por la fase de rápido crecimiento de los frutos. Un riego eficiente en este período reduce la caída de los frutos e incrementa el tamaño final de los mismos (Gardiazabal, 2004).

En función de lo anterior, una buena planificación de riego es importante para lograr una producción alta y de calidad. Sobre todo en climas áridos como en la región de Coquimbo, donde el período sin lluvias es extenso y coincide con las épocas donde se presentan las mayores tasas de demanda hídrica en estas dos especies frutales.

## 2.2.- Factores asociados directamente a la Programación de Riego

Al planificar y ejecutar la actividad de riego localizado en un huerto, el operador del sistema tiene a disposición una serie de elementos físicos como: reservorio de agua, equipo de bombeo, red de tuberías por donde se distribuye el agua y finalmente goteros o microaspersores.

Estos elementos, bajo ciertos criterios de operación, son utilizados para regular la entrega de agua al suelo, con el propósito de que ésta sea absorbida por las plantas. Además, la oferta hídrica se basa en el conocimiento que tiene el operador sobre los aspectos técnicos, como también, en el apoyo de algunos dispositivos tecnológicos, como la bandeja de evaporación o el uso de estaciones agrometeorológicas.

Cualquiera que sea el criterio utilizado, el agua aportada al suelo depende del número total de emisores en la superficie cultivada, del caudal que entregan los emisores y del tiempo que éstos estén funcionando. Por lo tanto el Volumen de Agua Aplicado (VAA) se define como:

$$VAA = Ng \times Qg \times TR$$

Donde:

VAA = Volumen de agua aplicado a la unidad de superficie

Ng = Número de emisores por unidad de superficie

Qg = Caudal real del emisor

TR = Tiempo de riego o de operación del sistema.

Como el número de emisores está predefinido, según el diseño del sistema de riego, y el caudal del emisor está determinado en función de los requerimientos del proyecto, es el tiempo de riego, en definitiva, la única variable que el operador puede modificar para hacer variar el volumen de agua aplicado al suelo, dada una frecuencia de aplicación predefinida.

La determinación del Tiempo de Riego (TR) se genera en base a la relación entre las demandas de agua del cultivo y los aportes que se realizan a través del sistema de riego en un tiempo determinado:



$$\text{TR} = \text{Demandas/Aportes (horas)}$$

Donde

$$\text{Demandas} = (\text{ETo} \times \text{Kc} \times \text{Au} \times \text{FS}) / \text{Ef}$$

$$\text{Aportes (por hora)} = \text{Ng} \times \text{Qg}$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de Referencia en mm

Kc = Coeficiente del cultivo

Au = Área unitaria de manejo

FS = Factor de sombreado (% sombreado/100)

Ef = Eficiencia de aplicación del agua en decimal

Ng = Número de goteros (emisores) en el área unitaria de manejo (Au)

Qg = Caudal del emisor en una hora.

De lo cual se desprende que:

$$\text{TR} = ((\text{ETo} \times \text{Kc} \times \text{Au} \times \text{FS}) / \text{Ef}) / (\text{Ng} \times \text{Qg})$$

Donde (Ng x Qg) es el Volumen de Agua Aplicado o Aportado en la unidad de Tiempo y donde ((ETo x Kc x Au x FS) / Ef) es el Volumen de Agua Estimado que necesita el cultivo. A continuación un ejemplo de cálculo.

## Ejemplo 1.-

Para obtener el Tiempo de Riego (TR), que se debe utilizar en cada ocasión es necesario saber que:

TR= Demandas /Aportes

En un cultivo de paltos sin cobertura de suelo, en la época máxima de demanda, FAO indica un Kc de 0,85. Si la demanda atmosférica (ETo) acumulada\* es de 12 mm, se tiene un porcentaje de sombreado de 78% y se asume una eficiencia de riego de 80%, el volumen demandado en una hectárea correspondería a:

$$\begin{aligned}\text{Demandas} &= (\text{ETo} \times \text{Kc} \times \text{Au} \times \text{FS}) / \text{Ef} \\ &= (12 \text{ mm} \times 0,85 \times 1 \text{ ha} \times 0,78) / 0,80 \\ &= 9,945 \text{ mm/ha} \\ &= 99,45 \text{ m}^3/\text{ha}\end{aligned}$$

Si las hileras de árboles se encuentran a 6 m, cada hilera cuenta con dos líneas de emisores y estos se ubican a 1 m de distancia entre ellos, el número de emisores en una hectárea es igual a

$$\begin{aligned}\text{Ng} &= 10.000 \text{ m}^2 / (6 \text{ m} \times 1 \text{ m}) \\ &= 1.667 \text{ goteros /línea} \\ &= 1.667 \times 2 \text{ líneas de goteros} \\ &= 3.333 \text{ goteros}\end{aligned}$$

Si en promedio el Caudal real de los goteros es de 3,86 L/h, el total de aportes en una hectárea será:

$$\begin{aligned}\text{Aportes} &= 3.333 \text{ got/ha} \times 3,86 \text{ L/h} \\ &= 12.865 \text{ L/h} \\ &= 12,87 \text{ m}^3/\text{ha/h}\end{aligned}$$

**Por lo tanto el tiempo de riego en este caso es:**

$$\begin{aligned}\text{TR} &= (99,45 \text{ m}^3/\text{ha}) / (12,87 \text{ m}^3/\text{ha/h}) \\ \text{TR} &= 7,73 \text{ h} \\ \text{TR} &= 7 \text{ horas y } 44 \text{ minutos.}\end{aligned}$$

\*ETo acumulada: siempre y cuando se haya planificado regar cada dos o más días. En caso contrario se utiliza la ETo diaria.

Si bien, el cómo se aplica el agua es importante a la hora de programar el riego, la aplicación sólo responde a necesidades hídricas de las plantas. Estimar los volúmenes de agua requeridos por el cultivo, para una determinada unidad de tiempo (día, semana, mes), es uno de los aspectos que ofrece cierta dificultad en el manejo del riego a nivel de parcelas; dado que muchas veces no se cuenta con información local, produciéndose de esta forma un mal uso de criterios técnicos por una falta de antecedentes.



Entre los criterios o información técnica de apoyo que normalmente debiera disponerse, está la **Evapotranspiración de Referencia (ETo)**, también conocida como Evapotranspiración Potencial (ETP). La cual puede ser estimada a través de diferentes modelos, más o menos complejos; y a partir de ella, utilizando el Coeficiente del Cultivo (Kc), determinar la **Evapotranspiración del Cultivo (ETc)** propiamente tal; según la siguiente relación:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo en mm

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm.

Kc = Coeficiente del cultivo

La literatura entrega información acerca de los valores de Kc para diferentes cultivos, entre ellos mandarino y palto (Allen et al, 2006), pero no siempre estos números se ajustan a condiciones locales. Por esta razón, es necesario disponer de antecedentes generados en diferentes zonas, condiciones climáticas y de cultivo, como son los que se entregan en este Boletín, para el Valle del Limarí.

Teniendo definido el Volumen de Agua Aplicado (VAA) en la temporada, producto del funcionamiento del sistema de riego y determinada la ETo para una localidad en particular, es posible calcular el **Coeficiente de Cultivo, Kc** para dicha localidad, de la siguiente forma:

$$Kc = [VAA / ETo] \times [Ef / (AU \times FS)]$$

Sin embargo, existen otros dos factores que se deben estimar y que influyen en el cálculo de Kc; ellos son el Coeficiente reductor por porcentaje de cobertura o Factor de Sombreamiento y la Eficiencia de Riego; los cuales se analizan a continuación.

En el caso de huertos frutales, como los de mandarino o paltos, no toda la superficie del huerto está cubierta por el follaje del árbol; por lo que el volumen de agua a aplicar debe ser afectado por un factor que defina tal condición y que se denomina **Coeficiente reductor por porcentaje de cobertura**. Esto permite reducir el volumen de agua calculado preliminarmente, relacionando el tamaño de la copa del árbol con el área asignada; el que se conoce como **Factor de Sombreamiento (FS)**, definido de la siguiente forma:

$$FS = AS / AA$$

Donde

FS = Factor de sombreadamiento

AS = Área sombreada a mediodía en la unidad de superficie considerada (m<sup>2</sup>)

AA = Área asignada a la unidad considerada (m<sup>2</sup>) (marco de plantación)

El área sombreada se determinó, en esta investigación, efectuando mediciones de diámetros de copa de los árboles y calculando la superficie proyectada sobre el suelo, a medio día. Tal antecedente fue relacionado con el área asignada a cada planta o marco de plantación.

Otro factor o criterio muy importante a considerar por el operador, para manejar el riego, es el conocimiento que debe tener sobre el nivel de eficiencia con que está regando. Este factor normalmente se confunde con la uniformidad de emisión de los emisores (goteros o microaspersores), que refleja la mayor o menor variación con que entregan el agua los emisores al área a regar, lo cual se evalúa a través del Coeficiente de Uniformidad (CU).

Si bien es cierto, una mayor uniformidad de emisión de los emisores es un punto a favor, la Eficiencia de Riego (Ef) debe entenderse o definirse como aquella fracción de agua que queda disponible para las plantas, en relación al agua aplicada a través del riego. Puede darse el caso que se tenga altos valores de CU y se apliquen altos tiempos de riego en un suelo muy permeable o arenoso; lo que provoca un alto porcentaje de percolación profunda, bajo la zona de raíces. Evidentemente, en dicho caso la eficiencia es baja, respecto de la aplicación de agua. En términos generales la **Eficiencia de Riego (Ef)** o Eficiencia de Aplicación (Efa) se expresa de la manera siguiente:

$$Efa = (VAzr / VAA) \times 100$$

Donde:

Efa = Eficiencia de aplicación en %

VAzr = Volumen de agua almacenado en la zona de raíces en mm o m<sup>3</sup>

VAA = Volumen de agua aplicado en el riego en mm o m<sup>3</sup>

### 2.3.- Indicadores de Eficiencia en el Uso de Agua

La Eficiencia agronómica de Uso del Agua es la relación entre la producción, expresada como el rendimiento obtenido por hectárea y la cantidad de agua aplicada en la misma superficie, como se muestra a continuación:

$$EUA \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{kg de fruta producida} / \text{m}^3 \text{ de agua aplicada en la temporada}$$

Inversamente es posible calcular el Agua Aplicada por Unidad de Producto (AAUP) que expresa el consumo de agua por kilogramo de fruta producida, y se obtiene de la siguiente forma:

$$AAUP \text{ (L/kg)} = \text{m}^3 \text{ de agua aplicada en la temporada} / \text{tonelada de fruta producida}$$

Ambas relaciones son indicadores de la productividad del agua en el cultivo y permiten cuantificar los beneficios obtenidos por unidad de agua utilizada. Estos valores varían tanto con la eficiencia que se logra en la utilización del agua de riego, como con la producción que es posible obtener en una explotación. Cualquier mejora en uno de estos dos parámetros aumenta la productividad del agua.



A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de estos indicadores de eficiencia del Uso del Agua (ejemplo 2).

### Ejemplo 2.-

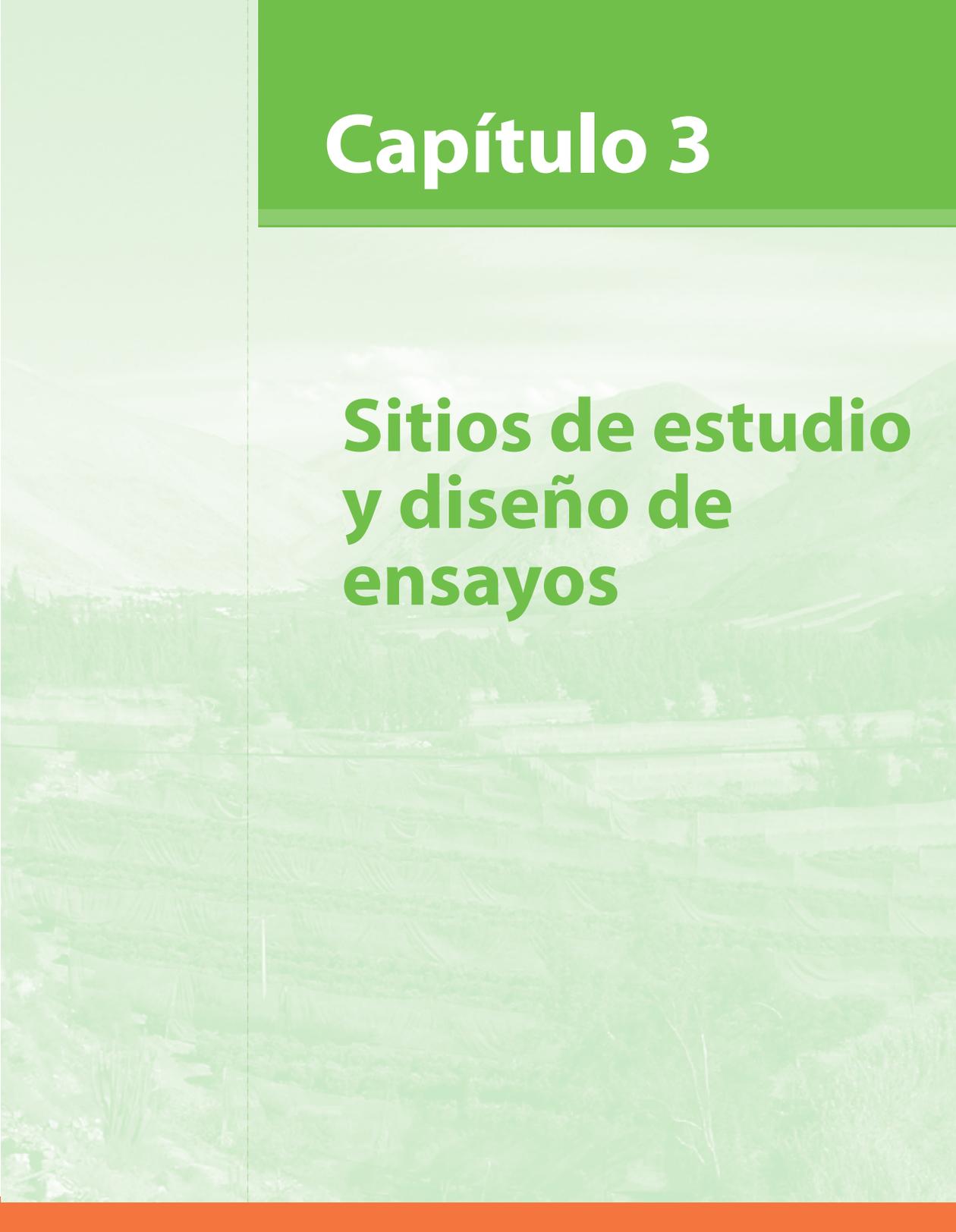
En un huerto de mandarinos, cuyo rendimiento es de 35 t/ha, se aplican en la temporada 8.500 m<sup>3</sup>/ha.

$$\begin{aligned} \text{EUA} &= 35.000 \text{ kg} / 8500 \text{ m}^3 \\ &= 4,12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AAUP} &= 8.500 \text{ m}^3 / 35 \text{ t} \\ &= 243 \text{ L/kg} \end{aligned}$$

# Capítulo 3

## Sitios de estudio y diseño de ensayos





## Sitios de estudio y diseño de ensayos

El estudio en mandarinos y paltos se llevó a cabo en tres localidades del Valle del río Limarí, dando origen a un total de 6 ensayos, 3 de cada especie; con el objetivo de evaluar el comportamiento productivo de mandarino, variedad Clemenule y palto, variedad Hass, en diferentes condiciones edafoclimáticas y su relación con distintas tasas de riego o volúmenes de agua aplicados (VAA).

En cada localidad se realizó un monitoreo a tres tratamientos de riego, durante 1, 2 ó 3 temporadas. Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

**T1:** 100% del volumen de agua utilizado por el productor.

**T2:** 75% del volumen de agua utilizado por el productor.

**T3:** 50% del volumen de agua utilizado por el productor.

**T4:** 100% del volumen de agua utilizado por el productor y 50% en período de crecimiento de fruto.

En uno de los ensayos de paltos, en la localidad de Tabalí, se instalaron sólo los tratamientos extremos, T1 y T3.

Los tratamientos utilizados se distribuyeron en bloques completamente al azar (BCA) con 5 repeticiones, como se muestra en la Figura 2.

Los ensayos se ubicaron en predios de agricultores, los cuales facilitaron un sector de sus huertos para la instalación de éstos. Además, se contó con toda la información sobre el manejo del cultivo y para cada ensayo se identificó y caracterizó las diferentes condiciones de suelo, de clima y de manejo del riego.

Los 6 sitios de estudio del proyecto presentaban diferentes condiciones edafoclimáticas y cumplían con los siguientes criterios establecidos:

- El huerto a evaluar estuviese ubicado dentro de la zona de influencia del proyecto, cuenca del Limarí.
- La explotación estuviese localizada en una unidad climática representativa de la zona.
- Los predios tuvieran una estación meteorológica automática o bien, que este equipo estuviera en un predio cercano o que el productor se comprometiera a adquirirlo e instalarlo en las condiciones estandarizadas.
- El huerto seleccionado tuviese plantas en plena producción, con buen estado sanitario y con adecuados niveles productivos.

Dentro de cada huerto se seleccionó un sector que tuviera plantas de desarrollo y crecimiento homogéneo, que contara con información de producciones anteriores, que se encontrara en el óptimo productivo, y que se ubicara en el sector medio del cuartel, para evitar efecto borde.



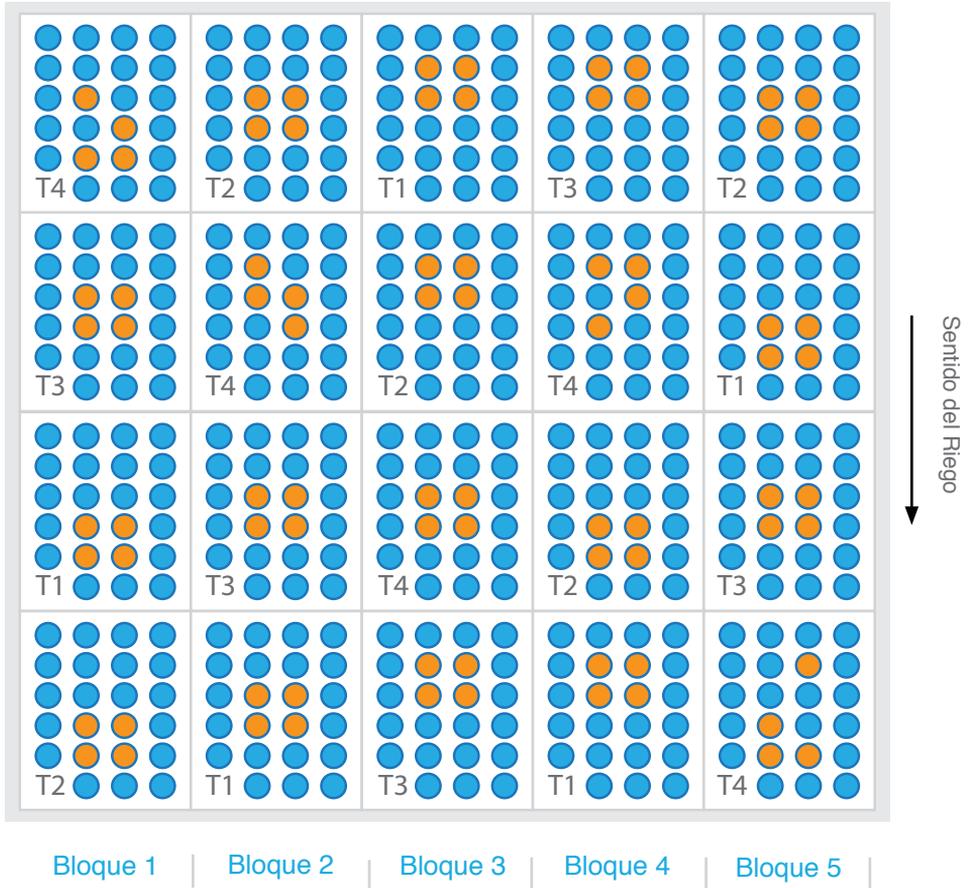


Figura 2: Distribución de tratamientos y repeticiones (bloques) en los ensayos.

# Capítulo 4

## Mandarino (*Citrus reticulata* Blanco)





## Mandarino (*Citrus reticulata* Blanco)

### 4.1.- Implementación de los sitios de estudio

El estudio en la especie mandarino se realizó entre los años 2006 y 2009, en tres localidades del Valle del Limarí. En la parte alta del valle se establecieron dos ensayos: uno en el sector de El Palqui y otro en el sector de Chilecito, aguas arriba del poblado de Juntas de Carén y en la parte baja se estableció un ensayo en el sector de Camarico, al sur poniente de Ovalle (Figura 3).



Figura 3: Ubicación de los ensayos de mandarinos en la Provincia de Limarí.

Los sectores de El Palqui y Chilecito, se encuentran dentro del Agroclima Ovalle, de interior del valle, presentando una mayor oscilación térmica diaria, temperatura media diaria anual



de 16,6 °C y una precipitación anual de 125,7 mm. En cambio, el sector de Camarico presenta Agroclima La Serena, característico de la parte baja del valle, con influencia marina, temperatura media anual de 13,5 °C y una precipitación anual de 104,4 mm. (Novoa y Villaseca, 1989). El mismo autor señala que ambos agroclimas pertenecen a un Clima Mediterráneo subtropical semiárido.

Todos los predios se encontraban en plena producción y bajo prácticas agronómicas adecuadas. El sistema de riego presentó en todos los casos valores de coeficiente de uniformidad (CU) sobre el 80%, antes de iniciar el ensayo, que es un valor aceptable (Cuenca, 1989), especialmente si se trata de equipos con algunos años de operación. Otras características se muestran a continuación:

Cuadro 1: Características de los sitios de estudio de Mandarino.

ANTECEDENTES	EL PALQUI	CHILECITO	CAMARICO
<b>Propietario</b>	Soc. Agrícola Uniagri Ovalle Ltda. Santa Rosa	Sociedad Agrícola Rafael Prohens y Cia. Ltda. Carreton	Sociedad Agrícola UAC La Granja
<b>Localidad</b>	El Palqui	Chilecito	Camarico
<b>Comuna</b>	Monte Patria	Monte Patria	Ovalle
<b>Coordenadas geográficas</b>	30° 44' 31'' 70° 54' 02''	30° 44' 33'' 70° 52' 16''	30° 46' 09'' 71° 20' 03''
<b>Año de plantación</b>	1992	2002	1994
<b>Fecha inicio ensayos</b>	Julio del 2006	Mayo del 2007	Abril del 2007
<b>Portainjerto</b>	Carrizo	Carrizo	Carrizo
<b>Sistema de riego</b>	goteo	goteo	goteo
<b>ETo anual (CNR)*</b>	16.860 m <sup>3</sup> /ha	17.492 m <sup>3</sup> /ha.	12.791 m <sup>3</sup> /ha.
<b>Estación Meteorológica Automática (EMA)</b>	Campbell, Modelo CR 1.000	Davis, Modelo Vantage	Campbell, Modelo CR 1.000

\*CNR, Comisión Nacional de Riego (Ciren-CNR, 1997)

El suelo de El Palqui corresponde a una depositación de material coluvial, de textura arcillosa, con presencia de piedras. Este suelo presenta problemas en el movimiento de

agua y aire, por lo que muestra algunas restricciones al desarrollo vegetal; lo cual puede generar estrés hídrico a los cultivos plantados en él.

El suelo de Chilecito es de textura franco arcillosa en superficie y se vuelve más arcilloso en profundidad, mostrando signos de compactación. Es un suelo de profundidad media; encontrándose en el perfil desde 50% de pedregosidad hasta los 35 cm y 20% entre 55 y 100 cm. Es un suelo con limitaciones para el desarrollo de raíces y con una alta capacidad de retención de agua.

En Camarico el suelo es de textura arcillosa, con altos valores de arcilla (50%). Corresponde a la Serie Oro Blanco, aunque en este caso puede ser una fase intermedia entre esta serie y la Serie San Julián. Este suelo presenta un tipo de arcillas expandibles, lo que le da una dinámica al movimiento de agua en el perfil, altamente dependiente del contenido de agua del mismo.

En las Figuras 4, 5 y 6, se presenta gráficamente la demanda atmosférica mensual, definida como Evapotranspiración potencial o de referencia (ET<sub>o</sub>) y el aporte mensual de riego, en la temporada previa a la instalación del ensayo (ambas variables están expresadas en m<sup>3</sup>/ha/mes). Es importante mencionar que la demanda fue obtenida de datos de CIREN-CNR, 1997. En ellas se puede observar que en la mayoría de los meses, el agua aplicada es inferior a la demanda atmosférica, siendo la excepción los meses de mayo y junio, sólo en El Palqui, donde dicha demanda es algo menor al agua aplicada.

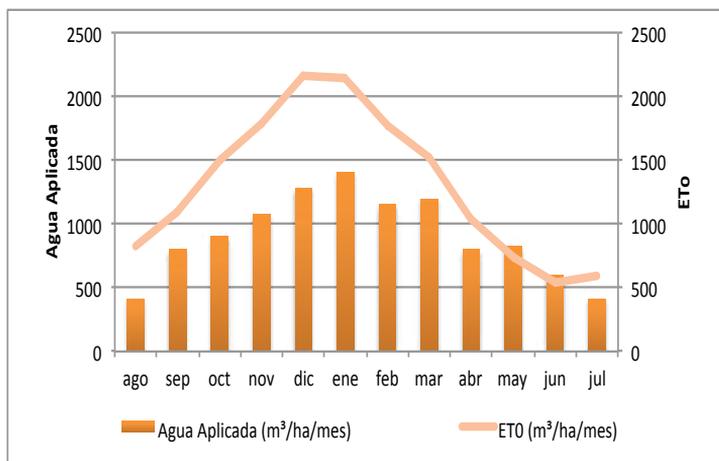


Figura 4. Comparación entre la ET<sub>o</sub> (demanda) y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2005/2006. Santa Rosa, El Palqui.



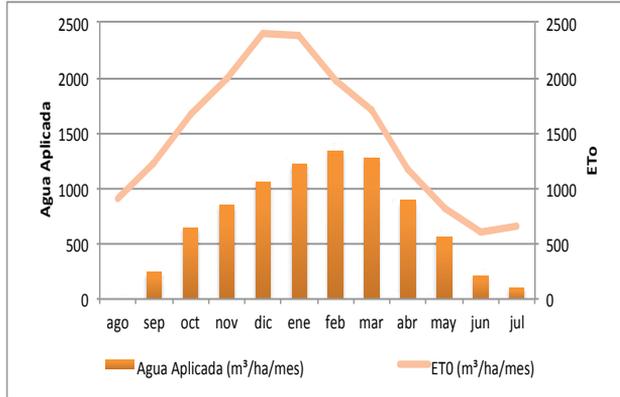


Figura 5. Comparación entre la ETO (demanda) y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2006/2007. Carretón, Chilecito.

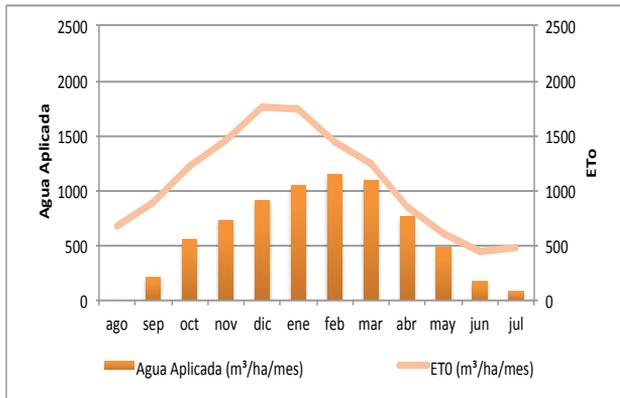


Figura 6. Comparación entre la ETO (demanda) y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2006/2007. La Granja, Camarico.

## 4.2.- Condiciones de Riego

En este punto se entregan antecedentes respecto de los diferentes factores relacionados con la entrega de agua al cultivo y que permiten, posteriormente explicarse los resultados productivos.

### 4.2.1.- Volúmenes de agua aplicados (VAA)

En relación a este factor, el cual esta fuertemente influenciado por las características del huerto y el sistema de riego, en el Cuadro 2 se presentan, para cada sector, las características del huerto y del sistema de riego.

Cuadro 2: Antecedentes de la plantación y del riego en los tres ensayos.

Antecedentes	El Palqui	Chilecito	Camarico
Marco de plantación (m x m)	6,0 x 2,0	5,5 x 3,0	5,5 x 3,5
Densidad de plantas (plantas/ha)	833,33	606,06	519,48
Laterales por hilera	2,00	1,00	1,00
Espaciamiento de emisores (m)	1,00	0,75	1,00
Emisores por planta	4,00	4,00	3,50
Emisores por hectárea	3.333	2.424	1.818

En los tres ensayos la situación fue distinta en cuanto a marco de plantación, generando diferentes densidades de plantas por hectárea. En dos sectores solamente se utiliza una línea lateral por hilera de plantas y en un sector se usan 2 laterales. Esto condiciona el número de emisores por planta y hectárea, más aún, si las distancias entre emisores son diferentes. En definitiva en el sector de El Palqui, prácticamente se utiliza el doble de emisores por hectárea que en el predio ubicado en Camarico.

Lo anterior, además de las condiciones locales de suelo, implica un manejo diferente del agua en cada predio; dependiendo también, del caudal real que entreguen los emisores. Tal información, para cada sector, se presenta en el Cuadro 3; incluyéndose en cada caso los antecedentes de los tratamientos ensayados, que corresponden a: T1 (riego del productor), T2 (75% del riego del productor), T3 (50% del riego del productor) y T4 (100% del riego del productor y 50% en período de crecimiento de fruto).



Cuadro 3: Caudales de los emisores (L/h) según localidad, tratamiento y temporada, de acuerdo a las condiciones de riego en cada ensayo.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Caudales Nominales estimados *	4,00	3,00	2,00	4,00
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2006-2007	4,46	3,05	2,04	4,50
Temporada 2007-2008	4,46	3,04	2,07	4,41
Temporada 2008-2009	4,85	3,18	2,34	4,05
<b>Promedios</b>	<b>4,59</b>	<b>3,09</b>	<b>2,15</b>	<b>4,32</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007-2008	4,02	3,23	1,66	4,27
Temporada 2008-2009	4,50	3,10	1,80	4,50
<b>Promedios</b>	<b>4,26</b>	<b>3,17</b>	<b>1,73</b>	<b>4,39</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	4,39	2,59	1,50	4,36
Temporada 2008-2009	5,90	2,70	1,50	5,70
<b>Promedios</b>	<b>5,15</b>	<b>2,65</b>	<b>1,50</b>	<b>5,03</b>

\*Caudales entregados por el fabricante

Como se puede apreciar en el Cuadro 3, existen importantes variaciones en los valores de caudal que entregaron los emisores en las diferentes temporadas y también respecto al caudal nominal del emisor, entregado por el fabricante; lo cual está indicando que al momento de hacer los cálculos de volumen de agua aplicado, el resultado variará en mayor o menor grado respecto al volumen nominal que en teoría se estaría aplicando.

En el Cuadro 4 se presentan los valores de coeficiente de uniformidad registrados en las diferentes temporadas y tratamientos en los ensayos. Ellos son cercanos a 90%, nivel superior al mínimo exigible en proyectos de riego. Sin embargo, existen variaciones en las distintas temporadas y tratamientos, lo cual refleja lo variable del sistema y las precauciones que deben tomarse en la mantención del mismo.

Cuadro 4: Coeficientes de Uniformidad (CU) de los emisores (%), en los diferentes sectores, tratamientos y temporadas.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2006-2007	92,81	90,51	90,79	94,12
Temporada 2007-2008	89,00	89,68	87,12	91,83
Temporada 2008-2009	83,77	86,57	85,87	89,23
<b>Promedios</b>	<b>88,53</b>	<b>88,92</b>	<b>87,93</b>	<b>91,73</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007-2008	86,44	96,25	91,30	94,53
Temporada 2008-2009	75,60	95,80	89,40	88,50
<b>Promedios</b>	<b>81,02</b>	<b>96,03</b>	<b>90,35</b>	<b>91,52</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	95,08	91,90	84,40	92,59
Temporada 2008-2009	94,60	96,20	86,80	94,00
<b>Promedios</b>	<b>94,84</b>	<b>94,05</b>	<b>85,60</b>	<b>93,30</b>

Respecto a Tiempos de Riego, en el Cuadro 5 se presentan los registros de los 3 sitios experimentales, en los diferentes tratamientos y temporadas de monitoreo de los ensayos.

Se puede apreciar diferencias importantes entre sitios experimentales y en cada caso diferencias entre temporadas, lo cual sería explicable por las distintas condiciones ambientales de cada sector, clima y suelo, y la variabilidad climática entre temporadas. Llama la atención, sin embargo, los mayores valores de tiempos de riego utilizados en los sectores de Chilecito y Camarico, respecto de El Palqui. Tal situación se explicaría por el menor número de goteros por hectárea que presentan estos sectores, lo que obligaría a utilizar mayores tiempos de riego para suplir la demanda del cultivo, ya que los caudales de los emisores son similares.



Cuadro 5: Tiempos de Riego (horas) en los diferentes sitios experimentales y temporadas.

Temporadas	El Palqui	Chilecito	Camarico
Temporada 2006-2007	807	sr	sr
Temporada 2007-2008	574	933	927
Temporada 2008-2009	572	1.105	888
<b>Promedio</b>	<b>651</b>	<b>1.019</b>	<b>908</b>

sr: sin registros.

En definitiva, el número y caudal de emisores y el tiempo de riego utilizado determinan el Volumen de Agua Aplicado (VAA), tal como se refleja en el Cuadro 6; donde se presentan los datos de cada sector de ensayo, de cada tratamiento de riego y en las diferentes temporadas del estudio.

Cuadro 6: Volúmenes de Agua Aplicados (m<sup>3</sup>/ha) en los diferentes sectores, tratamientos y temporadas.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2006-2007	10.805	8.636	6.420	7.921
Temporada 2007-2008	8.534	5.804	3.968	7.120
Temporada 2008-2009	9.105	6.101	4.358	7.415
<b>Promedio</b>	<b>9.481</b>	<b>6.847</b>	<b>4.915</b>	<b>7.485</b>
<b>% de T1</b>	<b>100</b>	<b>72</b>	<b>52</b>	<b>79</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007-2008	10.220	8.272	4.231	9.095
Temporada 2008-2009	12.012	8.288	5.125	9.689
<b>Promedio</b>	<b>11.116</b>	<b>8.280</b>	<b>4.678</b>	<b>9.392</b>
<b>% de T1</b>	<b>100</b>	<b>74</b>	<b>42</b>	<b>84</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	7.972	4.568	3.165	6.652
Temporada 2008-2009	8.373	4.796	2.874	7.538
<b>Promedio</b>	<b>8.173</b>	<b>4.682</b>	<b>3.020</b>	<b>7.095</b>
<b>% de T1</b>	<b>100</b>	<b>57</b>	<b>37</b>	<b>87</b>

Del Cuadro anterior se desprende que a nivel de productor (T1), en el sector de Chilecito se aplicó sobre 11.000 m<sup>3</sup>/ha; superior a lo aplicado en los sectores de El Palqui y Camarico. Llama la atención, las diferencias que se producen entre temporadas en un mismo sector, especialmente en El Palqui, lo cual es atribuible a condiciones de manejo del riego.

Al calcular el promedio por cada tratamiento, se puede apreciar que, independientemente de los sectores de ensayo, se logró la aplicación de agua cercana a lo planificado originalmente (100%, 75% y 50%). A nivel de productor la aplicación fue muy cercana a los 10.000 m<sup>3</sup>/ha.

#### 4.2.2.- Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)

Geográficamente, los tres ensayos se localizaron en sectores diferentes desde el punto de vista climático; lo cual se refleja en el comportamiento de las variables meteorológicas como es el caso de la temperatura (Cuadro 7), humedad relativa, radiación solar, entre otras; las cuales también varían de un año a otro. Esto determina condiciones distintas de demanda atmosférica, representadas por los valores de Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) de los sitios y temporadas como se indica en el Cuadro 8; en el cual se presentan los valores obtenidos en cada Estación Meteorológica Automática (EMA) y se comparan con los entregados por la Comisión Nacional de Riego (CNR) (CIREN-CNR, 1997).

En relación a las temperaturas, llama la atención los altos valores registrados en el período octubre-mayo, en los tres sectores, donde las temperaturas máximas absolutas superan los 30° C, en varios meses. Por otro lado, en El Palqui y Camarico, se registran temperaturas inferiores a 0°C, en los meses de junio, julio y agosto, durante la temporada 2007-2008.

Respecto de la ET<sub>o</sub> mensual, se aprecian ciertas diferencias entre los valores reales registrados por las Estaciones Meteorológicas locales y los valores de la CNR; solamente en algunos meses; sin embargo, a nivel anual, los registros son bastante coincidentes, con diferencias cercanas al 15% (Cuadro 8).



Cuadro 7: Temperaturas medias y máximas y mínimas absolutas de los sitios de estudio (°C).

Meses	El Palqui			Chilecito			Camarico		
	T° máx. abs.	T° mín. abs.	T° media	T° máx. abs.	T° mín. abs.	T° media	T° máx. abs.	T° mín. abs.	T° media
ene-07	sr	sr	sr	sr	sr	sr	30,9	15,3	19,6
feb-07	sr	sr	sr	sr	sr	sr	30,4	10,1	18,4
mar-07	sr	sr	sr	sr	sr	sr	29,2	6,2	16,6
abr-07	31,2	5,1	18,7	sr	sr	sr	29,1	3,1	14,4
may-07	27,3	4,1	12,7	sr	sr	sr	25,0	0,6	11,4
jun-07	24,3	-3,2	10,6	sr	sr	sr	21,0	-1,2	9,0
jul-07	28,7	-0,8	12,1	sr	sr	sr	29,4	-3,9	9,9
ago-07	28,2	-0,2	10,3	27,2	0,1	10,2	27,2	-2,2	9,1
sep-07	28,2	3,8	12,8	30,2	2,4	12,5	24,4	1,3	10,8
oct-07	34,4	5,4	16,0	35,8	5,1	16,2	sr	sr	sr
nov-07	37,6	6,1	18,2	37,8	6,7	18,6	sr	sr	sr
dic-07	33,2	10,0	19,2	34,1	8,4	19,6	31,1	7,0	16,9
ene-08	32,7	12,4	21,2	33,6	11,0	21,6	31,2	10,2	19,0
feb-08	32,8	12,1	21,4	33,9	11,5	21,5	30,1	10,5	19,4
mar-08	31,8	10,1	20,2	33,3	8,4	20,0	30,4	6,9	17,7
abr-08	32,0	6,4	16,3	32,8	4,9	15,8	28,9	3,6	14,0
may-08	30,1	3,2	13,4	30,2	0,8	12,7	28,3	1,7	12,0
jun-08	27,3	2,2	11,5	27,8	0,3	10,6	24,0	0,0	10,1
jul-08	26,6	4,5	11,2	25,6	2,6	10,4	25,2	2,6	10,6
ago-08	30,1	3,0	13,2	30,8	2,9	12,6	29,4	1,5	11,4
sep-08	30,6	3,9	13,9	31,2	2,9	13,8	30,3	2,4	12,7
oct-08	29,9	4,8	15,8	31,3	4,4	15,9	27,2	4,0	14,0
nov-08	31,5	8,9	17,9	32,8	8,1	18,2	30,3	7,5	16,1
dic-08	32,1	11,1	20,1	33,6	9,9	20,1	29,8	9,7	18,3
<b>Prom.</b>	<b>30,5</b>	<b>5,4</b>	<b>15,6</b>	<b>31,9</b>	<b>5,3</b>	<b>15,9</b>	<b>28,3</b>	<b>4,4</b>	<b>14,1</b>

sr: sin registros

Cuadro 8: Valores de ETo (mm/mes) en los tres sectores de ensayo.

Mes	El Palqui			Chilecito			Camarico		
	CNR	2007/08	2008/09	CNR	2007/08	2008/09	CNR	2007/08	2008/09
Agosto	100	82	110	91	105	103	67	92	94
Septiembre	126	109	124	122	122	119	89	112	113
Octubre	162	151	160	166	156	150	123	123	142
Noviembre	179	180	170	200	170	164	146	172	153
Diciembre	189	217	190	240	181	179	176	167	173
Enero	197	214	195	238	181	219	174	177	161
Febrero	177	177	192	197	185	192	144	157	145
Marzo	167	153	175	170	162	175	124	147	131
Abril	124	105	101	117	153	168	85	110	93
Mayo	99	73	87	82	94	145	60	86	75
Junio	83	54	64	60	77	96	44	72	53
Julio	83	59	sr	66	79	sr	48	76	sr
<b>TOTAL</b>	<b>1.686</b>	<b>1.574</b>		<b>1.749</b>	<b>1.665</b>		<b>1.280</b>	<b>1.491</b>	

CNR: Comisión Nacional de Riego.

sr: sin registro

#### 4.2.3.- Eficiencia de riego (Ef)

Tal como se indicaba en punto anterior, la eficiencia con que se utiliza el sistema de riego es un concepto muy diferente a la uniformidad de emisión de goteros y/o microaspersores. En su determinación influyen significativamente las características del suelo y el sistema de raíces del cultivo.

Durante el desarrollo de los ensayos se efectuó un monitoreo frecuente de la humedad del suelo, utilizando una sonda de capacitancia (FDR) DIVINER 2000 y muestreo directo. En ambos casos se tuvo como referencia las constantes hídricas de cada suelo y cuyos antecedentes se presentan en el Cuadro 9.

Teniendo como base lo anterior, se efectuaron determinaciones de humedad gravimétrica en el perfil del suelo, de forma transversal a la hilera de plantación, como una forma de estimar la eficiencia de riego. Los indicadores de disponibilidad de agua obtenidos y referidos solamente a los Tratamientos T1 y T3, se presentan en el Cuadro 10 y en la Figura 7 (a, b y c), donde se puede apreciar la distribución del agua en el perfil de suelo, en los tres sectores.



Cuadro 9: Constantes hídricas de los suelos en los diferentes ensayos.

Variable	El Palqui	Chilecito	Camarico
Capacidad de Campo (C de C) (%)	21,83	15,8	23,48
Porcentaje de Marchitez Permanente (PMP) (%)	13,18	7,69	13,86
Humedad Aprovechable (HA) (%)	8,65	8,11	9,62
Densidad Aparente (Da) (gr/cm <sup>3</sup> )	1,05	1,06	1,16
Porosidad Total (%)	60,38	60,21	56,33
Textura	Arcillosa	Franco arcillosa a arcillosa	Arcillosa
Profundidad de Suelo (Z)(cm)	80	80	80
Profundidad de raíces (ZR)(cm)	50	50	50

Cuadro 10: Indicadores de disponibilidad de agua en el perfil\*.

Indicadores	El Palqui		Chilecito		Camarico	
	T1	T3	T1	T3	T1	T3
Eficiencia de almacenamiento (%)	100,00	80,89	100,00	90,6	94,05	80,52
Agua en Zona de raíces vs Agua en el perfil (%)	59,59	56,03	47,36	44,43	64,93	59,82
Agua Bajo Zona de raíces vs Agua en el perfil (%)	40,41	43,97	52,64	55,57	35,07	40,18

\* Valores calculados con volúmenes totales de 9.105 y 4.358 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y T3, respectivamente, en la localidad de El Palqui; en Chilecito 12.012 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y 5.125 en T3 y en Camarico 8.373 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y 2.874 en T3.

En el Cuadro 10 se puede ver que la Eficiencia de Almacenamiento, que se define como la relación entre el volumen de agua disponible en la zona de raíces y el volumen de agua requerido por la zona de raíces, en los tres sectores y tratamientos, es superior al 80% en todos los casos; supliéndose en un alto porcentaje los requerimientos de agua de la zona de raíces; pudiendo constatarse situaciones de saturación, como se puede apreciar en la Figura 7.

Respecto a la Eficiencia de Aplicación, que en este caso se estimó a través de la relación entre al agua en zona de raíces vs Agua en el perfil, la situación es variada y el máximo valor encontrado fue en el Tratamiento T1, en el sector de Camarico, e igual a 64,93%; indicando que en la zona de raíces solamente se encuentra este porcentaje de agua y la diferencia (35,07%) se encuentra bajo la zona de raíces (ver Figura 7c).

### Tratamiento T1

Profundidad	Este		Perfil Longitudinal				Oeste		Media
	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm		
10 cm			21,1	14,4	11,3			19,1	
20 cm			23,6	19,9	12,1	14,4			
30 cm		44,1	22,3	16,1	13,5	17,7			
40 cm	21,4	21,9	20,6	15,6	15,5	17,6	14,0		
50 cm	21,9	20,0	20,9	16,3	20,4	20,1	19,4		
60 cm	20,7	26,6	25,9	17,4	21,3	24,6	24,5	23,9	
70 cm	21,7	26,8	24,9	22,2	22,7	25,4	24,5		
80 cm	25,8	26,5	25,3	22,3	23,6	24,5	25,2		

ZR

Bajo ZR

### Tratamiento T3

Profundidad	Este		Perfil Longitudinal				Oeste		Media
	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm		
10 cm			13,9	17,2	3,2			8,1	
20 cm		6,6	14,2	10,8	5,9				
30 cm	5,3	7,9	9,7	10,1	6,6	3,2			
40 cm	7,5	8,0	7,4	8,1	7,4	4,3	3,0		
50 cm	8,4	13,0	10,4	8,5	6,8	6,9	4,1		
60 cm	12,9	14,5	13,5	13,4	8,9	11,1	6,5	13,0	
70 cm	13,9	14,6	12,8	12,5	13,4	15,1	14,2		
80 cm	13,4	14,6	13,3	13,4	14,2	12,5	14,2		

ZR

Bajo ZR

Colores según % de humedad del suelo

22,84 - 27,82		HA
17,85 - 22,83		
12,85 - 17,84		
7,86 - 12,84		
2,87 - 7,85		
0 - 2,87		

Figura 7a: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, localidad de Chilecito.



### Tratamiento T1

Profundidad	Este		Perfil Longitudinal						Oeste		Media	ZR
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm			
10 cm			23,2	27,8	23,3	24,4	9,3				19,5	Bajo ZR
20 cm			22,2	27,3	22,3	21,9	13,5					
30 cm	16,9	17,1	20,7	25,4	19,8	21,5	15,2					
40 cm	17,0	22,4	20,1	25,4	18,8	23,8	16,7	8,9				
50 cm	17,8	17,6	18,6	23,2	16,5	23,3	16,7	9,4	14,4			
60 cm	18,3	18,2	18,8	22,9	18,2	22,7	15,9	9,7	13,3		16,6	Bajo ZR
70 cm	16,8	17,7	17,8	19,2	17,1	21,0	16,4	10,2	10,8			
80 cm	17,0	17,8	17,0	19,2	17,2	18,5	17,0	9,7	10,9			

### Tratamiento T3

Profundidad	Este		Perfil Longitudinal						Oeste		Media	ZR
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm			
10 cm		18,6	22,3	18,4	17,0	17,0					15,1	Bajo ZR
20 cm		18,9	20,6	17,8	17,6	10,9	5,0					
30 cm	7,8	18,0	21,2	15,3	18,3	11,9	9,0					
40 cm	13,9	17,2	17,4	14,8	19,0	14,5	9,3	8,2	9,1			
50 cm	14,1	19,3	19,4	17,8	18,0	15,4	9,7	9,8	10,0			
60 cm	14,0	19,1	18,0	22,1	20,7	18,4	10,7	11,0	11,2		15,8	Bajo ZR
70 cm	14,3	17,7	18,2	20,0	19,9	17,9	13,9	14,5	11,4			
80 cm	9,8	24,8	17,9	16,9	13,2	16,9	13,0	9,5	10,8			

### Colores según % de humedad del suelo

24,96 - 29,47	■	HA
20,69 - 24,95	■	
16,45 - 20,7	■	
12,2 - 16,44	■	
7,95 - 12,2	■	
3,7 - 7,94	■	

Figura 7b: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, localidad de El Palqui.

### Tratamiento T1

Profundidad	Perfil Longitudinal											Media	
	Este		Perfil Longitudinal										
	150 cm	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm		
10 cm		19,9	21,1	21,8	20,1	25,6	19,9	18,8	16,9	15,6	13,9	21,1	ZR
20 cm	12,0	20,5	22,5	22,3	22,0	28,6	27,8	20,0	19,4	16,3	14,7		
30 cm	13,6	21,0	23,1	23,0	22,8	28,0	27,4	26,4	22,5	19,7	16,6		
40 cm	14,0	20,2	21,9	23,3	24,5	24,7	28,0	25,1	21,7	20,9	17,8		
50 cm	12,8	20,0	21,5	22,9	27,4	22,3	25,1	22,5	21,0	19,5	17,5		
60 cm	13,0	18,5	20,7	21,1	25,4	22,3	22,3	21,6	21,3	18,4	17,5	18,6	Bajo ZR
70 cm	14,4	18,8	13,8	17,0	22,7	21,5	22,0	21,9	21,0	17,3	16,4		
80 cm	15,0	16,3	10,5	16,5	15,4	17,8	20,0	21,9	21,2	15,6	15,9		

### Tratamiento T3

Profundidad	Perfil Longitudinal											Media	
	Este		Perfil Longitudinal										
	150 cm	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm		
10 cm			5,3	14,4	10,0	16,6	21,5	14,9	16,1	19,0	13,6	18,1	ZR
20 cm			9,3	13,8	16,5	22,5	24,8	15,2	18,3	20,1	14,5		
30 cm	5,3	7,5	10,5	17,2	20,3	26,4	30,7	20,6	21,2	21,8	10,8		
40 cm	8,5	11,1	12,4	21,5	22,5	24,1	30,9	21,9	22,6	22,5	18,3		
50 cm	10,5	21,4	14,2	21,6	22,4	23,6	27,9	22,9	18,7	23,2	19,1		
60 cm	6,7	14,1	15,8	21,9	20,6	21,3	26,0	20,5	19,7	20,0	19,2	18,7	Bajo ZR
70 cm	11,2	8,0	15,7	21,7	20,5	21,8	25,5	19,8	19,6	17,0	18,1		
80 cm	13,1	15,6	15,8	21,7	20,0	21,2	23,5	19,5	19,5	17,9	24,8		

### Colores según % de humedad del suelo

29,62- 43,31	■	HA
24,91 - 29,61	■	
20,21 - 24,91	■	
15,51 - 20,20	■	
10,81 - 15,50	■	
6,11 - 10,80	■	

Figura 7c: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, en la localidad de Camarico.



Una situación distinta es la obtenida en el Tratamiento T3, en Chilecito, donde sólo un 44,43% del agua se encuentra en la zona de raíces y el 55,57% está bajo dicha zona. Situación similar ocurre para el Tratamiento T1, en este sector; como se refleja en la Figura 7a.

Sin lugar a dudas, lo anterior refleja que no toda el agua aplicada se encuentra donde la requieren las raíces del cultivo y, en términos generales, a lo menos en estos casos, aproximadamente la mitad del agua está por debajo de la zona de raíces, lo cual estaría indicando condiciones de baja Eficiencia de Riego; a pesar de altos valores de Eficiencia de Almacenamiento y del Coeficiente de Uniformidad de los ensayos.

De lo anterior se desprende, como recomendación, la necesidad de que los productores efectúen un monitoreo frecuente de la humedad del suelo en profundidad, y sobre esa base ir regulando la cantidad de agua aplicada, a través del tiempo de riego. Para ello es imprescindible conocer la profundidad del suelo que se desea humedecer y en función de ello efectuar una buena programación de los riegos.

#### 4.2.4.- Factor de Sombreamiento (FS)

Tal como se indicó anteriormente, en los tres ensayos, se estableció la relación entre área sombreada y área asignada a cada planta y los resultados se indican en el Cuadro 11, para cada tratamiento, sector y temporada.

Cuadro 11: Factor de Sombreamiento de los árboles, en los distintos sectores, temporadas y para cada tratamiento ensayado.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2007-2008	0,65	0,66	0,64	0,68
Temporada 2008-2009	0,72	0,61	0,68	0,71
<b>Promedio</b>	<b>0,69</b>	<b>0,64</b>	<b>0,66</b>	<b>0,70</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007- 2008	0,46	0,49	0,47	0,48
Temporada 2008-2009	0,52	0,50	0,40	0,46
<b>Promedio</b>	<b>0,49</b>	<b>0,50</b>	<b>0,44</b>	<b>0,47</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	0,79	0,76	0,79	0,79
Temporada 2008-2009	0,79	0,76	0,79	0,79
<b>Promedio</b>	<b>0,79</b>	<b>0,76</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>

Al efectuar el análisis de los datos, para un mismo sector no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, ni tampoco entre temporadas; lo cual es atribuible al corto período de evaluación. Sin embargo se aprecian diferencias entre sectores; siendo los árboles de Chilecito los de menor envergadura, lo cual se traduce en una menor proyección de copa respecto al área asignada. En general es un factor que está fuertemente afectado por las condiciones de manejo del predio, por lo que no permite efectuar mayor comparación entre sectores.

#### 4.2.5.- Coeficiente del Cultivo (Kc)

Al igual que el Factor de Sombreamiento, el Coeficiente del Cultivo (Kc) es un factor que reduce la demanda de agua de la atmósfera, representada por la  $E_{To}$ , y refleja en forma particular la propiedad que tiene el cultivo, en sus diferentes etapas fenológicas, para transpirar o perder agua hacia la atmósfera, considerando además, el agua que se evapora desde el suelo.

Utilizando los antecedentes de los ensayos establecidos en los tres sectores del Valle del Limarí y durante las dos últimas temporadas, se calcularon los valores de Kc, a nivel de productor, para mandarino, a escala mensual y sobre la base de estimaciones de la Eficiencia de Riego y del Factor de Sombreamiento, indicados en puntos anteriores.

En la Figura 8, se presentan las curvas Kc promedio para mandarinos, obtenidas en los sectores de El Palqui, Chilecito y Camarico, respectivamente, obtenidos en las temporadas 2007-2008 y 2008-2009, considerando los cuatro tratamientos ensayados y teniéndose como referente los valores de FAO (Allen et al, 2006), para esta especie.

Al analizar la Figura 8, se puede apreciar diferencias entre los Kc obtenidos en cada tratamiento, en los distintos sectores; producto de los diferentes volúmenes de agua aplicados y las condiciones de eficiencia de riego logradas en cada caso. Valores de Kc más altos reflejan aplicaciones de volúmenes de agua mayores durante las temporadas de estudio. En relación a ello, queda de manifiesto la importancia que tiene la estimación de este factor al momento de programar el riego y específicamente al calcular los volúmenes de agua aplicados.

Se observa también, a inicios de temporada, la obtención de valores de Kc muy inferiores a los entregados por FAO; los cuales se van haciendo mayores a medida que la temporada avanza y el cultivo entra a sus etapas de mayor demanda fisiológica, como floración, cuaja y crecimiento de frutos.

Destacan los valores de Kc logrados en el tratamiento T3, en los tres sectores, producto de aplicaciones de agua en la temporada de 3.000 a 5.000 m<sup>3</sup> por hectárea.

Se debe aclarar que en este caso el cálculo de Kc es producto de la relación entre aportes y demandas de agua y reflejarían aquellos valores de Kc usados a nivel de productor (T1) y de los tratamientos ensayados (T2, T3 y T4), como se aprecia en la relación siguiente:

$$Kc = [VAA / E_{To}] \times [Ef / (AU \times FS)]$$



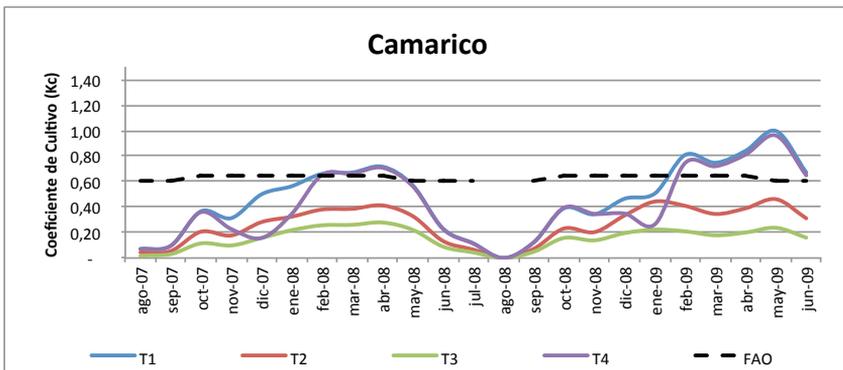
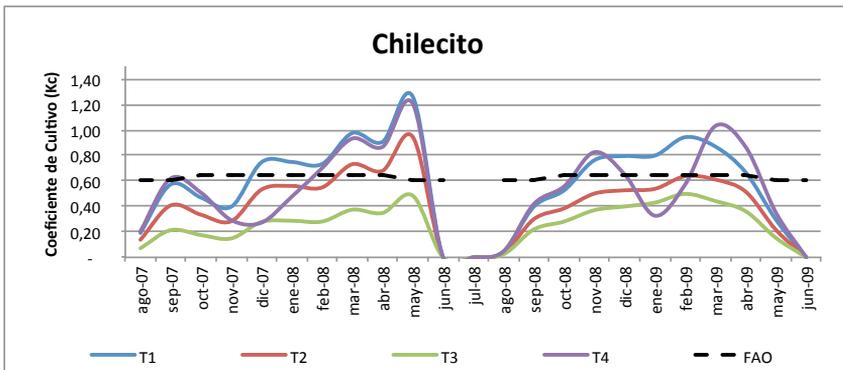
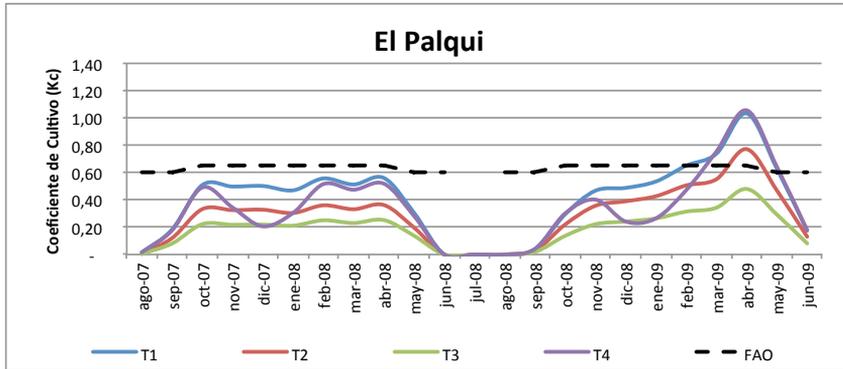


Figura 8: Valores de Kc mensuales experimentales en mandarinos, sometidos a diferentes volúmenes de agua en los sectores de El Palqui, Chilecito y Camarico, comparados con lo propuesto por FAO.

### 4.3.- Respuesta agronómica a los tratamientos de riego.

Luego de conocida la información sobre la aplicación de agua, en este punto se entregan los resultados sobre las respuestas del cultivo sometido a condiciones distintas de aporte de agua.

#### 4.3.1 Comportamiento del cultivo

Aspecto que se orienta a entregar información sobre fenología, crecimiento de raíces, diámetro de tronco, entre otros, es decir, la respuesta de las plantas a un mayor o menor aporte de agua.

#### Fenología

En cada temporada se registró la fenología, identificando la ocurrencia de los principales eventos fenológicos, los que se muestran a continuación en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Fechas de ocurrencias de los principales eventos fenológicos en las tres localidades en estudio.

Localidad	Floración	Cuaja	Inicio de cosecha
El Palqui	Última semana de septiembre hasta fines de octubre	A partir de la 1° semana de noviembre	5 de junio (2007-08)
			7 de junio (2008-09)
Chilecito	Mediados de septiembre a mediados de octubre	Desde la 3° semana de octubre	28 de mayo (2007-08)
			3 de junio (2008-09)
Camarico	2° semana de octubre hasta fines de noviembre	Inicio los primeros días de diciembre	9 de julio (2007-08)
			23 de junio (2008-09)

La duración del período de floración es cercana a un mes; un poco más extensa en la zona de Camarico, similar a lo expuesto por Sepulveda et al, 1988, para esta misma variedad; sin embargo, el autor señala que la floración se presenta en el mes de septiembre, comenzando a fines de agosto en la zona de Ovalle, en evaluaciones realizadas entre 1984 y 1987.





Figura 9. Estado fenológico de Cuaja en Mandarinos.

Es importante señalar que en la zona de Chilecito los eventos fenológicos se presentan de manera más temprana, siendo la cosecha aproximadamente una semana antes que en El Palqui y alrededor de un mes antes que en Camarico. Por otro lado, la extensión del período desde floración a cosecha es de aproximadamente 8 meses y una semana, en la zona alta del valle, El Palqui y Chilecito, mientras que en Camarico dura entre 8 meses y medio y 8 meses y tres semanas. La Figura 9 muestra frutos de mandarino cuajados y comenzando a crecer.

### **Crecimiento de raíces**

Para la observación del crecimiento de raíces se construyeron rizotrones en plantas con distintos tratamientos de riego. Esta evaluación se realizó con el propósito de registrar el efecto de las tasas de riego sobre el crecimiento de raíces en profundidad (Figura 10). En las localidades de Chilecito y Camarico se construyeron dos rizotrones: uno en el tratamiento T1 (100% riego del productor) y otro en el tratamiento T3 (50% riego del productor).

En el Cuadro 13 se muestra que la mayor cantidad de intersecciones de raíces en Chilecito se registró en el tratamiento T3; infiriéndose que una alta tasa de riego afecta negativamente el crecimiento de las raíces, especialmente cuando la textura del suelo es franco arcillosa. Este efecto se aprecia con mayor nitidez entre los 50 cm y 100 cm de profundidad, donde la cantidad de intersecciones en el tratamiento T1, es considerablemente menor que el tratamiento T3.

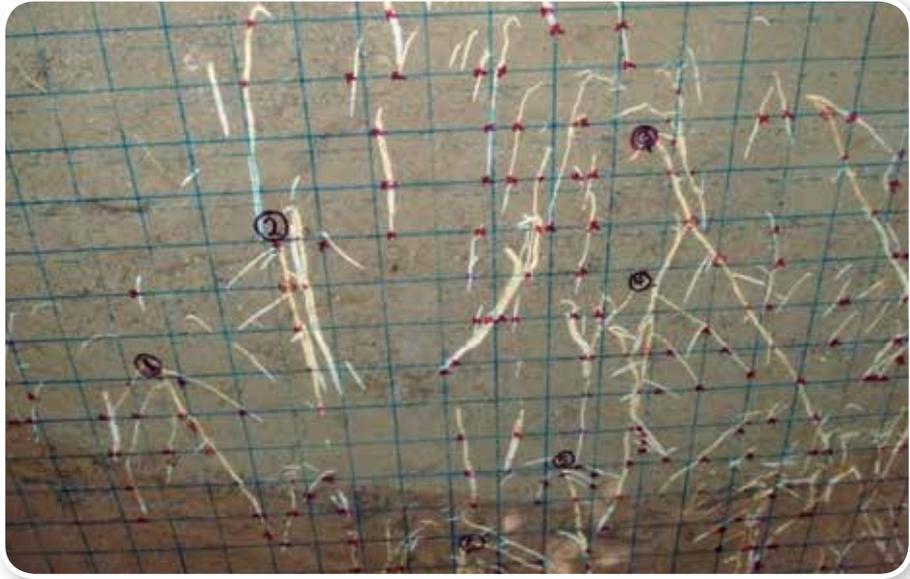


Figura 10: Imagen de un rizotróf en época de evaluación.

En Camarico, a pesar de que el suelo es de textura arcillosa, se presentó una respuesta en el crecimiento de raíces diferente a la obtenida en Chilecito. El número de intersecciones totales y en profundidad fue mayor con el tratamiento T1. El resultado se explica de dos formas: a) el productor aplicó el agua de riego con baja frecuencia (pocas horas de riego cada 4 -5 días) y b) se construyó un dren en la parte baja del rizotróf para eliminar el agua en exceso. Así, se evitó una saturación por agua (anoxia) en el perfil del suelo que limitara el crecimiento de las raíces. Durante la segunda temporada la respuesta en cantidad de intersecciones de raíces fue similar a la de la temporada anterior, aunque la diferencia entre los tratamientos T1 y T3, en cantidad total de intersecciones, fue menos marcada en esta última temporada.



Cuadro 13: Número de intersecciones observadas en rizotrones.

Localidad	Temporada	Tratamiento	0 - 50 cm	50 - 100 cm
Chilecito	2007-08	T1	1195	20
		T3	2191	1140
	2008-09	T1	424	72
		T3	335	289
Camarico	2007-08	T1	1053	218
		T3	530	117
	2008-09	T1	106	235
		T3	160	151

### Área de sección transversal del tronco (ASTT)

En el Cuadro 14, se muestra el incremento en el perímetro de tronco para los 4 tratamientos, en las tres localidades en estudio.

En el caso de El Palqui, no se observan diferencias significativas en el efecto de las tasas de riego sobre este indicador. El menor incremento del perímetro del tronco durante las dos temporadas evaluadas se produjo en T4 (Riego restrictivo en crecimiento de fruto) y el mayor incremento se presentó en el tratamiento T1, que presenta los mayores volúmenes de agua aplicados. Los resultados anteriores reflejan la respuesta de los árboles a condiciones de restricciones de agua, especialmente el T3 y el T4 con respecto a los otros tratamientos.

En la localidad de Chilecito, el menor incremento del perímetro del tronco durante la primera temporada se produjo en T2 (75 % Riego) y el mayor incremento en tratamiento T3, es decir, 50% riego del productor. Sin embargo, en la temporada 2008-2009, no hubo diferencias del incremento del perímetro del tronco, a su vez el tratamiento más restrictivo fue el que presentó el mayor perímetro de tronco, el cual fue de 49,49 cm, aunque no existieron diferencias significativas entre los tratamientos; indicando que no se produjo un efecto de los distintos regímenes hídricos sobre el parámetro perímetro de tronco en ninguna de las temporadas evaluadas.

En Camarico, no existieron diferencias significativas del efecto de las tasas de riego sobre el incremento en el perímetro del tronco, en la primera temporada. El menor incremento del perímetro del tronco se produjo en T4 (Riego restrictivo en crecimiento de fruto) y el mayor incremento en el tratamiento T2, es decir, 75% riego del productor. En la segunda temporada, el mayor incremento se produjo en el T1 (100%), siendo inferior a 1 cm, al igual que en todos los tratamientos. Finalmente el tratamiento de restricción en la etapa de crecimiento de fruto presentó el mayor perímetro de tronco final, el cual fue de 47,36 cm, siendo el tratamiento T1 (100%) el que registró el menor perímetro de tronco final con 46,80 cm.

Es importante señalar que en la temporada 2008-09 se presentó un menor incremento en el perímetro del tronco, respecto a la anterior, en las tres localidades estudiadas y en todos los tratamientos, debido al efecto dañino que tuvieron las heladas en la temporada 2007-2008.

Cuadro 14: Incremento por temporada y perímetro final de tronco (cm) en las distintas localidades y temporadas.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2007-2008	1.56	1.16	1.06	0.97
Temporada 2008-2009	0.77	0.74	0.72	0.60
Promedio	1.17	0.95	0.89	0.79
<b>Perímetro Final</b>	<b>65,81</b>	<b>65,90</b>	<b>65,83</b>	<b>65,82</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007-2008	1.56	1.16	3.06	2.52
Temporada 2008-2009	1.43	1.40	1.40	1.40
Promedio	1.50	1.28	2.23	1.96
<b>Perímetro Final</b>	<b>49,23</b>	<b>49,40</b>	<b>49,49</b>	<b>49,42</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	2.44	2.46	2.28	1.77
Temporada 2008-2009	0.68	0.59	0.60	0.65
Promedio	1.56	1.53	1.44	1.21
<b>Perímetro Final</b>	<b>46,80</b>	<b>47,04</b>	<b>47,14</b>	<b>47,36</b>

Al igual que el perímetro de tronco, el área de sección transversal de tronco es otro indicador que relaciona el vigor de la planta con la cantidad de fruta que produce. Se determina a partir del perímetro de tronco usando la siguiente fórmula:

$$ASTT \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Perímetro}^2}{4\pi}$$

Los resultados de este parámetro se presentan a continuación en el Cuadro 15. Su comportamiento es igual al que se observó en el perímetro de tronco, ya que proviene de las mismas evaluaciones.



Cuadro 15: Incrementos por temporada y área final de sección transversal de tronco (cm<sup>2</sup>), en las distintas localidades.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>El Palqui</b>				
Temporada 2007-2008	15.46	11.95	10.36	9.71
Temporada 2008-2009	8.04	7.75	7.51	6.21
<b>Promedio</b>	<b>11.75</b>	<b>9.85</b>	<b>8.94</b>	<b>7.96</b>
<b>Área Final</b>	<b>344,63</b>	<b>345,64</b>	<b>344,86</b>	<b>344,79</b>
<b>Chilecito</b>				
Temporada 2007-2008	15.46	11.95	22.49	18.44
Temporada 2008-2009	11.07	10.88	10.90	10.89
<b>Promedio</b>	<b>13.27</b>	<b>11.42</b>	<b>16.70</b>	<b>14.67</b>
<b>Área Final</b>	<b>192,85</b>	<b>194,17</b>	<b>194,87</b>	<b>194,35</b>
<b>Camarico</b>				
Temporada 2007-2008	17.76	18.18	16.61	13.25
Temporada 2008-2009	5.06	4.38	4.44	4.84
<b>Promedio</b>	<b>11.41</b>	<b>11.28</b>	<b>10.53</b>	<b>9.05</b>
<b>Área Final</b>	<b>174,30</b>	<b>176,12</b>	<b>176,83</b>	<b>178,49</b>

#### 4.3.2.-Respuesta productiva del cultivo de mandarinos

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la producción de mandarinos sometidos a distintas tasas de riego en cada uno de los sectores.

##### El Palqui

En la localidad de El Palqui, en la primera temporada (2006-2007) se obtuvieron mayores producciones que en la temporada 2007-2008 (Figura 11), dado que en ésta temporada ocurrieron heladas, afectando la floración y disminuyendo el rendimiento. Esta situación fue generalizada en toda la Provincia del Limarí.

Con respecto a los efectos de los tratamientos; en la primera temporada el rendimiento estuvo directamente relacionado con la cantidad de agua aplicada, es decir, el tratamiento de 50% de riego tuvo la menor producción. En la segunda temporada 2007-2008, la producción no presentó diferencias significativas y no se relacionó directamente con la

cantidad de agua aplicada. La menor producción se obtuvo en las plantas bajo el tratamiento de riego restrictivo en la fase de crecimiento de fruto (T4), lo que estaría dado por una menor cantidad de frutos debido a una mayor caída fisiológica de ellos, por el bajo aporte de agua a las plantas, en ese período crítico (Figura 11).

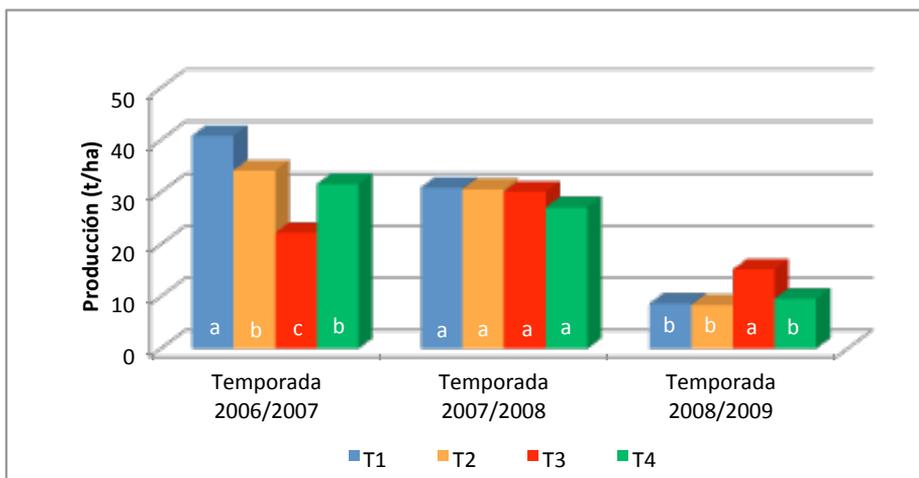


Figura 11. Rendimiento total por temporada, El Palqui.

En la tercera temporada, con rendimientos mas bajos que en las temporadas anteriores, la mayor producción se obtuvo en las plantas sometidas a un mayor déficit hídrico (50%). Esto estaría dado por el inicio tardío de la temporada de riego, lo que provocó una baja significativa en la producción en todos los tratamientos. El efecto fue mayor en aquellos tratamientos que durante las dos últimas temporadas fueron regados con mayores volúmenes de agua, lo que indicaría que al someter estas plantas a un estrés hídrico severo, ven afectada drásticamente su producción tanto en cantidad como tamaño del fruto.

Bajo este mismo concepto las plantas que fueron sometidas a un estrés hídrico las dos últimas temporadas (50%), habrían llegado a un nuevo equilibrio fisiológico, por lo que al someterlas a un estrés hídrico severo y de larga duración, también se ve afectada su producción pero en menor intensidad.

Al evaluar el número de frutos por planta, se observó que en la segunda temporada (2007-2008) no se presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Cuadro 16). Sin embargo, en la temporada 2008-2009, el tratamiento T3 presenta un mayor número de frutos por planta, siendo diferente a los demás tratamientos. Por otro lado, existe una relación directa entre el número de frutos por planta y la producción obtenida, indicando que no hay gran diferencia en el tamaño del fruto entre los tratamientos.



En relación a fruta exportable, como se indica en el Cuadro 16, en la segunda temporada (2007-2008) sólo el tratamiento T2 (75% riego del productor) disminuyó el porcentaje de fruta para exportación, con respecto a los otros tratamientos.

Cuadro 16: Indicadores de rendimiento total y fruta exportable, El Palqui.

Temporada	Tratamiento	N° frutos / planta	kg/planta	Peso fruto (g)	t/ha	% de fruta exportable
2007-08	T1	525 a	37,1 a	73,1 a	30,9 a	83,49 a
	T2	585 a	36,8 a	64,6 b	30,6 a	73,86 a
	T3	546 a	36,1 a	69,7 ab	30,1 a	81,06 a
	T4	483 a	32,6 a	69,8 ab	27,1 a	83,39 a
2008-09	T1	113 b	10,7 b	95,2 a	8,7 b	74,07 b
	T2	103 b	10,4 b	100,8 a	8,4 b	85,18 a
	T3	187 a	18,7 a	100,2 a	15,2 a	84,25 a
	T4	112 b	11,8 b	105,8 a	9,6 b	84,04 a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro 17: Indicadores de calidad de la fruta obtenidos de una muestra de 100 frutos por tratamiento, El Palqui.

Temporada	Tratamiento	Peso fruto (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Espesor cáscara (mm)	Jugo (%)	Sólidos solubles totales (SST) (°brix)	Acidez titulable (Ac) (%)	Relación SST/Ac
2007-08	T1	86,5 a	5,7	3,1	40,7	11,4 ab	1,1	10,4
	T2	69,5 c	5,2	2,8	39,8	11,6 a	1,2	9,7
	T3	74,4 bc	5,3	3,1	38,8	11,8 a	1,3	9,1
	T4	80,2 ab	5,5	3,0	42,1	11,0 b	1,2	9,2
2008-09	T1	111,0 a	6,0 b	2,2 b	45,8 a	10,7 b	0,7 b	15,2 a
	T2	107,3 a	5,9 b	2,6 a	41,2 bc	10,9 ab	0,7 b	15,6 a
	T3	112,1 a	6,1 ab	2,7 a	45,2 ab	11,1 a	0,7 b	15,9 a
	T4	112,3 a	6,3 a	2,6 a	37,5 c	10,9 ab	1,1 a	9,9 b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

En la tercera temporada de evaluación (2008-2009), el menor porcentaje de fruta en condiciones de ser exportada se presentó en el tratamiento T1 (100% riego del productor), lo que podría ser explicado por la ocurrencia de un déficit hídrico, en un estado fenológico crítico, que habría afectado mayormente a este tratamiento.

En el Laboratorio de Fruticultura del Centro Experimental Vicuña, se determinaron los parámetros de calidad de fruta; tomándose muestras de 20 frutos por tratamiento y repetición, totalizando 100 frutos evaluados por cada tratamiento. Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el peso, diámetro (ecuatorial y polar), espesor de cáscara, contenido de jugo, Sólidos solubles y porcentaje de acidez. Los resultados se muestran en el Cuadro 17, para las temporadas 2007-2008 y 2008-2009.

En relación a contenido de jugo en los frutos, es destacable el menor valor obtenido en el tratamiento T4, en la temporada 2008-2009, lo que puede deberse a la reducción de riego en 50% en la etapa de crecimiento del fruto

Por un proceso de dilución, los tratamientos con mayor aplicación de agua disminuyeron los contenidos de sólidos solubles en el jugo de los frutos. Siendo esto más marcado en el tratamiento de 100% de riego. El tratamiento más restrictivo (50%) fue el que presentó un mayor contenido de sólidos soluble.

### Chilecito

En la Figura 12, se presenta la producción de mandarinos obtenida en el sector de Chilecito, sometidos a distintas tasas de riego, para las dos temporadas de evaluación. En ambas temporadas la producción se relacionó directamente con la cantidad de agua aplicada, obteniéndose un menor rendimiento en el tratamiento mas restrictivo (T3). Sin embargo al comparar los resultados de las dos temporadas se puede apreciar que los valores de producción son mayores en la temporada 2008-2009, dado que en la temporada 2007-2008 las plantas sufrieron el efecto de heladas, además las plantas fueron sometidas a una poda severa.

En el Cuadro 18 se presentan algunos indicadores de rendimiento total y fruta exportable, donde se puede apreciar, en ambas temporadas, un menor numero de frutos por planta en el tratamiento T3, debido a un aumento en la caída fisiológica de frutos por el bajo aporte de agua a las plantas.

Respecto a porcentaje de fruta exportable, no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, es destacable el mayor porcentaje logrado en el tratamiento T4, en la segunda temporada, lo que sería explicable por la relación existente entre la cantidad de frutos por planta y el peso de ellos.



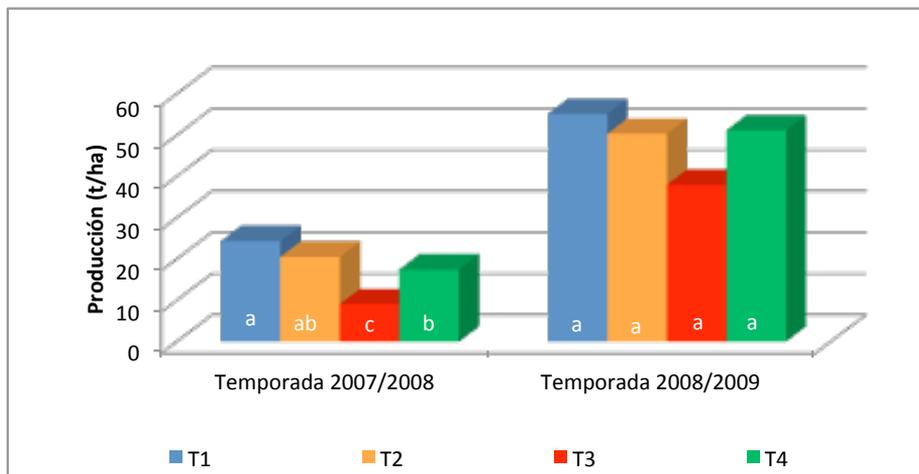


Figura 12. Producción en toneladas por hectárea, para ambas temporadas. Chilecito.

Los parámetros de calidad de frutos se muestran en el Cuadro 19. En la primera temporada, las distintas tasas de riego no presentaron un efecto sobre el contenido de jugo de los frutos de mandarinos. Por lo tanto, se podría concluir que el volumen de agua aplicado, no tendría un efecto sobre el contenido de jugo de los frutos, en este caso. Sin embargo, en la segunda temporada, si existieron diferencias significativas, los tratamientos con menores volúmenes de agua aplicada, presentan un menor porcentaje de jugo, porque la fruta presenta un menor contenido de agua.

En la segunda temporada, por un proceso de dilución, los tratamientos con mayor contenido de agua (T1 y T4), disminuyeron los contenidos de sólidos solubles y acidez en el jugo de los frutos, probablemente por un mayor porcentaje de agua en la fruta.

Cuadro 18: Indicadores de rendimiento total y fruta exportable, Chilecito.

Temporada	Tratamiento	N° frutos / planta	kg/planta	Peso fruto (g)	t/ha	% de fruta exportable
2007-08	T1	530 a	40,2 a	79,3	24,4 a	70,00
	T2	447 ab	34,1 ab	77,4	20,6 ab	70,00
	T3	202 c	15,0 c	74,1	9,1 c	70,00
	T4	394 b	28,9 b	72,6	17,5 b	70,00
2008-09	T1	1043	91,1	87,3	55,2	74,07
	T2	923	83,2	90,1	50,4	74,53
	T3	771	62,8	81,4	38,0	72,42
	T4	949	84,5	88,9	51,2	84,06

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro 19: Indicadores de calidad de la fruta, obtenidos de una muestra de 100 frutos por tratamiento, Chilecito.

Temporada	Tratamiento	Peso fruto (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Espesor cáscara (mm)	Jugo (%)	Sólidos solubles totales (SST) (°brix)	Acidez titulable (Ac) (%)	Relación SST/Ac
2007-08	T1	77,7	5,6	2,8 ab	47,8	11,2 b	1,3	8,8
	T2	80,7	5,5	3,0 a	45,9	11,6 ab	1,2	9,7
	T3	84,7	5,6	2,6 b	46,0	11,8 a	1,3	9,2
	T4	80,4	5,5	2,8 ab	46,3	11,2 b	1,3	8,8
2008-09	T1	104,6 ab	6,0 a	2,73 a	40,2 a	10,6 d	1,1 b	9,6 b
	T2	107,7 a	5,9 ab	2,66 ab	40,8 a	11,6 b	1,1 b	10,5 a
	T3	90,5 c	5,8 b	2,51 b	34,6 b	12,7 a	1,3 a	9,8 b
	T4	99,4 bc	5,6 c	2,56 ab	35,9 b	11,3 c	1,2 a	9,4 b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.



## Camarico

Los rendimientos obtenidos en el sector de Camarico, se muestran en la Figura 13. Al igual que en el sector de Chilecito, en la temporada 2007-2008 se obtuvieron menores producciones, debido a las heladas antes mencionadas, que también afectaron este sector. Sin embargo, los resultados muestran claramente un efecto negativo en la producción como consecuencia de la menor aplicación de agua en los tratamientos T2 y T3, en ambas temporadas.

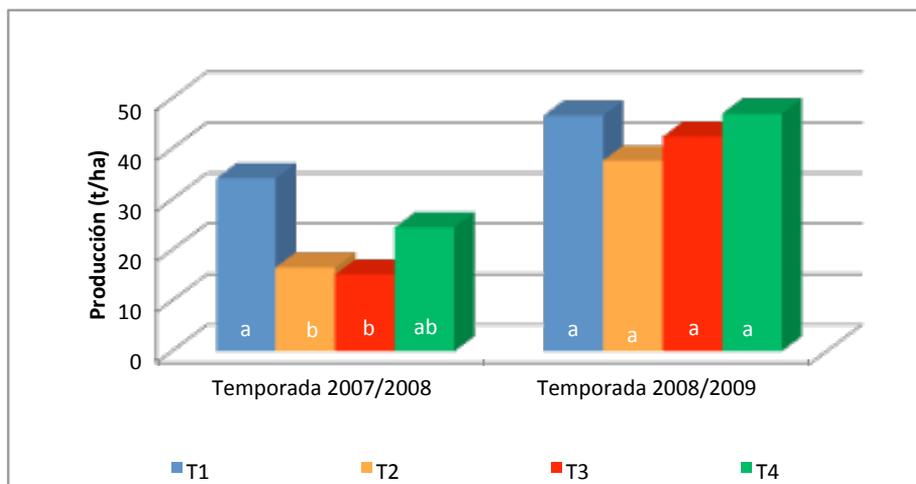


Figura 13. Producción en toneladas por hectárea, para ambas temporadas. Camarico.

Al evaluar el número de frutos por planta, se observó que en la segunda temporada no se presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Cuadro 20); sin embargo si hubo diferencias en la primera temporada, lográndose en este caso, rendimientos inferiores en T2 y T3, respecto del tratamiento T1. Sin embargo, no se observan diferencias en el porcentaje de fruta exportable, entre los tratamientos, a excepción del tratamiento T4, que registró un mayor porcentaje de fruta exportable, en la temporada 2007-2008. En la temporada siguiente 2008-2009, no hubo diferencias entre tratamientos en relación a esta variable, la cual registró valores inferiores al 70%.

Cuadro 20: Indicadores de rendimiento total y exportable, Camarico.

Temporada	Tratamiento	N° frutos / planta	kg/planta	Peso fruto (g)	t/ha	% de fruta exportable
2007-08	T1	1.095 a	66,0 a	65,8 a	34,2 a	64,04 b
	T2	546 b	32,0 b	60,4 b	16,6 b	63,86 b
	T3	503 b	29,2 b	60,1 b	15,2 b	59,87 b
	T4	733 ab	47,2 ab	65,3 a	24,5 ab	72,24 a
2008-09	T1	2.190 a	129,0 a	58,9 a	46,6 a	69,61 a
	T2	2.016 a	110,4 a	54,8 a	37,7 a	65,79 a
	T3	2.001 a	118,5 a	59,2 a	42,4 a	68,90 a
	T4	2.300 a	131,3 a	57,1 a	47,0 a	68,98 a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro 21: Indicadores de calidad de la fruta, obtenidos de una muestra de 100 frutos por tratamiento, Camarico.

Temporada	Tratamiento	Peso fruto (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Espesor cáscara (mm)	Jugo (%)	Sólidos solubles (SST) (°brix)	Acidez titulable (Ac) (%)	Relación SST/Ac
2007-08	T1	89,8	5,7	3,0 a	38,7	11,6	1,5	7,7
	T2	85,8	5,6	2,7 b	40,3	12,0	1,5	8,0
	T3	84,7	5,6	2,9 ab	35,4	11,8	1,5	7,9
	T4	94,6	5,8	3,0 a	39,1	11,8	1,5	7,9
2008-09	T1	79,8	5,6	2,7	29,1	14,5	1,4	10,8
	T2	79,3	5,6	2,7	27,8	12,0	1,3	8,99
	T3	74,6	5,5	2,7	26,7	11,1	1,3	8,76
	T4	85,2	6,2	2,7	31,2	11,3	1,2	9,48

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.



Respecto de los indicadores de calidad (Cuadro 21), en ambas temporadas no se presentaron diferencias significativas en los parámetros de calidad evaluados, entre los tratamientos de riego. En la primera temporada la excepción se presentó en el indicador espesor de cáscara, existiendo diferencia entre el grosor de cáscara del tratamiento T2, con respecto a T4 y T1.

En ambas temporadas, los frutos del tratamiento T4, fueron los que presentaron el mayor peso, en la evaluación realizada en laboratorio, mientras los frutos del tratamiento más restrictivo fueron los con menor peso. En la segunda temporada se presenta un menor peso de fruto, respecto de la primera temporada, en todos los tratamientos evaluados.

Las distintas tasas de riego no presentaron un efecto sobre el contenido de jugo de los frutos de mandarino; sin embargo, durante la segunda temporada se obtuvo valores inferiores, en relación a la primera temporada.

En las dos temporadas evaluadas no existió diferencias entre tratamientos en el contenido de SST, ni tampoco en el porcentaje acidez titulable.

En términos generales en las tres localidades en estudio, se alcanzaron los parámetros de madurez adecuados, con contenidos de sólidos solubles superiores a 9 grados Brix y relaciones sólidos solubles/ acidez (SST/Ac) iguales o superiores a 7,5.

#### **4.4.- Indicadores de Eficiencia en el Uso del Agua**

Con los valores de rendimiento y volumen de agua aplicados promedios de las temporadas estudiadas, se calcularon los indicadores de productividad del agua en los tres ensayos en mandarino.

Es posible observar que aquellos tratamientos con menores aplicaciones de agua, registran una mayor eficiencia en el uso del agua, en los tres ensayos. Entre las localidades, Camarico resulta ser más eficiente en los parámetros evaluados, esto se explica por la menor demanda evaporativa de esta localidad y un mayor rendimiento total. Con valores de menor eficiencia le sigue la localidad de Chilecito y El Palqui, siendo este último el que presenta valores de menor eficiencia en el uso del agua, en ambos indicadores (Cuadro 22).

Cuadro 22: Valores de productividad agronómica del agua, obtenidos en los ensayos evaluados.

Indicadores	Tratamientos	Localidad		
		El Palquí	Chilecito	Camarico
EUA kg/m <sup>3</sup>	T1	2,80	3,58	4,94
	T2	3,56	4,29	5,80
	T3	4,57	5,03	9,54
	T4	3,04	3,66	5,04
AAUP L/kg	T1	356	279	202
	T2	281	233	172
	T3	218	198	104
	T4	328	273	198

De forma complementaria se presenta la Figura 14, donde se observa la relación entre el rendimiento total y el volumen de agua aplicado. Ambos valores corresponden a los promedios de las temporadas evaluadas. Se observa que existe una tendencia a aumentar el rendimiento por hectárea al aumentar el volumen de agua aplicado, sin embargo, este incremento no es directo y decrece al aumentar el volumen de agua, disminuyendo la eficiencia del agua utilizada.

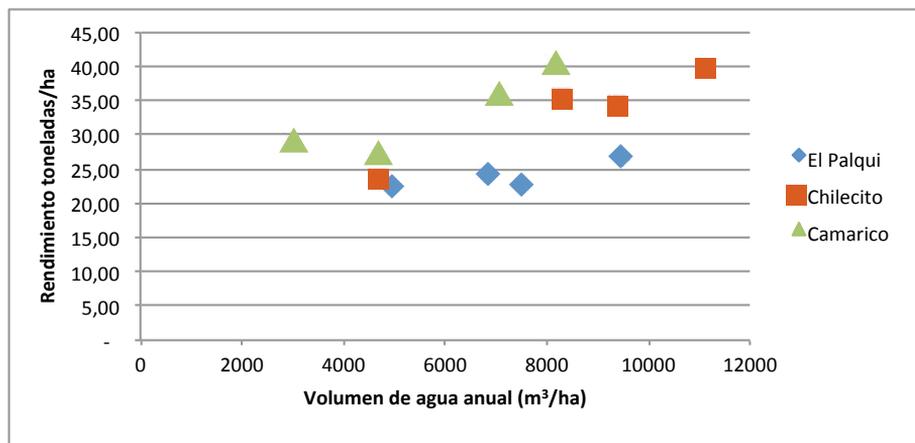


Figura 14: Relación entre los volúmenes de agua anuales y el rendimiento total en mandarinos, en las tres localidades de estudio.



#### 4.5.- Conclusiones y Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos, a continuación se presentan algunas conclusiones y recomendaciones generales:

- Cada uno de los huertos donde se establecieron los ensayos presenta características especiales en cuanto a clima, suelos, origen y desarrollo de las plantas, marcos de plantación y sistema de riego, que le confieren una condición particular y que dificulta la realización de comparaciones entre ellos.
- En relación a caudales y uniformidad de emisores, los tres predios utilizan goteros con caudales nominales de 4 L/h, que en la práctica son diferentes y en todos los casos mayores a tal cifra; presentándose además variaciones entre temporadas, lo que influye en los volúmenes de agua aplicados. Sin embargo, los Coeficientes de Uniformidad de emisores en todos los casos son superiores a 80%.
- Respecto de volúmenes de agua aplicados por los productores (Tratamiento T1), se registraron valores entre 8.000 y 12.000 m<sup>3</sup>/ha, durante el período de estudio, con una distribución mensual en función de la demanda atmosférica.
- Restricciones de agua equivalentes al 25 y 50% de lo aplicado por los productores, produce una disminución variable de los rendimientos; siendo esto más notorio en la primera temporada; no apreciándose mayores diferencias en la segunda temporada de evaluación. Junto con ello se produce un aumento en la eficiencia agronómica del uso del agua, al disminuir los volúmenes utilizados.
- Lo anterior es importante considerarlo en el plan de manejo anual del agua, dado que reducciones de un 25% del volumen aplicado, no inciden significativamente en una disminución de rendimientos y más aún en períodos de escasez del recurso, es posible reducir tales volúmenes a un 50%.
- Del mismo modo, la disminución de los volúmenes aplicados, a través de los tratamientos T2, T3 y T4, no afectó significativamente el % de fruta exportable, lo cual corrobora lo señalado en el punto anterior.
- La aplicación de los tratamientos de reducción de volúmenes de agua, no afectó significativamente la ocurrencia de períodos fenológicos, ni el desarrollo de los árboles.
- En relación a productividad agronómica del agua, los mejores valores se obtuvieron con el Tratamiento más restrictivo (T3), lográndose entre 4,6 y 9,5 kg/m<sup>3</sup> y entre 104 y 218 L/kg.
- En resumen, y producto de las evaluaciones realizadas, es recomendable la realización de un monitoreo permanente de las condiciones de funcionamiento de los sistemas de riego, evaluando las descargas de los emisores y las condiciones de humedad del suelo, ajustando tiempos y frecuencias de riego; de tal forma que los volúmenes de agua que se apliquen estén directamente relacionados con la demanda del cultivo.

# Capítulo 5

## Palto

(*Persea americana* Mill.)





## Capítulo 5

### Palto (*Persea americana* Mill.)

#### 5.1.- Implementación de los sitios de estudio

Al igual que en mandarinos, en paltos se establecieron tres ensayos en tres predios diferentes, evaluando el comportamiento de los árboles en 1, 2 y 3 temporadas. La selección de los sitios experimentales o ensayos, se basó en su ubicación, en las condiciones climáticas y en las características del suelo. Previo a la instalación de los ensayos fue necesario modificar el sistema de riego de acuerdo a las necesidades de los diferentes tratamientos, cambiando las líneas de riego y sus emisores.

Los registros climáticos se obtuvieron de estaciones meteorológicas ubicadas en el predio o de estaciones cercanas a los sitios de validación; perteneciendo todas ellas a la Red SIAR Limarí. La ubicación geográfica de los ensayos se muestra en la Figura 15.



Figura 15: Ubicación de los ensayos de paltos en la Provincia de Limarí.

Los sectores de Huallilinga y Sotaquí tienen características climáticas asociadas al Agroclima Ovalle, de interior del valle, con una mayor oscilación térmica diaria, temperatura media diaria anual de 16,6 °C y una precipitación anual de 125,7 mm. Mientras que el sector de Tabalí se encuentra en un área con características del Agroclima La Serena,



correspondiente a la parte baja del valle, con influencia marina, temperatura media anual de 13,5 °C y una precipitación anual de 104,4 mm. (Novoa y Villaseca, 1989). Ambos agroclimas pertenecen al Clima Mediterráneo subtropical semiárido.

Las plantaciones seleccionadas se encontraban en plena producción y bajo prácticas agronómicas adecuadas. El sistema de riego presentó, en todos los casos, valores de Coeficiente de Uniformidad de emisores sobre el 80%. Otras características se muestran a continuación en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Características de los sitios de estudio de Palto.

ANTECEDENTES	SOTAQUI	HUALLILINGA	TABALI
<b>Propietario</b>	Soc. Agrícola Agricolor Ltda	Soc. Agrícola Jacobita Alfonso Ltda.	Sociedad Agrícola Antumalal Ltda.
<b>Localidad</b>	Sotaquí	Huallilinga	Tabalí
<b>Comuna</b>	Ovalle	Ovalle	Ovalle
<b>Coordenadas geográficas</b>	30° 36' 57" 71° 7' 12"	30° 39' 22" 71° 6' 23"	30° 39' 3" 71° 28' 25"
<b>Año de plantación</b>	2001	2003	2005
<b>Fecha inicio ensayos</b>	Noviembre del 2006	Agosto del 2007	Abril del 2008
<b>Sistema de riego</b>	Goteo	Goteo	Goteo
<b>ETo anual (CNR)</b>	13.220 m <sup>3</sup> /ha	13.900 m <sup>3</sup> /ha	12.496 m <sup>3</sup> /ha

El suelo del predio de Sotaquí presenta una textura que va de arcillosa a franco arcillosa, está ubicado en la terraza norte del río Limarí; se caracteriza por tener bajos contenidos de materia orgánica y baja cantidad de macroporos, lo que impide una buena oxigenación de las raíces.

En Huallilinga el suelo es de textura arenosa, lo que facilita el movimiento de agua en el perfil, presentando una alta conductividad hidráulica, en condiciones saturadas y no saturadas. Este es un suelo de depositación fluvial en la ribera del río, que presenta partículas de limo, probablemente de alguna crecida reciente, pero que no condicionan su comportamiento en cuanto a movimiento del agua.

En el caso de Tabalí la textura del suelo es arcillosa, lo que genera algunas complicaciones en el manejo del huerto. Entre ellas la falta de aireación interna, por el bajo porcentaje de macroporosidad. Se ubican principalmente en ladera de cerro con pendiente aproximada del 40%.

En las Figuras 16, 17 y 18, se presentan gráficamente la Evapotranspiración de Referencia o Potencial (ET<sub>o</sub>) y el aporte de riego, ambas variables expresadas en m<sup>3</sup>/ha/mes, para la temporada previa a la instalación del ensayo. Como se observa, en el predio de Sotaquí el

agua aplicada mensualmente siempre fue mayor a la demanda atmosférica (ETo) durante toda la temporada, lo que podría estar provocando problemas en las plantas (Figura 16).

El predio ubicado en el sector de Huallilinga es el que presenta mejor ajuste al comparar los volúmenes aplicados y la demanda atmosférica, ETo; registrando valores de agua aplicada muy cercanos a la ETo lo que implica que se utiliza un programa de riego con coeficientes de cultivo (Kc) muy cercanos a 1, en la mayoría de los meses (Figura 17).

En Tabalí los volúmenes de agua aplicados, son superiores a la evapotranspiración de referencia en solamente dos meses de año (Diciembre y Enero), Figura 18, lo que indica, en general el uso de coeficientes de cultivos inferiores a 1, con excepción de dichos meses.

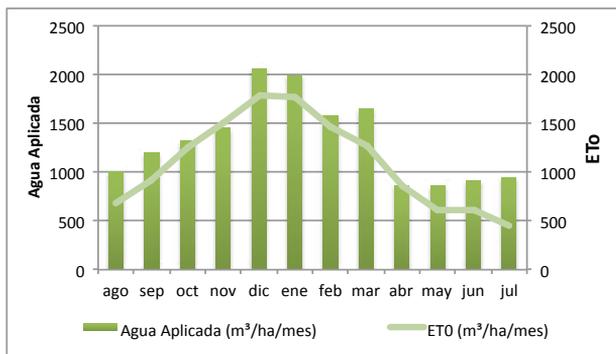


Figura 16: Comparación entre la ETo (demanda) declarada por CNR y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2005/2006, Sotaquí.

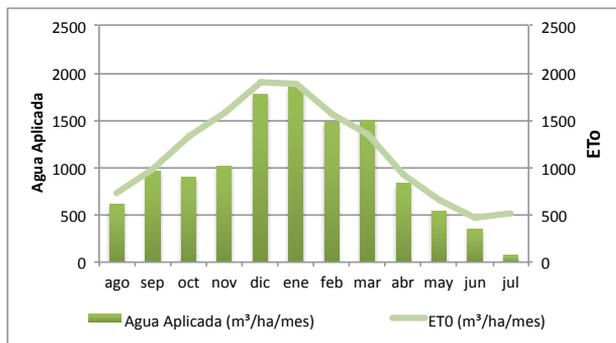


Figura 17: Comparación entre la ETo (demanda) declarada por CNR y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2006/2007, Huallilinga



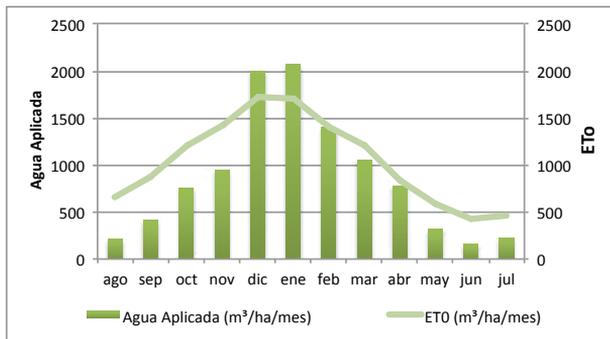


Figura 18. Comparación entre la ETO (demanda) declarada por CNR y el agua aplicada mensualmente, para la temporada 2006/2007, Tabalí.

## 5.2.- Condiciones de Riego

A continuación se presentan antecedentes relacionados con la aplicación de agua en los ensayos, a través de los cuales se observa el efecto sobre el comportamiento productivo de los árboles.

### 5.2.1.- Volúmenes de agua aplicados (VAA)

El volumen de agua aplicado a un cultivo está determinado por el número de goteros, caudal y tiempo de funcionamiento de ellos. Estas variables para cada una de las localidades de estudio se indican en el Cuadro 24, donde se muestran las características del sistema de plantación y del sistema de riego, de cada ensayo.

Cuadro 24: Antecedentes de la plantación y del riego en los tres ensayos.

Antecedentes	Sotaquí	Huallilinga	Tabalí
Marco de plantación (m x m)	6,0 x 4,0	7,0 x 2,0	6,0 x 3,0
Densidad de plantas (plantas/ha)	417	714	555
Laterales por hilera	2,00	3,00	2,00
Espaciamiento de emisores (m)	1,00	0,33	1,00
Emisores por planta	8,00	18,00	6,00
Emisores por hectárea	<b>3.334</b>	<b>12.857</b>	<b>3.333</b>

Como se puede apreciar, cada sector tuvo condiciones diferentes en cuanto a plantación y sistema de riego. En relación a la plantación, la densidad de plantas fue variable, entre 417 y 714 plantas por hectárea. Mientras que el número de laterales y la distancia de emisores también fue diferente. Esto determinó finalmente que el número de emisores por hectárea sea diferente en cada ensayo. Registrándose coincidentemente, un valor similar

de emisores por hectárea en Sotaquí y Tabalí, equivalentes aproximadamente al 25% de los emisores utilizados en Huallilinga.

En el Cuadro 25 se presentan los valores de caudales obtenidos en cada localidad, temporada y tratamiento, comparados con los caudales nominales que entrega normalmente el fabricante.

Se puede apreciar que existen variaciones del caudal entre temporadas para una misma localidad y tratamiento, y con respecto al caudal nominal; lo cual ocurre por efecto del manejo del sistema de riego. Esta variación finalmente influye en el cálculo de los volúmenes aplicados, en cada tratamiento y temporada, como se plantea anteriormente en el punto 2.2.

Cuadro 25: Determinación de los caudales de los emisores (L/h) según localidad, tratamiento y temporada, de acuerdo a las condiciones de riego de cada sector.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>SOTAQUI</b>				
Caudales Nominales*	2,20	2,20	2,20	2,20
Temporada 2006-2007	2,20	2,20	2,20	2,20
Temporada 2007-2008	2,00	1,73	1,97	2,17
Temporada 2008-2009	1,87	2,07	2,27	2,07
<b>Promedio temporadas</b>	<b>2,02</b>	<b>2,00</b>	<b>2,15</b>	<b>2,15</b>
<b>HUALLILINGA</b>				
Caudales Nominales*	2,20	1,70	1,20	2,20
Temporada 2007-2008	2,14	1,51	1,23	2,16
Temporada 2008-2009	1,91	1,36	1,17	1,77
<b>Promedio temporadas</b>	<b>2,03</b>	<b>1,44</b>	<b>1,20</b>	<b>1,97</b>
<b>TABALI</b>				
Caudales Nominales*	1,70		1,20	
Temporada 2007-2008	1,70		1,40	
Temporada 2008-2009	1,90		1,45	
<b>Promedio temporadas</b>	<b>1,80</b>		<b>1,43</b>	

\* Caudales entregados por el fabricante



Por otra parte al efectuar la evaluación de los emisores en los ensayos, se obtuvo valores de coeficiente de uniformidad (CU) para los distintos tratamientos, localidades y temporadas, como se muestran en el Cuadro 26.

Cuadro 26: Coeficientes de Uniformidad (CU) de los emisores, en los diferentes ensayos, tratamientos y temporadas (%).

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>SOTAQUI</b>				
Temporada 2006-2007	84,75	84,27	84,81	89,00
Temporada 2007-2008	73,23	75,87	74,90	80,23
Temporada 2008-2009	42,50	55,77	65,83	68,33
<b>Promedios</b>	<b>66,83</b>	<b>71,97</b>	<b>75,18</b>	<b>79,19</b>
<b>HUALLILINGA</b>				
Temporada 2007-2008	93,22	94,10	95,30	93,21
Temporada 2008-2009	87,57	84,26	89,58	87,34
<b>Promedios</b>	<b>90,39</b>	<b>89,18</b>	<b>92,44</b>	<b>90,27</b>
<b>TABALI</b>				
Temporada 2007-2008	90,29		93,82	
Temporada 2008-2009	89,91		86,62	
<b>Promedios</b>	<b>90,10</b>		<b>90,22</b>	

En general, los coeficientes de uniformidad son cercanos a 80%, valor mínimo exigible en proyectos de riego, presentando la localidad de Sotaquí valores por debajo de este umbral, principalmente en las temporadas 2007-2008 y 2008-2009. Las variaciones de este coeficiente en las localidades, temporadas y tratamientos reflejan lo sensible del sistema y la necesidad de efectuar mantenciones periódicas de los sistemas de riego, de lo contrario se producen variaciones importantes en los volúmenes de agua aplicados.

Respecto a Tiempos de Riego, en el Cuadro 27, se presentan los registros en Sotaquí, Huallilinga y Tabalí, en las diferentes temporadas de monitoreo del ensayo.

Cuadro 27: Tiempos de Riego (horas) en los diferentes sitios experimentales y temporadas.

Temporadas	Sotaquí				Huallilinga	Tabalí
	T1	T2	T3	T4		
Temporada 2007-2008	703,50	618,75	531,75	655,08	374	sd
Temporada 2008-2009	678,58	595,25	511,83	651,58	450	628
<b>Promedio</b>	<b>691,04</b>	<b>607,00</b>	<b>521,79</b>	<b>653,33</b>	<b>412</b>	<b>628</b>

sd: sin datos en esa temporada, debido a la fecha de implementación del ensayo.

Se pueden apreciar diferencias entre los diferentes sitios experimentales, producto de distintas condiciones ambientales, clima y suelos y en cada ensayo diferencias entre temporadas, debido a la variación de las condiciones climáticas anuales. En el caso de la localidad de Sotaquí, la regulación del volumen aplicado fue diferente a los otros dos ensayos. En este caso el volumen de riego se hizo variar a través de la regulación de los tiempos de riego y no de los caudales de los goteros, como se realizó en los otros ensayos; es decir, el tiempo de riego fue diferente para cada tratamiento, el cual se controló con válvulas sectoriales para cada tratamiento, como se aprecia en la Figura 19.

El menor tiempo de riego utilizado en el sector de Huallilinga, respecto de los otros dos ensayos, se debió a la mayor cantidad de emisores por hectárea utilizados por unidad de superficie, como se indicó en el Cuadro 24.



Figura 19: Sistema de control y registro de riego instalado para la aplicación de los tratamientos en Sotaquí.



Como se mencionó anteriormente, el número y caudal de los emisores y el tiempo de riego utilizado determinan el Volumen de Agua Aplicado (VAA). El Cuadro 28 muestra estos volúmenes por temporada, presentándose los datos de cada sector de ensayo y cada tratamiento de riego. En este cuadro se pueden observar las diferencias en la aplicación de agua de los distintos sectores. La mayor cantidad de agua aplicada por el productor (T1) se registró en el sector de Sotaquí, superando los 11.000 m<sup>3</sup>/ha; mientras que en el predio de Tabalí se registró el menor volumen aplicado, siendo levemente superior a los 7.000 m<sup>3</sup>, en el tratamiento T1. Lo que es explicable por la ubicación mas costera de esta localidad.

A nivel de los tratamientos restrictivos, en función de lo aplicado en T1, el porcentaje de reposición varió en cada localidad, siendo Huallilinga, el sector que presentó valores más cercanos a la propuesta de restringir el volumen de riego a un 75% (T2) y 50% (T3). Sin embargo, lo importante es haber registrado el volumen real de agua aplicado en cada tratamiento.

Es posible notar que existen diferencias entre temporadas en un mismo sector, en los diferentes tratamientos; especialmente en Sotaquí, lo cual es atribuible a condiciones de manejo del riego y de mantención de los emisores.

Cuadro 28: Volúmenes de Agua Aplicados (m<sup>3</sup>/ha) en los diferentes sectores, tratamientos y temporadas.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2006-2007	13.527	12.376	9.929	7.808
Temporada 2007-2008	9.787	7.734	7.662	10.361
Temporada 2008-2009	9.864	9.831	8.720	10.036
<b>Promedio</b>	<b>11.059,3</b>	<b>9.980,3</b>	<b>8.770,3</b>	<b>9.401,7</b>
<b>% de T1</b>	<b>100%</b>	<b>90,2%</b>	<b>79,3%</b>	<b>85,0%</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008	10.086	7.781	5.297	6.884
Temporada 2008-2009	10.615	8.242	7.970	9.610
<b>Promedio</b>	<b>10.350,0</b>	<b>8.011,5</b>	<b>6.633,5</b>	<b>8.247,0</b>
<b>% de T1</b>	<b>100%</b>	<b>77,4%</b>	<b>64,1%</b>	<b>79,7%</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2008-2009	7.158		5.205	
<b>Promedio</b>	<b>7.158,0</b>		<b>5.205,0</b>	
<b>% de T1</b>	<b>100%</b>		<b>72,7%</b>	

## 5.2.2.- Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)

Los ensayos en paltos estaban ubicados en distintos sectores de la cuenca, diferentes desde el punto de vista climático; lo cual se refleja en el comportamiento de las variables meteorológicas como temperatura (Cuadro 29), humedad relativa, radiación solar, entre otras; que también varían de un año a otro. Esto determina condiciones distintas de demanda atmosférica, representadas por los valores de Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) de los sitios y temporadas, como se indica en el Cuadro 30.

Cuadro 29: Temperaturas medias y máximas y mínimas absolutas de los sitios de estudio (°C).

Meses	Sotaquí			Huallilinga			Tabalí		
	T° máx. abs.	T° mín. Abs.	T° media	T° máx. abs.	T° mín. abs.	T° media	T° máx. abs.	T° mín. abs.	T° media
nov-07	33,1	6,7	15,7	35,3	5,4	16,1	sr	sr	sr
dic-07	30,7	8,1	16,5	32,2	6,5	17,4	sr	sr	sr
ene-08	31,2	10,9	18,9	32,2	9,6	19,5	sr	sr	sr
feb-08	30,2	12,4	19,4	31,5	9,8	19,7	sr	sr	sr
mar-08	29,5	9,0	17,9	30,9	6,5	17,9	sr	sr	sr
abr-08	28,1	5,9	14,5	30,3	3,7	14,3	27,0	4,9	14,1
may-08	28,0	3,6	12,1	28,4	1,9	11,8	28,0	3,7	12,6
jun-08	23,1	3,3	10,6	25,3	1,4	9,9	23,2	3,1	11,2
jul-08	24,4	2,9	10,5	24,7	2,3	10,1	26,4	3,6	11,3
ago-08	28,7	3,7	11,8	30,0	1,9	11,4	29,1	2,6	11,9
sep-08	28,9	4,8	12,5	29,8	2,8	12,7	28,2	4,1	12,8
oct-08	26,9	5,6	13,5	28,9	3,8	14,1	26,9	4,2	14,1
nov-08	29,2	8,9	16,3	30,7	6,6	16,5	29,5	8,0	16,4
dic-08	30,6	11,1	18,2	32,0	9,2	18,6	30,9	9,9	18,6
<b>Prom</b>	<b>28,8</b>	<b>6,9</b>	<b>14,9</b>	<b>30,2</b>	<b>5,1</b>	<b>15,0</b>	<b>27,7</b>	<b>4,9</b>	<b>13,7</b>

sr: sin registros

En relación a la temperatura, la variación está dada por la localización de cada sitio experimental, existiendo temperaturas mayores en el sitio de Huallilinga y menores en el sitio de Tabalí, a nivel mensual y anual, producto de su localización mas cercana al litoral.



Cuadro 30: Valores de ETo (mm/mes) en los tres sectores de ensayo.

Mes	Huallilinga			Sotaquí			Tabalí	
	CNR	2007/08	2008/09	CNR	2007/08	2008/09	CNR	2008/09
Agosto	73	73	92	68		91	65	98
Septiembre	97	96	110	91		106	87	110
Octubre	133	156	141	126		132	120	139
Noviembre	159	161	156	150	155	151	143	153
Diciembre	191	171	173	180	163	168	172	176
Enero	189	177	174	178	162	151	170	186
Febrero	156	151	125	147	153	141	140	165
Marzo	135	113	120	127	141	111	121	136
Abril	93	91	86	87	102	73	83	90
Mayo	65	67	57	61	80	54	58	71
Junio	47	66	40	62	68	34	43	
Julio	52	72	59	45	49		47	
<b>TOTAL</b>	<b>1.390</b>	<b>1.394</b>	<b>1.333</b>	<b>1.322</b>			<b>1.249</b>	

En el registro de ETo, no existen grandes diferencias entre los valores entregados por las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's) y aquellos publicados por la Comisión Nacional de Riego (CNR), a nivel anual y mensual.

Al comparar los valores anuales de ETo proporcionados por la CNR, no se aprecian diferencias importantes de esta variable entre las localidades, sin embargo, Tabalí registra un menor valor, 1249 mm/año, producto de su ubicación.

### 5.2.3.- Eficiencia de riego (Ef)

La eficiencia con que se utiliza el sistema de riego indica la proporción del agua aplicada en la zona de raíces que queda disponible para el cultivo, siendo muy importante en la determinación de dicha eficiencia las características del suelo y el sistema de raíces del cultivo.

Durante el desarrollo de los ensayos se efectuó un monitoreo frecuente de la humedad del suelo, utilizando sensores de humedad o DIVINER 2000 y muestreo directo mediante el método gravimétrico. En ambos casos, se tuvo como referencia las constantes hídricas de cada suelo. Estos antecedentes se presentan en el Cuadro 31:

Cuadro 31: Constantes hídricas de los suelos en los diferentes sectores de ensayo.

Variables	Sotaquí	Huallillinga	Tabalí
Capacidad de Campo (CC) (%)	17,08	13,09	22,58
Porcentaje de Marchitez Permanente (PMP) (%)	9,99	8,07	16,7
Humedad Aprovechable (HA) (%)	7,09	5,02	5,88
Densidad Aparente (Da) (gr/cm <sup>3</sup> )	1,06	1,2	1,35
Porosidad Total (%)	60,0	54,7	49,1
Textura	Franco arcillosa	Franco arcillosa a Franco arenosa	Franco arcillosa
Profundidad de Suelo (Z) (cm)	60	70	80
Profundidad de raíces (ZR) (cm)	40	50	50

Para estimar la eficiencia del riego (Cuadro 32), se realizaron determinaciones de humedad gravimétrica en el perfil del suelo, transversalmente a la hilera de plantación y en profundidad, tal como se muestra en la Figura 20.



Figura 20: Marcado para muestreo de humedad gravimétrica en el perfil del suelo. Paltos.



Los indicadores de disponibilidad de agua obtenidos y referidos solamente a los Tratamientos T1 y T3, se presentan en el Cuadro 32 y en la Figura 21 (a, b y c), donde se puede apreciar la distribución del agua en el perfil de suelo, en los tres sectores, con ensayos.

Cuadro 32: Indicadores de disponibilidad de agua en el perfil \*.

Indicadores	Sotaquí		Huallilinga		Tabalí	
	T1	T3	T1	T3	T1	T3
Eficiencia de almacenamiento (%)	79,19	76,91	91,34	75,51	65,96	74,59
Agua en Zona de raíces vs Agua en el perfil (%)	67,07	68,94	60,79	72,39	47,53	56,77
Agua Bajo Zona de raíces vs Agua en el perfil (%)	32,93	31,06	39,21	27,61	52,47	43,23

\* Valores calculados con volúmenes totales de 9.864 y 8.720 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y T3, respectivamente, en la localidad de Sotaquí; en Huallilinga 10.615 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y 7.970 en T3; en Tabalí 7.158 m<sup>3</sup>/ha/año en T1 y 5.205 en T3.

La Eficiencia de Almacenamiento, definida como la relación entre el volumen de agua disponible en la zona de raíces y el volumen de agua requerido en esta zona, presentó resultados variables entre 65,96 y 91,34%, explicable por las condiciones texturales de los suelos; indicando que muchas veces una gran proporción del agua aplicada no es aprovechada por el cultivo, perdiéndose por percolación profunda. Como es el caso de T1, en Tabalí, donde un 34,04% de agua no esta disponible en la zona de raíces (ZR).

Respecto al Agua en Zona de Raíces vs Agua en el perfil, la situación es variada, encontrándose valores mayores en el Tratamiento T3, en los tres ensayos, lo que estaría reflejando que proporcionalmente habría una mayor humedad en esta parte del perfil y menores pérdidas de agua en profundidad.

La localidad con mayor porcentaje de agua en la zona de raíces fue Huallilinga con 72,39% en el tratamiento T3, donde también se produjo la mayor diferencia entre los tratamientos. Por el contrario Tabalí, es la localidad con menor proporción de agua en la zona de raíces, sólo el 47,5% del agua se encuentra en la zona de raíces y más de la mitad está bajo dicha zona, en el caso de T1. En el caso del tratamiento T3 se produce una situación similar en este sector.

Esto indica que al igual que en el caso de los mandarinos, solamente una parte del agua aplicada se encuentra en la zona de raíces de los paltos, mientras que, en términos generales, a lo menos en el caso de los ensayos de paltos, casi el 40% del agua está por debajo de la zona de raíces, lo cual estaría indicando condiciones de baja Eficiencia de Riego; a pesar de los mayores valores de Eficiencia de Almacenamiento.

Con mayor claridad se aprecia lo indicado, al analizar los perfiles de humedad del suelo en los tres ensayos y que se representan en la Figura 21, para cada una de las localidades y tratamientos T1 y T3. Al respecto, se sugiere analizar cada localidad en forma independiente, dado que los indicadores están calculados con valores relativos (%), y están directamente relacionados con las características propias de cada suelo. La simbología de colores utilizada no es comparable.

### Tratamiento 1

Profundidad	Perfil Longitudinal									Media	
	Este	Este					Oeste				
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm		
10 cm			19,84	12,78	3,99	12,35	26,51	12,60			
20 cm	7,86	12,67	17,45	15,84	10,59	13,30	20,60	12,83	8,79		13,4
30 cm	8,86	10,50	16,84	12,80	12,31	10,84	14,94	16,57	11,15		
40 cm	9,40	11,00	17,07	14,56	13,07	17,68	13,63	12,78	10,41		
50 cm	9,14	13,94	16,00	13,69	14,94	11,20	11,93	11,34	10,07		12,1
60 cm	9,81	12,23	16,54	12,15	10,56	12,10	11,14	10,89	9,54		

ZR  
Bajo ZR

### Tratamiento 3

Profundidad	Perfil Longitudinal									Media	
	Este	Este					Oeste				
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm		
10 cm		9,09	28,25	12,52	15,56	10,36	8,84				
20 cm	5,42	9,39	21,44	10,30	13,21	9,79	9,85	7,88			11,8
30 cm	9,59	15,03	16,86	12,42	14,61	10,95	9,39	8,95	5,18		
40 cm	10,70	12,04	13,69	14,31	11,11	12,77	10,26	9,66	9,37		
50 cm	9,18	10,72	10,89	11,58	11,64	11,33	7,79	8,49	7,26		9,5
60 cm	9,26	8,70	11,07	11,83	9,87	11,38	7,66	5,40	6,63		

ZR  
Bajo ZR

24,11 - 30		
20,61 - 24,10		
17,11 - 20,60		
13,61 - 17,10		HA
10,10 - 13,60		
6,61 - 10,09		
3,10 - 6,60		

Figura 21a: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, localidad de Sotaquí.



### Tratamiento 1

Profundidad	Perfil Longitudinal											Media	
	Este		Perfil Longitudinal							Oeste			
	150 cm	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm		
10cm	6,25	24,95	11,33	25,65	8,36	9,52	23,66	14,57	9,64	15,93	17,59	15,16	ZR
20cm	7,81	21,61	11,9 8	19,03	8,58	13,80	24,76	13,02	12,41	17,91	18,40		
30cm	8,27	18,18	13,72	18,40	8,98	12,23	23,76	12,55	14,11	17,49	19,25		
40cm	8,72	17,51	14,01	19,45	10,39	12,23	22,43	12,00	14,84	17,06	19,56		
50cm	9,05	18,22	12,87	16,26	13,51	12,83	16,24	13,14	14,67	17,29	18,06		
60cm	13,89	21,00	13,70	17,89	13,66	15,33	15,11	14,55	17,94	16,89	17,21	16,30	Bajo ZR
70cm	13,57	19,47	12,43	18,18	13,12	14,89	17,38	13,93	19,19	27,00	17,36		
80cm	13,12	18,86	12,15	19,02	13,09	14,16	18,22	13,31	18,01	17,27	17,05		

### Tratamiento 3

Profundidad	Perfil Longitudinal											Media	
	Este		Perfil Longitudinal							Oeste			
	150 cm	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm		
10 cm	9,31	20,01	15,84	10,37	22,43	9,31	8,40	9,81	10,31	20,24	14,40	12,28	ZR
20 cm	9,01	21,90	13,60	9,91	22,54	9,55	7,90	9,16	9,22	21,95	13,33		
30 cm	8,90	18,32	13,42	9,41	19,97	10,62	8,11	10,05	9,18	17,94	12,16		
40 cm	8,47	13,11	12,21	9,26	19,75	10,58	8,31	8,98	8,69	15,28	10,57		
50 cm	7,58	10,91	11,50	8,85	17,79	10,10	8,17	8,98	8,84	11,88	8,96		
60 cm	7,58	9,68	9,75	8,58	12,09	8,71	7,81	8,90	7,90	9,86	7,95	8,98	Bajo ZR

>24,95		
19,02 - 24,94		
13,09 - 19,01		
10,58 - 13,08		
8,07 - 10,57		HA
7,16 - 8,06		
6,25 - 7,15		

Figura 21b: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, localidad de Huallilinga.

### Tratamiento 1

Profundidad	Perfil Longitudinal										Media	
	Este		Perfil Longitudinal						Oeste			
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm		
10 cm				3,99	4,04	5,37						
20 cm			13,49	8,50	6,65	8,81	4,48					
30 cm		15,60	15,32	8,74	7,95	9,38	10,39	16,35				
40 cm	18,50	16,64	14,14	10,93	9,99	9,96	8,21	16,31				
50 cm	18,74	19,88	9,08	14,35	14,24	10,06	10,59	17,50	15,03			
60 cm	19,43	14,26	8,33	10,21	15,13	12,65	10,96	18,10	15,77	5,15		
70 cm	16,92	16,36	11,93	9,17	13,35	9,58	12,00	13,61	13,27	11,09		
80 cm	20,87	14,14	16,64	12,32	7,97	16,49	19,66	12,36	17,27	17,05		

ZR

Bajo ZR

### Tratamiento 3

Profundidad	Perfil Longitudinal										Media	
	Este		Perfil Longitudinal						Oeste			
	120 cm	90 cm	60 cm	30 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm			
10 cm				6,93	4,60							
20 cm			21,25	10,50	11,77	7,77	20,85					
30 cm		9,76	17,82	14,80	7,93	7,47	21,04					
40 cm	4,99	8,59	15,41	13,81	9,32	17,29	18,63	21,17				
50 cm	8,17	13,48	13,37	9,83	9,36	21,67	17,33	22,76	7,97			
60 cm	7,55	9,01	10,52	8,57	6,71	14,23	17,88	19,70	5,66			
70 cm	8,13	9,02	8,00	12,16	9,27	14,55	16,78	16,90	8,42			
80 cm	10,56	8,74	12,32	9,81	9,28	14,49	12,77	12,98	7,28			

ZR

Bajo ZR

>37,29		
31,28 - 37,28		
19,12 - 25,26		
19,12 - 25,26		
13,11 - 19,10		HA
7,11 - 13,10		
1,10 - 7,10		

Figura 21c: Distribución de la humedad del suelo en el perfil de un camellón, localidad de Tabalí.



### 5.2.4.- Factor de Sombreamiento (FS)

El Cuadro 33 indica la proporción de área sombreada en cada caso, calculada como se mencionó anteriormente en el punto 2.2, durante las temporadas de estudio, en cada uno de los ensayos.

En el caso particular de los árboles de Sotaquí, en la temporada 2008-2009, presentaron una menor área sombreada, ya que fueron fuertemente afectados por las heladas invernales en la temporada anterior y el productor tomó la decisión de reducir el follaje.

En Huallilinga y Tabalí no se aprecian resultados significativos atribuibles a las diferentes tasas de riego, durante las dos temporadas. En todos los casos, la poca respuesta de esta variable a la aplicación de agua, puede deberse al corto período de evaluación de los ensayos.

Cuadro 33: Factor de Sombreamiento de los árboles, en los distintos sectores, temporadas y para cada tratamiento ensayado.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2007-2008	0,92	0,91	0,83	0,91
Temporada 2008-2009	0,82	0,83	0,77	0,76
<b>Promedio</b>	<b>0,87</b>	<b>0,87</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008	0,59	0,67	0,63	0,65
Temporada 2008-2009	0,74	0,79	0,76	0,75
<b>Promedio</b>	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2007-2008	0,56		0,60	
Temporada 2008-2009	0,57		0,58	
<b>Promedio</b>	<b>0,57</b>		<b>0,59</b>	

### 5.2.5.- Coeficiente del Cultivo (Kc)

El Coeficiente del Cultivo (Kc), es un factor reductor de la ETo o Evapotranspiración de Referencia y que refleja las propiedades que tiene un cultivo determinado para transpirar o perder agua hacia la atmósfera, considerando además el agua que se evapora desde el suelo. Con los antecedentes obtenidos en las temporadas de estudio, en tres localidades del valle, se calcularon los valores de Kc mensuales, utilizados por los productores, para el

palto considerando estimaciones de la Eficiencia de riego y el factor de sombreado, que se desarrollaron en puntos anteriores. Las curvas de Kc mensual, de las temporadas 2007-2008 y 2008-2009, para la especie palto en las distintas localidades de la Provincia, se muestran en la Figura 22.

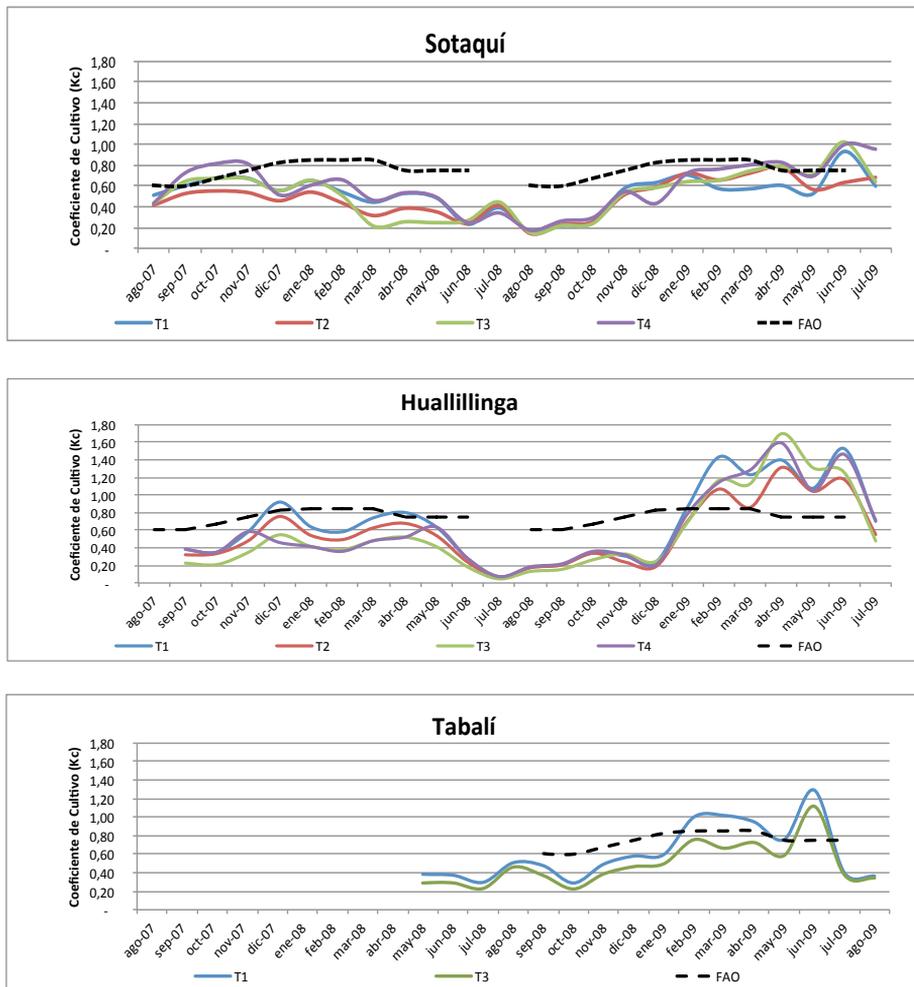


Figura 22: Valores de Kc mensuales experimentales en paltos, sometidos a diferentes volúmenes de agua en los sectores de Sotaquí, Huallilinga y Tabalí, comparados con los propuestos por FAO.



Durante gran parte del período evaluado, en el caso de Sotaquí, el tratamiento T4 presenta valores de Kc muchas veces inferiores a los otros tratamientos, incluso inferior a lo observado en T3, debido a una menor aplicación de agua al cultivo y a la irregular descarga del sistema, incluso en épocas que no eran restrictivas. En la localidad de Huallilinga los valores de Kc del tratamiento T4 caen en la época de restricción (diciembre a abril), alcanzando valores similares a T3, situación esperable debido a la aplicación de los tratamientos.

En Tabalí, los valores de Kc, son mas bajos que aquellos presentados por FAO, aunque se presenta un valor mas alto en el mes de junio, debido probablemente a un aumento excesivo del volumen de riego mensual.

En términos generales los Kc experimentales obtenidos, se encuentran por debajo de los descritos por FAO. Los menores valores de Kc se presentan en los tratamientos T3, debido a la menor reposición hídrica con volúmenes entre 6000 a 8000 m<sup>3</sup>/ha., lo que disminuye el volumen de agua que permanece en el suelo. Se debe recordar que el Kc experimental obtenido es un reflejo de la cantidad de agua que realmente se mantiene disponible para la planta en estos sitios experimentales, ya que el volumen de agua aplicado fue corregido por el factor de eficiencia. Los valores de los factores utilizados para el cálculo de este coeficiente corresponden a un promedio de los valores obtenidos en cada temporada de estudio.

### 5.3.- Respuesta agronómica a los tratamientos de riego.

Las necesidades de riego de cada localidad deben ser ajustadas a las condiciones climáticas y de suelo donde se realiza el cultivo. El no hacer estas determinaciones puede llevar a efectuar aplicaciones erradas de volúmenes de agua, afectando el crecimiento y el rendimiento de la especie, o, en el caso de suelos de texturas pesadas, puede provocar condiciones desfavorables para el crecimiento de raíces y afectar la productividad.

En este punto, se presentan resultados referentes a la respuesta que tuvo el cultivo de paltos, frente a la aplicación de diferentes volúmenes de agua más restrictivos, en comparación a los utilizados por el productor.

#### 5.3.1. Comportamiento del cultivo

El palto se caracteriza por presentar un traslape de diferentes estados fenológicos, especialmente en primavera y verano, identificándose dos períodos críticos, ante un exceso o falta de agua: el primero durante la primavera, cuando se produce el crecimiento de raíces, período en el cual también se define el número de células de los frutos y, el segundo período cuando ocurre el crecimiento del fruto.

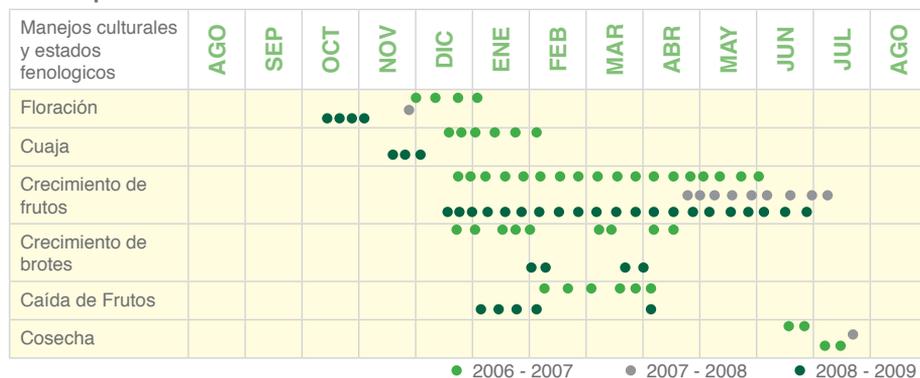
#### Fenología

La ocurrencia de los diferentes estados fenológicos es dependiente de la interacción genotipo ambiente, por lo tanto siempre es importante determinar, para cada localidad en particular, el comportamiento fenológico anual de las especies. Al respecto, en la Figura 23 se muestra el comportamiento fenológico del cultivo en los ensayos.

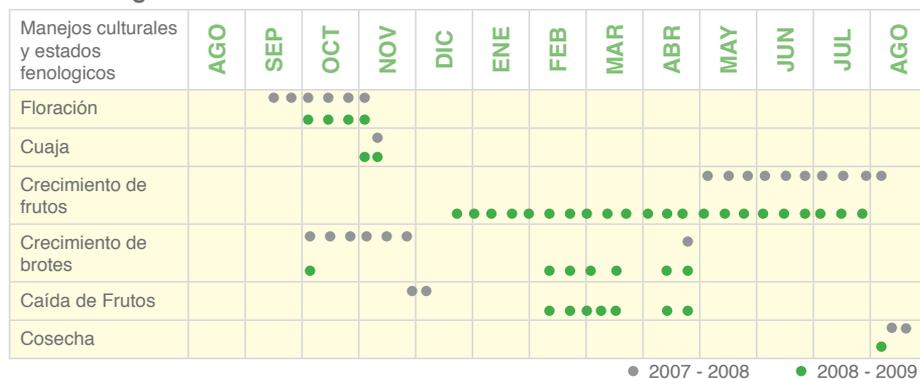
En la localidad de Sotaquí, es posible advertir que la ocurrencia de los eventos varía de una temporada a otra, presentándose una diferencia de hasta 1 mes en la fecha de cosecha entre temporadas, lo cual se debe a condiciones climáticas y a decisiones o factores económicos asumidos por el productor. En las localidades de Huallilinga y Tabalí también es posible observar una irregularidad en la ocurrencia de los eventos fenológicos, entre una temporada y otra, sin embargo, estas diferencias son menos notorias que en Sotaquí.



**a: Sotaquí**



**b: Huallilinga**



**c: Tabalí**

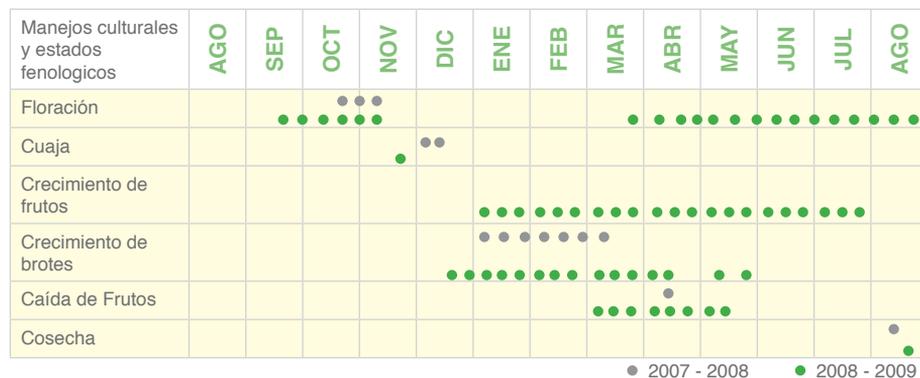


Figura 23: Calendario fenológico del palto en la localidad de A.- Sotaquí, B.- Huallilinga y C.-Tabalí.

## Distribución de raíces de paltos en el perfil

En la localidad de Huallilinga se evaluó la distribución de las raíces en el suelo, hacia fines del período de crecimiento, durante el mes de noviembre de 2008.

Se pudo observar que tanto sobre la hilera como entre hileras, las raíces se distribuyen principalmente en los primeros 20 cm. de profundidad. Más en profundidad, la presencia de raíces, varía dependiendo del sector de ubicación del árbol (Cuadro 34). Lo observado concuerda en parte con la literatura donde se señala que el 80% de las raíces se encuentran en los primeros 40 cm (Lemus et al, 2005). Posiblemente en este huerto existan condiciones de suelo inadecuados en profundidad, o bien, existen problemas de riego que afectan la porosidad de ellos, impidiendo una exploración de raíces hacia la estrata de 40 cm de profundidad.

Cuadro 34: Distribución de raíces (% peso seco), para cada sección de suelo en profundidad (0-60 cm) en cada uno de los tratamientos ubicados en la localidad de Huallilinga.

Profundidad (cm)	Tratamiento (m3/ha)	materia seca de raíces (%)	
		Entre hileras	Sobre hileras
0-20	T1 10.615	68,57	83,65
20-40		15,50	14,25
40-60		3,94	1,82
0-20	T2 8.242	43,33	69,38
20-40		41,19	26,31
40-60		15,48	4,30
0-20	T3 7.970	91,73	73,67
20-40		3,13	19,37
40-60		5,12	6,68
0-20	T4 9.609	44,53	61,94
20-40		44,57	23,86
40-60		10,90	14,19



### Período de crecimiento de raíces y frutos

El palto, como se indicó anteriormente, presenta traslapes en el período de crecimiento de diferentes órganos, lo cual es importante de considerar al momento de definir el manejo de huerto; sin embargo, muchas veces el crecimiento de raíces no es una observación común de hacer, desconocimiento que puede afectar la eficiencia en el uso de los insumos, entre esos el agua. El uso de rizotrones extendidos horizontalmente sobre el suelo (Figura 24), permitió determinar el período de crecimiento de las raíces bajo las condiciones de la localidad de Huallilinga.



Figura 24.- Rizotróon horizontal: cámara de observación de raíces, la cual se cubría con una malla negra raschell y la hojarasca presente en el huerto.



Figura 25.- Raíces superficiales creciendo bajo la hojarasca de los paltos.

El período de máximo crecimiento de las raíces ocurrió entre mediados de Octubre y Noviembre (Figura 25), lo cual coincide con floración, cuaja y crecimiento vegetativo (Figura 26), además existe un segundo peak de menor intensidad en pleno verano (enero). Así,

cuando las raíces comienzan a disminuir su tasa de crecimiento, se produce la máxima tasa de crecimiento de los frutos. Asimismo, se observa que la acumulación de aceite en los frutos, ocurre cuando la tasa de crecimiento de ellos disminuye, como se muestra en la Figura 26.

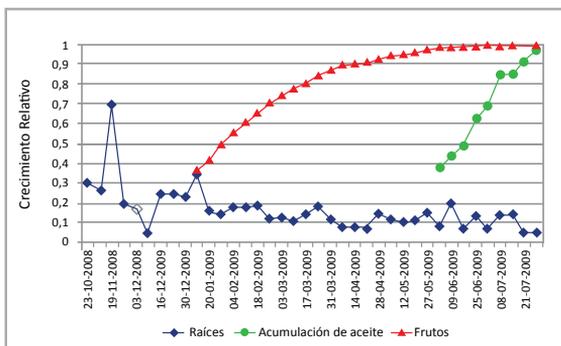


Figura 26: Crecimiento de raíces y frutos en paltos en la localidad de Huallilinga, Ovalle. Temporada 2008-2009.

### Crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo anual, expresado como longitud total de ramillas, hacia el final de la etapa de crecimiento, muestra que los árboles presentan similitudes entre tratamientos en cada una de las localidades. En general, la restricción en el volumen de agua, no afectaría en forma significativa el crecimiento de nuevos brotes. Durante la temporada 2007-2008, el menor registro de longitud de ramillas se debió a ocurrencia de heladas, no así en la localidad de Tabalí donde la intensidad de las heladas fue menor.

Llama la atención el menor crecimiento de los árboles ubicados en Huallilinga, plantados en alta densidad y que aparentemente no se pudieron recuperar de los efectos de las heladas ocurridas durante el invierno de 2007. Sin embargo, en la localidad de Tabalí, es posible observar un efecto de la aplicación diferenciada de agua (Cuadro 35).



Cuadro 35: Crecimiento vegetativo expresado como longitud total de brotes (cm) por rama principal en las diferentes localidades, tratamientos y temporadas.

	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2006-2007	173,60	145,70	132,50	189,90
Temporada 2007-2008	70,80	62,40	75,10	69,20
Temporada 2008-2009	112,60	110,00	117,80	116,30
<b>Promedio</b>	<b>119,00</b>	<b>106,03</b>	<b>108,47</b>	<b>125,13</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008	38,56	45,12	40,82	40,02
Temporada 2008-2009	47,01	65,72	60,55	53,48
<b>Promedio</b>	<b>42,79</b>	<b>55,42</b>	<b>50,69</b>	<b>46,75</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2007-2008	154,20		145,16	
Temporada 2008-2009	112,60		111,19	
<b>Promedio</b>	<b>133,40</b>		<b>128,17</b>	

### Área de sección transversal de tronco

El crecimiento del tronco está relacionado con las aplicaciones de agua de riego. En este caso, el crecimiento de los troncos se expresó como área de sección transversal de tronco (ASTT), como una medida de la respuesta de los árboles a un mayor o menor riego. En los tres ensayos se determinaron los incrementos del ASTT entre temporadas y tratamientos, mostrándose estos resultados en el Cuadro 36.

No existe una tendencia clara en este aspecto. En términos generales Sotaquí, alcanzó un mayor incremento en el tratamiento T2, mientras que en Huallilinga el mayor incremento ocurrió en T4.

En la localidad de Sotaquí después de la primera temporada de tratamientos, se observó un menor incremento del área de la sección transversal de tronco, en aquellos tratamientos con agua aplicada de forma restringida (T3 y T4). Este patrón se perdió en las siguientes temporadas, debido, probablemente al efecto de las heladas en este sector, ocurridas el año 2007, con incrementos del área de sección del tronco muy bajos, durante esa temporada y la siguiente.

En Huallilinga, el incremento fue mayor que en Sotaquí, pero no se ve una estrecha relación con los tratamientos aplicados. Mientras que en Tabalí, para la segunda temporada de ensayos, se observó un incremento menor en el área de sección transversal de tronco en el tratamiento restrictivo de volumen de agua aplicada.

Es probable que los resultados no sean tan claros debido a que el crecimiento en diámetro de los troncos es dependiente de la edad de los árboles y de la carga (Ferreyra y Selles, 2007) y no sólo de la aplicación de agua.

Cuadro 36: Incremento del área de sección transversal de tronco (ASTT cm<sup>2</sup>) en paltos sometidos a distintos tratamientos de riego, en cada localidad.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2006-2007	59,50	63,02	17,83	11,93
Temporada 2007-2008	14,17	23,90	8,09	s.i.
Temporada 2008-2009	5,28	13,38	22,45	6,91
<b>Promedio</b>	<b>26,32</b>	<b>33,43</b>	<b>16,12</b>	<b>9,42</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008	32,11	45,84	32,98	39,09
Temporada 2008-2009	31,21	45,33	42,98	64,79
<b>Promedio</b>	<b>31,66</b>	<b>45,59</b>	<b>37,98</b>	<b>51,94</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2007-2008	8,14		10,98	
Temporada 2008-2009	40,00		34,00	
<b>Promedio</b>	<b>24,07</b>		<b>22,49</b>	

### 5.3.2. Respuesta productiva del cultivo de paltos

En este punto, se hará referencia principalmente a la temporada 2008-2009, dos temporadas después de iniciar los ensayos. Esto se debe a que en la primera temporada de riego, la producción evaluada fue afectada en parte por los distintos tratamientos y por el manejo de la temporada anterior. Por otro lado, durante la temporada 2007-2008, se presentaron heladas que afectaron las zonas de estudio, excepto Tabalí, dada su influencia costera.



La mayor producción se da con el tratamiento de mayor volumen de agua, sin embargo la reducción del volumen de agua en un 30%, en algunos casos, no necesariamente implicó una reducción de la producción (Cuadros 37 y 38). Es el caso de Sotaquí, donde en la tercera temporada la producción del tratamiento de mayor restricción (T3), fue mayor que en los otros tratamientos. En Huallilinga y Tabalí, se observó una mayor producción para el tratamiento T1, es decir, con el mayor volumen de agua aplicado.

Antes de analizar los resultados de rendimiento, es necesario aclarar que solo el ensayo instalado en Sotaquí tuvo registros en la temporada 2006-2007, los otros dos ensayos se inician el año 2007, oportunidad en que se presentan fuertes heladas en el valle. Por este motivo, la temporada “mas normal” de producción, podría ser la temporada 2008-2009; sin embargo, como muestran los Cuadros 37 y 38, en el caso de Sotaquí, en dicha temporada se obtuvo un menor rendimiento que el obtenido la temporada 2006-2007.

En los tres ensayos, se observa una respuesta clara a las aplicaciones de agua, acentuadas en la temporada 2008-2009. En Tabalí, el ensayo no fue afectado por las heladas del año 2007; manifestándose el efecto del agua aplicada claramente en la temporada 2008-2009; en la cual el tratamiento T3 (con aplicación de 5205 m<sup>3</sup>/ha), solo logró un 71% del rendimiento obtenido en T1, correspondiente al tratamiento del productor.

Cuadro 37: Producción en kilos por árbol en cada localidad y tratamiento.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2006-2007	35,04	27,96	21,22	28,88
Temporada 2007-2008 *	6,47	16,18	15,88	6,03
Temporada 2008-2009	12,46	12,55	19,48	16,60
<b>Promedio</b>	<b>17,99</b>	<b>18,90</b>	<b>18,86</b>	<b>17,17</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008 *	3,54	1,71	3,93	2,47
Temporada 2008-2009	39,74	24,97	20,21	33,83
<b>Promedio</b>	<b>21,64</b>	<b>13,34</b>	<b>12,07</b>	<b>18,15</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2007-2008	41,48		45,78	
Temporada 2008-2009	49,55		35,33	
<b>Promedio</b>	<b>45,52</b>		<b>40,56</b>	

\* La presencia de heladas afectó la producción total.

Cuadro 38: Producción en kilos por hectárea en cada localidad y tratamiento.

Sector y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí (417 plantas/ha)</b>				
Temporada 2006-2007	14.611	11.658	8.850	12.043
Temporada 2007-2008	2.698	6.746	6.623	2.515
Temporada 2008-2009	5.197	5.235	8.125	6.922
<b>Promedio</b>	<b>7.502</b>	<b>7.880</b>	<b>7.866</b>	<b>7.160</b>
<b>Huallilinga (714 plantas/ha)</b>				
Temporada 2007-2008	2.526	1.224	2.803	1.763
Temporada 2008-2009	28.373	17.830	14.431	24.156
<b>Promedio</b>	<b>15.450</b>	<b>9.527</b>	<b>8.617</b>	<b>12.959</b>
<b>Tabalí (555 plantas/ha)</b>				
Temporada 2007-2008	23.021		25.408	
Temporada 2008-2009	27.500		19.608	
<b>Promedio</b>	<b>25.261</b>		<b>22.508</b>	

### Contenido de Aceite

El contenido de aceite de los frutos expresado en porcentaje, en cada tratamiento y en los diferentes ensayos, se muestran en el Cuadro 39. Del análisis de los datos es posible señalar que, en general, los tratamientos con menor reposición hídrica aumentan su contenido de aceite, siendo en términos generales el tratamiento T3, aquel con mayor concentración de aceite, medido en base a materia seca. Esta situación resulta favorable para la calidad de los frutos.



Cuadro 39 : Contenido de aceite (%) en frutos de palto sometidos a distintos tratamientos de riego, para cada localidad y temporada de evaluación.

Sectores y temporadas	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<b>Sotaquí</b>				
Temporada 2006-2007	7,70	7,40	10,30	7,90
Temporada 2007-2008	12,20	12,51	12,00	9,80
Temporada 2008-2009	11,52	12,42	10,28	13,88
<b>Promedio</b>	<b>10,47</b>	<b>10,78</b>	<b>10,86</b>	<b>10,53</b>
<b>Huallilinga</b>				
Temporada 2007-2008	13,60	17,64	17,35	12,50
Temporada 2008-2009	8,97	8,31	11,18	10,39
<b>Promedio</b>	<b>11,29</b>	<b>12,98</b>	<b>14,27</b>	<b>11,45</b>
<b>Tabalí</b>				
Temporada 2007-2008	13,77		17,20	
Temporada 2008-2009	14,44		15,34	
<b>Promedio</b>	<b>14,11</b>		<b>16,27</b>	

### Tamaño de los frutos

El tamaño final del fruto está dado por el número de células que se determina en la primera etapa de desarrollo, luego depende del crecimiento de ellas. Por lo tanto es un factor muy influenciado por la disponibilidad de agua.

En este sentido, no se observan grandes diferencias entre tratamientos en las distintas localidades, manteniéndose los frutos en calibres medios. Al observar el crecimiento de los frutos en cada tratamiento, en la Figura 27, se puede decir que en Sotaquí y Huallilinga el Tratamiento T4, fue el que alcanzó un mayor diámetro ecuatorial, los demás tratamientos no se diferencian entre ellos, sin embargo, el tratamiento T2 y el tratamiento T1, fueron los que alcanzaron un menor tamaño, en Sotaquí y Huallilinga, respectivamente. Mientras en Tabalí, donde sólo se evaluaron los tratamientos T1 y T3, se obtuvo un mayor tamaño de fruto en el tratamiento T1. En Sotaquí se lograron tamaños de fruto en torno a los 50 mm y en Huallilinga y Tabalí, en torno a los 60 mm de diámetro ecuatorial.

Esto podría indicar que los volúmenes aplicados en los distintos tratamientos, si bien fueron diferentes, no llegaron a afectar los momentos críticos de la definición del tamaño del fruto.

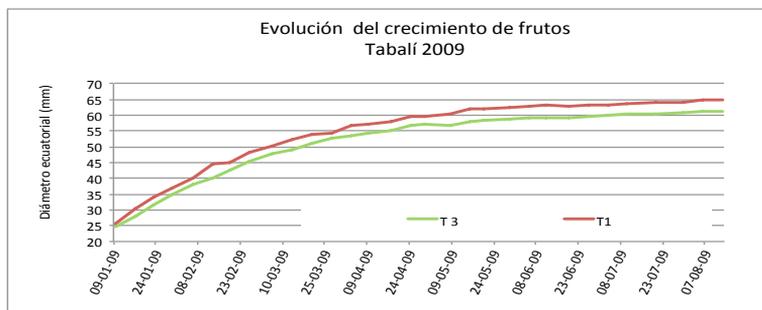
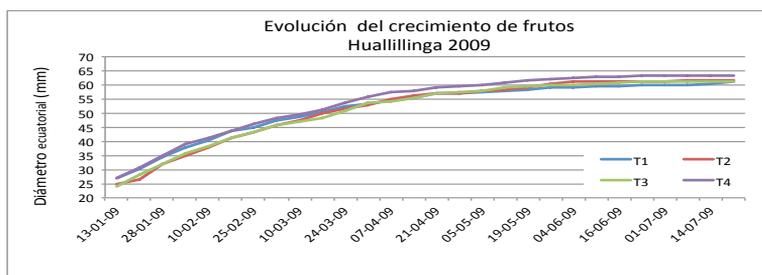
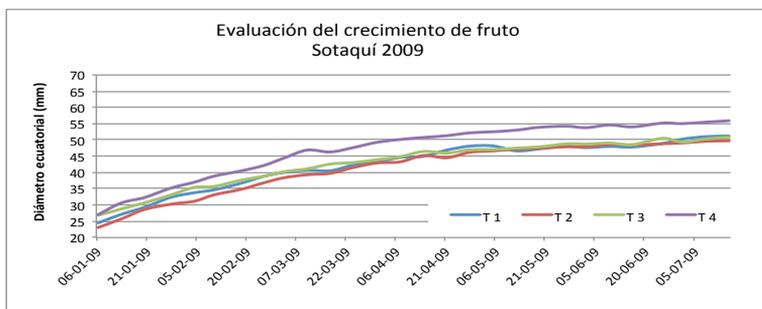


Figura 27: Evolución del crecimiento de frutos de palto en cada ensayo.

### Comportamiento fisiológico

El comportamiento fisiológico de las plantas está fuertemente ligado a las condiciones hídricas de ellas. Una forma de evaluar si éste es adecuado, es a través del potencial



hídrico xilemático en la hoja (Ferreya y Selles, 2007). El potencial hídrico xilemático expresa el nivel energético del agua en la planta y se mide en las hojas (Gardiazabal, 2004).

La evaluación del potencial hídrico xilemático de la hoja, fue efectuada durante todo el período 2007-2008 en los ensayos, siguiendo la metodología propuesta por Ferreyra y Sellés (2007) (Figura 28, 29 y 30).

Los valores del potencial hídrico xilemático variaron, en promedio, entre el rango de -4 y -8 bares, no existiendo grandes diferencias entre tratamientos. Potenciales hídricos xilemáticos entre 0 y -6 Bares, indican que las plantas no estarían sometidas a estrés hídrico (Ferreya y Selles, 2007). En este caso, todos los tratamientos se mueven entre -2.7 y -7.2 bares, estando la mayoría del tiempo en un rango asociado a un estado normal, sin estrés.

Dependiendo de la localidad, el período de estrés es variable, pudiendo ocurrir en distintas épocas y con diferente duración.

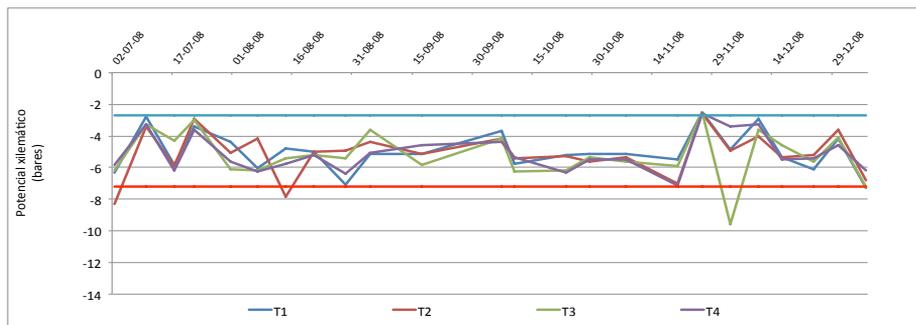


Figura 28: Potencial hídrico xilemático (bares) de los distintos tratamientos registrados en la localidad de Sotaquí. Temporada 2008-2009.

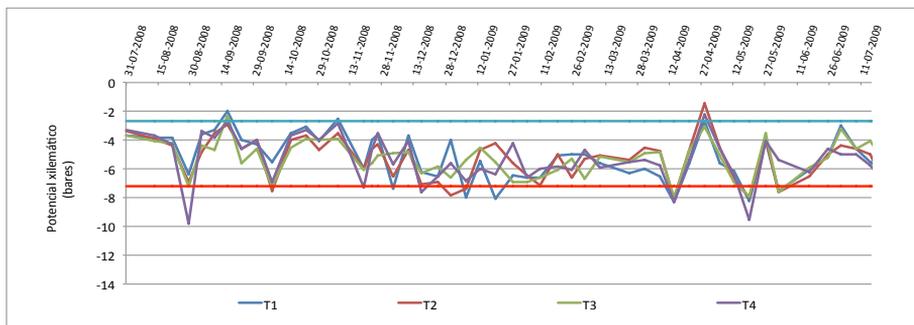


Figura 29: Potencial hídrico xilemático (bares) de los distintos tratamientos registrados en la localidad de Huallilinga, temporada 2008-2009.

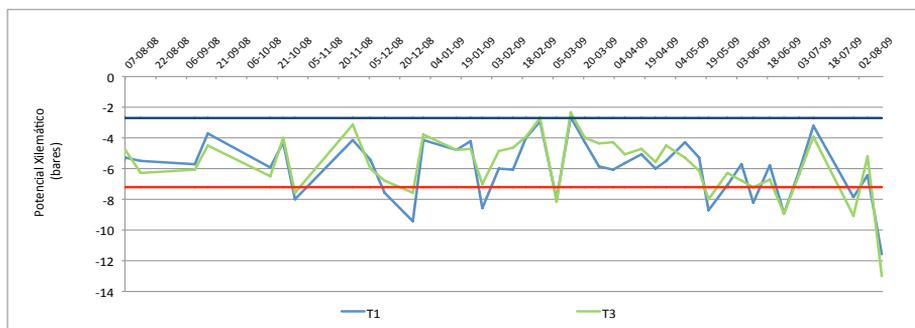


Figura 30: Potencial hídrico xilemático (bares) de los distintos tratamientos registrados en la localidad de Tabalí, temporada 2008-2009.

#### 5.4.- Indicadores de Eficiencia en el Uso del Agua

El Cuadro 40 muestra indicadores de productividad del agua obtenidos en los ensayos de paltos, con valores promedios de las temporadas de estudio. Es posible observar que la localidad de Tabalí obtuvo mejores valores de eficiencia del agua, asociados a los mayores rendimientos obtenidos, respecto de las otras localidades, durante la temporada evaluada; lográndose valores cercanos a  $4 \text{ kg/m}^3$  o alrededor de  $260 \text{ L/kg}$  de fruta producida; no existiendo diferencias entre ambos tratamientos.

En la localidad de Sotaquí el tratamiento con mayor restricción (T3) presentó una mayor EUA y menor AAUP, que los otros tratamientos, lo cual se puede asociar principalmente a las diferencias entre los volúmenes de agua aplicados entre tratamientos, dado que la variación de rendimientos entre ellos no es significativa.



En Huallilinga los mejores valores se obtuvieron en el tratamiento T4, con restricción parcial de agua, durante el crecimiento de frutos; pudiendo ser una alternativa de manejo, siempre y cuando no se afecte la calidad. Valores similares a T4 se obtuvo en el tratamiento T1 o del productor.

Cuadro 40: Valores de productividad agronómica del agua obtenidos en los ensayos evaluados.

Indicadores	Tratamientos	Localidad		
		Sotaquí	Huallilinga	Tabalí
EUA kg/m <sup>3</sup>	T1	0,68	1,49	3,84
	T2	0,79	1,19	
	T3	0,90	1,30	3,77
	T4	0,76	1,57	
AAUP L/kg	T1	1.474	670	260
	T2	1.267	841	
	T3	1.115	770	265
	T4	1.313	636	

La Figura 31, muestra la relación entre el agua aplicada y el rendimiento obtenido. Como se mencionó anteriormente la temporada 2007-2008, fue anómala, y no existieron diferencias atribuibles a los tratamientos. Los puntos que se muestran en esta figura corresponden a valores promedios de agua aplicada y rendimiento, durante las temporadas en que se desarrollaron los ensayos.

En Tabalí, sólo se obtuvo una temporada de resultados, que permitieron vincular la producción y el volumen de agua aplicado. Es posible observar que una disminución en la cantidad de agua aplicada, disminuyó el rendimiento; y en este caso particular lo hace en forma proporcional o directa; lo que no ocurre normalmente para los niveles de rendimientos obtenidos.

Los rendimientos de la localidad de Sotaquí, no muestran efectos de los tratamientos de restricción de agua aplicada, variando éstos entre 7,16 y 7,88 t/ha; para un rango de volumen utilizados entre 8.770 (T3) y 11.059 (T1) m<sup>3</sup>/ha; lo cual, según los resultados, da la posibilidad de disminuir las tasas de riego; no afectándose el rendimiento.

En Huallilinga, los resultados indican una clara respuesta a la restricción de agua, como se aprecia en la Figura 31; obteniéndose rendimientos muy inferiores, cuando el agua aplicada disminuye 39% (T2) y 44% (T3), lográndose producciones por hectárea inferiores a 10 toneladas, en ambos casos.

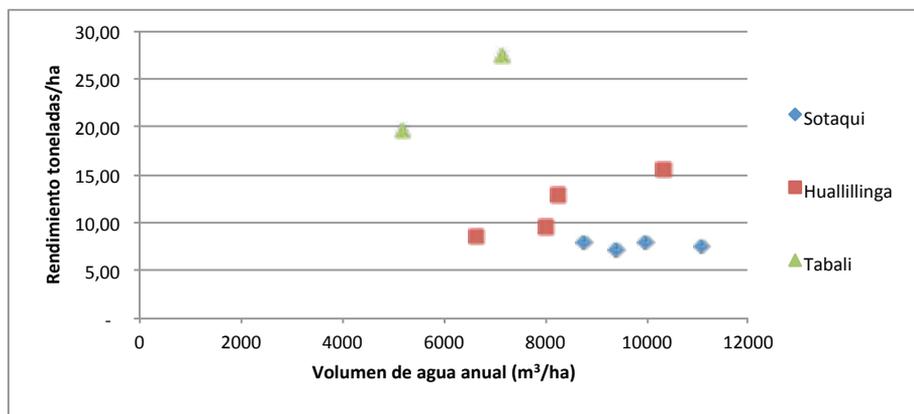


Figura 31: Relación entre los volúmenes de agua anuales y el rendimiento en Paltos, en las tres localidades de estudio.

### 5.5.- Conclusiones y Recomendaciones

Como conclusiones y recomendaciones generales de este estudio se pueden mencionar las siguientes:

- Al igual que en el caso de mandarinos, se recomienda analizar cada ensayo en forma independiente, dadas las características de cada uno de ellos, en cuanto a su localización y antecedentes de establecimiento; que hacen difícil realizar comparaciones.
- Respecto a caudales y uniformidad de emisión, a nivel de productor, los tres ensayos disponían de emisores con caudales de 2,2 y 1,7 L/hr, y valores de Coeficiente de Uniformidad variables en las diferentes temporadas; lo cual hace aconsejable efectuar una revisión periódica de ellos, para tener certeza de los volúmenes de agua que se están aplicando.
- El volumen de agua promedio aplicado por los productores es cercano a los 10.000 m³/ha por temporada; sin embargo, se registraron volúmenes superiores a 13.000 m³/ha, en un caso y otro, donde tal valor superó levemente los 7.000 m³/ha. Este volumen varía según la ubicación geográfica y las variaciones climáticas de cada temporada.
- La respuesta productiva de los árboles frente a los distintos tratamientos de restricción de agua no se expresa en forma clara, siendo significativa sólo en algunas temporadas, mientras en otras se muestran resultados erráticos y confusos. Ello obliga a efectuar un manejo más preciso del tiempo y de la frecuencia de riego, especialmente en suelos arcillosos, de tal forma de no afectar



las condiciones de aireación del suelo, que pudiesen producir asfixia de raíces. Del mismo modo, debe tenerse presente la mayor concentración de raíces en la estrata superficial del suelo, a efecto de establecer una adecuada frecuencia de riego.

- La eficiencia de riego, a nivel de zona de raíces, alcanza un valor promedio de 62%, siendo mayor en los tratamientos con restricción de agua. Esto está indicando que existe una importante proporción del agua aplicada que se pierde por percolación profunda (38%); pudiéndose disminuir tal proporción sin alterar la disponibilidad de agua para la planta.
- En general el comportamiento productivo de esta especie, en el valle del Limarí, presenta alta variabilidad inter anual y entre localidades, además de la variación que se produce ,debido al manejo que realiza cada productor.
- Respecto de fenología, tampoco se apreciaron efectos de los tratamientos de restricción de agua sobre la ocurrencia de los diferentes eventos fenológicos.
- El potencial hídrico de las plantas en las temporadas de estudio, en general fue adecuado, no registrándose períodos extendidos de estrés para los distintos tratamientos. Esto lleva a pensar que desde el punto de vista del estado hídrico de las plantas, es posible disminuir el volumen de agua aplicada, pero se debe tomar la precaución de que este estrés no se produzca en los períodos críticos establecidos.
- En relación a indicadores de eficiencia en el uso del agua (EUA y AAUP), se puede señalar que los valores obtenidos no presentan diferencias importantes entre tratamientos, pero si las hubo entre localidades; con valores entre 0,68 y 3,84 kg/m<sup>3</sup> y entre 260 y 1.474 L/kg.
- Finalmente, y al igual que en el caso de mandarinos, es muy recomendable que a nivel de campo se tenga un control estricto de los caudales y uniformidad de los emisores, para calcular apropiadamente los volúmenes de agua que se desea aplicar. En este caso es aún más relevante, considerando la susceptibilidad del palto a las condiciones de baja aireación y la distribución y concentración de raíces en la estrata superficial del suelo.

## CAPITULO 6

### Bibliografía consultada

Agustí, M. 2003. Citricultura. Mundiprensa. España. 422 p.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Cuadernos de Riego y Drenaje N° 56. 322 p. Food and Agriculture Organization, FAO, Roma, Italia.

Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN, 2011. Catastro Frutícola, principales resultados. IV región de Coquimbo. [En línea] en <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Catastrofruticolas/Catastro-IVRegion-2011.pdf>> [visita octubre 2011].

Centro de Información de Recursos Naturales CIREN – Comisión Nacional de Riego CNR, 1997. Cálculo cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile, 54 p.

Cuenca, R. 1986. Irrigation system design, an engineering approach. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. 552 p.

Ferreya E., Raúl y G. Sellés, Van Sch. 2007. Manejo del riego y suelo en palto. 119 p. Boletín INIA N°160. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación La Cruz, Chile

Ferreya E., Raúl, Gabriel Sellés V., Pilar Gil M. y Rafael Ruiz Sch. 2011. Asfixia radicular en huertos de palto: Manejo del riego y suelo. 54p. Boletín INIA N° 231. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Cruz. La Cruz, Chile

Gardiazabal, F. 1990. Requerimientos de clima, suelo y agua para la implantación de paltos. [En línea] en <[http://www.avocadosource.com/Journals/CIVDMCHILE\\_1990/CIVDMCHILE\\_1990\\_PG\\_03.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/CIVDMCHILE_1990/CIVDMCHILE_1990_PG_03.pdf)> [visita agosto 2011].

Gardiazabal, F. 2004. Riego y Nutrición en paltos [En línea] en <[http://www.avocadosource.com/journals/2\\_seminario/2\\_Seminario\\_Gardiazabal\\_Fertilizacion\\_y\\_Riego\\_SPAN.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/2_seminario/2_Seminario_Gardiazabal_Fertilizacion_y_Riego_SPAN.pdf)> [visita agosto 2011].

Gil Salaya, G. 1997. Fruticultura, potencial productivo, crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. U. Católica de Chile. Santiago. 342 p.

Instituto Nacional de Estadísticas INE, 2008. Resultados Censo Agropecuario 2007. [En línea] en <<http://www.censoagropecuario.cl/index2.html>> [visita octubre 2011].

Lemus S., Gamalier; R. Ferreyra E.; P. Gil M.; P. Maldonado B.; C. Toledo G. y C. Barrera M. 2005. Cultivo del Palto. 75 p. Boletín INIA N°129. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación La Cruz.



Novoa, R. y Villaseca, S. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, 221 p.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. ODEPA. Disponible en < <http://www.odepa.gob.cl/sice/AvanceProductoResult.action;jsessionid=3F318CF4021DD63E86DC182839B6606F>> [visita julio 2011]

Sepúlveda, R. Gonzalo; N. Rojas P. y R. Rojas C. 1988. Introducción de nuevas especies y variedades frutales, regiones III y IV. Informe de especies Subtropicales. Corporación de Fomento de la Producción, CORFO. Chile. p. 33-45.

Teliz D. y Mora A. 2007. El Aguacate y su manejo integrado, 2º edición. Mundiprensa. México. 321 p.



