



Universidad Austral de Chile  
Facultad de Ciencias Forestales

**Pérdidas de agua por intercepción en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la zona del secano interior de la VII Región de Chile**

Patrocinante: Dr. Anton Huber J.

Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para optar  
al Título de **Ingeniero Forestal**

**PATRICIO ANDRÉS VALENZUELA CAVIERES**

VALDIVIA  
2003

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Antón Huber Jaeger	<u>6,1</u>
Informante:	Sr. Andrés Iroumé Arrau	<u>5,8</u>
Informante:	Sr. Carlos Oyarzún Ortega	<u>6,0</u>

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Antón Huber J.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco antes que todo a Dios por darme la posibilidad de existir, de sentir y lograr objetivos. Te agradezco por lo que me ha tocado vivir hasta ahora, por darme una gran familia, les agradezco a ellos por ser responsables en gran medida de la persona que soy hoy en día.

Agradezco al proyecto FONDECYT N°1010713 que financió este trabajo y a Forestal Celco S.A. por el apoyo logístico en la recolección de datos.

Agradezco al profesor Anton Huber por su constante preocupación durante todo el proceso de preparación de este trabajo.

Agradezco a Ramiro Trecaman por compartir sus conocimientos acerca del tema de forma amena y desinteresada, además de todos sus acertados e infaltables recomendaciones.

A los profesores Carlos Oyarzún y Andrés Iroumé por aceptar ser parte de este trabajo de titulación.

Agradezco a Valdivia por haberme recibido y cuidado como uno más de sus hijos. A todos mis cabros y chacricraquis...hay experiencias que sirven para toda una vida, el haberlos conocido es una de estas, solo puedo saludarlos con una inmensa sonrisa: Yuey, Polpaico, Poróh, Yety, Dani, Laila, Pffeifer, Checha, Gonzalo, Iriti, Ale, Freddy, Karla, Foca, Renato, Peco, Chan, Buca, Loco, Robertiño, Monito, Flo, Levi, Rafa, Danny, Mieloso, Paquetiño, Alex y por su puesto a Botánico.....

por todos los momentos vividos y los que aún no llegan...

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a ustedes viejos, mis viejos queridos y  
amados.*

*Dedicado a ti Carmen Gloria, te quiero mucho  
chascona, no creo te imagines cuanto.*

*Dedico especialmente estas hojas con historia a mi  
hermosa sobrina y ahijada, para ti pendejita, por ti y  
para ti todo.*

*Dedico también este trabajo a todos quienes de alguna  
u otra forma han sido parte de este eterno y agradable  
viaje.*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Balance hídrico	3
2.2 Redistribución de las precipitaciones	3
2.2.1 Pérdidas de agua por intercepción	4
2.2.2 Precipitación directa	4
2.2.3 Escurrimiento fustal	5
2.3 Factores que afectan la intercepción	5
2.3.1 Características de la precipitación	6
2.3.2 Condiciones meteorológicas	6
2.3.3 Vegetación	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	9
3.1 Área de estudio	9
3.2 Metodología	10
3.2.1 Redistribución de las precipitaciones	10
3.2.2 Análisis estadístico	12
3.2.3 Regresiones predictoras de las pérdidas de agua por intercepción	13
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
4.1 Precipitación total	15
4.2 Redistribución de las precipitaciones	18
4.3 Pérdidas de agua por intercepción	20
4.4 Variación estacional de las pérdidas de agua por intercepción	28
4.5 Efecto de la edad en las pérdidas de agua por intercepción	30
4.6 Efecto de la densidad sobre las pérdidas de agua por intercepción	33
5. CONCLUSIONES	35
6. BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	
1 <i>Abstract</i>	

- 2 Distribución porcentual de la cantidad de eventos de lluvia por estación (P = Primavera; V = Verano; O = Otoño; I = Invierno) para las tres locaciones, a) El Carmen; b) Cajones y c) Palhuén
- 3 Valores de precipitación (mm) por percentiles para los tres predios en estudio, con un nivel de confianza del 95%
- 4 Pérdidas de agua por intercepción en valor relativo (%) por estación climatológica para eventos menores a diez milímetros
- 5 Gráficos de dispersión entre precipitación incidente (Pp) y precipitación neta (Pn) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel de los seis rodales de estudio
- 6 Gráficos de dispersión entre precipitación incidente (Pp) y precipitación neta (Pn) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en El Carmen
- 7 Gráficos de dispersión entre precipitación incidente (Pp) y precipitación neta (Pn) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en Cajones
- 8 Gráficos de dispersión entre precipitación incidente (Pp) y precipitación neta (Pn) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en Palhuén
- 9 Resultado de la prueba de normalidad para las pérdidas de agua por intercepción
- 10 Pérdidas de agua por intercepción por estación climatológica para los dos años de registro en rodales densos (Ic 1) y ralos (Ic 2)
- 11 Valores de la prueba W para las pérdidas de agua por intercepción en valor relativo (%) por estaciones climáticas
- 12 Valores de la prueba W para las pérdidas de agua por intercepción en valor relativo (%) para condiciones de distinta edad

- 13 Resultado de la prueba W para las pérdidas de agua por interceptación en valor relativo (%) según rangos de intensidad por rodal
- 14 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (mm) para los seis rodales de estudio
- 15 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (%) para los seis rodales de estudio  
Pérdidas de agua por interceptación en valor relativo (%) por estación climatológica para eventos menores a diez milímetros de precipitación
- 16 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (mm) por estación climática
- 17 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (%) por estación climática
- 18 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (mm) por rangos de intensidad
- 19 Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (%) por rangos de intensidad
- 20 Resultados de la prueba t-student intra e inter predial para comparaciones de las curvas de pérdidas de agua por interceptación
- 21 Resultados de la prueba t-student para comparaciones entre curvas de pérdidas de agua por interceptación entre rangos de intensidad y localidades. I 1 = 0-0,9 mm/h; I 2 = 1-1,9 mm/h; I 3 = 2-2,9 mm/h; I 4 = > 3 mm/h

## RESUMEN EJECUTIVO

Se determinaron los componentes de la redistribución de las precipitaciones en tres plantaciones de *Pinus radiata* D. Don con distinta edad y densidad, ubicadas en el Secano Interior de la VII Región de Chile. Los datos comprenden datos desde septiembre de 2001 a septiembre de 2003.

La edad inicial de las plantaciones fue de 5, 7 y 11 años para los predios El Carmen, Cajones y Palhuén respectivamente. Cada predio contó además con dos densidades de manejo, con 700 y 1.250 árboles/ha para El Carmen y Cajones y, 700 y 1.755 árboles/ha para Palhuén.

La localidad con mayor precipitación durante el periodo de estudio fue Palhuén con 1.949 mm, mientras que Cajones y El Carmen presentaron menores montos (1.611 y 1.572 mm respectivamente). Las lluvias se concentraron mayormente en otoño y en menor medida durante invierno.

La precipitación directa fue el principal componente de la redistribución de las precipitaciones, con valores promedio que oscilaron entre 56,9 y 73,9% de la precipitación. El segundo componente de importancia fueron las pérdidas por intercepción de copas, con valores promedio entre 26,4 y 40,5% de la precipitación incidente. Por último, el escurrimiento fustal promedió valores entre 1,5 y 3,1% de la precipitación.

Durante el segundo año del rodal denso de Palhuén se obtuvieron las mayores pérdidas por intercepción registradas en nuestro país (45% de la precipitación anual), lo cual tuvo su origen en las características del rodal junto a un año con bajos aportes pluviométricos.

Se establecieron relaciones inversas entre las pérdidas por intercepción de copas y la magnitud e intensidad de las precipitaciones. El efecto de la edad de las plantaciones en las pérdidas por intercepción se manifestó en un aumento del agua evaporada a medida que aumenta la edad. Del mismo modo, una mayor cantidad de árboles por hectárea produjo también mayores pérdidas por intercepción.

Los valores relativos de pérdidas por intercepción y la cobertura del dosel presentaron una excelente correlación, aumentando su importancia en la redistribución de las precipitaciones ante incrementos de cobertura. El aumento en la cobertura de dosel estuvo estrechamente relacionado con aumentos en edad y densidad, tanto en forma individual como en forma conjunta.

El curso anual de las pérdidas de agua por intercepción estuvo marcado por los elevados montos de primavera y verano, bordeando en algunos casos el 50% de la precipitación.

Palabras clave: Pérdidas por intercepción; *Pinus radiata*; Cobertura del dosel; Densidad; Edad.

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las condiciones climáticas sobre la vegetación radica en que estas determinan el tipo y distribución de las especies vegetales. En Chile, las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don han logrado una excelente adaptación a las condiciones medio ambientales, lo cual ha sido posible en gran medida gracias a la selección genética. De esta forma y debido a su buena respuesta en crecimiento, la han posicionado como la especie exótica de mayor importancia en el sector silvícola nacional, representando una de las opciones más utilizadas al establecer plantaciones forestales.

Por esto es indispensable conocer el efecto que las plantaciones de *P. radiata* tienen sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico. En este sentido, Calder (1998) señala que el principal efecto que tiene una superficie boscosa sobre el balance hídrico es redistribuir el agua que cae sobre el dosel de los árboles. Este proceso se divide en tres fracciones: precipitación directa, escurrimiento fustal y pérdidas de agua por intercepción.

Precipitación directa es el agua de lluvia que cae al suelo directamente o por goteo, mientras que el agua que llega al suelo a través del tronco se denomina escurrimiento fustal. Por su parte, las pérdidas de agua por intercepción representan el agua que es evaporada por la superficie de hojas, ramas y fuste.

En la actualidad la zona del secano interior de la VII Región abarca 847.800 ha repartidas casi en su totalidad en terrenos agrícolas y ganaderos. Ante esta situación, existe un gran interés por dar un uso forestal parte de esos terrenos, lo cual queda de manifiesto con el proyecto Forestación en Secano de Fundación Chile (Gutiérrez, 2002).

El objetivo principal de este trabajo es determinar las pérdidas de agua por intercepción en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* con distintas edades y densidades, ubicadas en la zona del secano interior de la VII Región. La zona posee un clima mediterráneo con una estación seca superior a seis meses y presenta elevados índices de erosión producto del uso intensivo del suelo en actividades agrícolas y ganaderas.

Para cumplir con lo anterior será necesario:

- Cuantificar los componentes de la redistribución de las precipitaciones: precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal y pérdidas de agua por intercepción.
- Evaluar el efecto de la densidad y edad de las plantaciones en las pérdidas por intercepción.
- Determinar el efecto de las características de las precipitaciones (cantidad e intensidad) sobre las pérdidas de agua por intercepción.

- Generar regresiones predictoras de pérdidas de agua por intercepción para las condiciones del estudio.

De esta forma, este trabajo de titulación contribuirá a aumentar el conocimiento del efecto de plantaciones jóvenes de *P. radiata* sobre el recurso hídrico y en especial, sobre las pérdidas de agua por intercepción en una zona con una creciente presión de cambio de uso del suelo. Debido a las condiciones meteorológicas del área de estudio, se espera obtener los mayores valores de pérdidas por intercepción registrados hasta el momento en nuestro país.

La importancia de los resultados esperados radica en la necesidad de disponer de mayores antecedentes hidrológicos, que permitan evaluar el real impacto del uso forestal al que se pretende dar a la zona, al forestar una gran superficie de terrenos dedicados a la ganadería y agricultura de subsistencia.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Balance hídrico**

La medición y predicción de las pérdidas de agua por interceptación por el bosque es un requisito esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el balance hídrico (Huber y Oyarzún, 1984; Cantú y González, 2002).

Por su parte, Hoover (1962) señaló que la comparación entre el balance hídrico del bosque y suelo desnudo tiene poca importancia práctica, ya que es difícil encontrar suelos sin algún tipo de vegetación. Señaló además que es mucho más importante conocer las diferencias que existen entre diversos tipos de bosques (composición específica, densidad, clases de edad, disposición de la cubierta boscosa) u otros tipos alternativos de vegetación.

### **2.2 Redistribución de las precipitaciones**

El proceso de redistribución de las precipitaciones comienza con la llegada de las gotas de lluvia sobre el dosel de los árboles. Parte de la precipitación atraviesa el dosel sin contactar hojas ni ramas, mientras que la otra fracción que si toca hojas y ramas puede alcanzar la superficie del suelo por goteo o bien a través del tronco del árbol.

No obstante, parte de la precipitación es retenida en hojas, ramas y tronco, pudiendo en este caso evaporarse durante o después del evento de lluvia (Xiao *et al.*, 2000b). La cantidad de agua que es retenida por el dosel es conocida como capacidad de almacenamiento o retención del dosel (Lee, 1980; Zeng *et al.*, 2000; Cantú y González, 2002), la cual es de importancia para las pérdidas de agua por interceptación ya que si el dosel no se encuentra saturado, no existirá drenaje a través de este, aumentando el tiempo disponible para la evaporación del agua retenida (Zeng *et al.*, 2000).

De esta forma, la redistribución de las precipitaciones se divide en tres fracciones: interceptación, escurrimiento fustal y precipitación directa (Donoso, 1981; Crockford y Johnson, 1983; Pacheco, 2001), siendo la precipitación directa el componente que aporta más agua al suelo, lo cual es válido tanto para bosque nativo como para especies introducidas (Almizry, 1997; Hot, 1998; Huber e Iroumé, 2001; Little, 2002).

De acuerdo con Crockford y Johnson (1983), el proceso de redistribución de la precipitación es complejo e involucra un amplio rango de características vegetacionales (tamaño, edad, estructura física, interacción inter e intraespecífica, y variaciones estacionales en el hábito de crecimiento) como también características de las precipitaciones (intensidad, duración y ángulo de contacto con la vegetación).

### 2.2.1 Pérdidas de agua por interceptación

Wilm (1962) señala que la primera influencia de una masa boscosa sobre la precipitación es la pérdida de agua por interceptación, estando ésta en función del espacio de almacenamiento de agua que exista en la superficie de la vegetación al comenzar la lluvia.

Por su parte, Lee (1980) define las pérdidas de agua por interceptación como la fracción de la precipitación que se evapora desde las superficies externas de la planta. Esta agua interceptada por las copas de árboles es hidrológicamente importante, ya que provoca una humectación desigual del suelo forestal. Donoso (1997) incluye en el concepto de pérdidas de agua por interceptación el agua absorbida por hojas.

El cuadro 1 muestra un resumen de las pérdidas de agua por interceptación en Chile en plantaciones de *Pinus radiata* para distintas ubicaciones geográficas. Se puede observar un aumento en las pérdidas de agua por interceptación a medida que se disminuye en latitud, lo cual estaría dado principalmente por un efecto conjunto de aumento en las temperaturas y una disminución de las precipitaciones.

Cuadro 1. Pérdidas de agua por interceptación (Ic) en plantaciones de *Pinus radiata* en algunas localidades de Chile

Ubicación	Densidad (N/ha)	Edad (años)	Cobertura (%)	Ic (%)	Fuente
37°14' Lat. S – 72°31' Long. W	417	16	56	30	Huber e Iroumé (2001)
37°40' Lat. S – 72°20' Long. W	833	8	75	34	Muñoz (1999)
37°40' Lat. S – 72°20' Long. W	460	15	66	31	Almizry (1997)
37°54' Lat. S – 72°22' Long. W	460	15	66	30	Huber y Trecaman (2000)
37°55' Lat. S – 72°25' Long. W	395	8	50	26	Huber e Iroumé (2001)
39°48' Lat. S – 73°14' Long. W	733	25	72	16	Huber e Iroumé (2001)

Huber e Iroumé (2001) concluyeron sobre la base de 9 sitios de investigación en Chile, que las pérdidas de agua por interceptación en plantaciones de coníferas varían entre un 11 y 39% de la precipitación incidente, variación que obedecería cambios en manejo silvícola, ubicación geográfica y principalmente a la edad de las plantaciones. Estos datos se suman a una gran cantidad de estudios en plantaciones de coníferas a nivel mundial, en los cuales se ha determinado que las pérdidas de agua por interceptación varían entre en 10 a 40% del total de la precipitación incidente (Crockford y Richardson, 2000; Huber e Iroumé, 2001; Jackson, 2000; Cantú y González, 2002).

### 2.2.2 Precipitación directa

Precipitación directa es definida como la porción de lluvia que atraviesa el dosel a través de claros o por goteo desde hojas y ramas (Crockford y Richardson, 2000; Xiao *et al.*, 2000a). Sin embargo, Dunkerley (2000) y Xiao *et al.* (2000b) reconocen dos elementos adicionales de la precipitación directa: precipitación directa libre y

precipitación directa liberada. La primera es agua que atraviesa el dosel sin tocar las hojas o ramas, mientras que el agua que cae o gotea desde hojas y ramas es la precipitación directa liberada.

Según Lee (1980), los niveles de precipitación directa se encuentran para una amplia variedad de bosques entre un 60 a 90% de la precipitación incidente. En Chile, datos aportados por Almiry (1997) en plantaciones de *Pinus radiata* indican que la precipitación directa varía entre un 63 y 71% de la precipitación incidente, mientras que según Huber e Iroumé (2001) la precipitación directa va desde un 55 a 86%. Ambas publicaciones señalan que la precipitación directa es el componente de la redistribución de las precipitaciones que aporta la mayor cantidad de agua al suelo.

Por otra parte, dificultades en la obtención de datos precisos de precipitación directa se deben principalmente a efectos aerodinámicos a nivel de dosel y de suelo, además del efecto de los claros y su relación con la velocidad y dirección del viento (Crockford y Richardson, 2000).

### 2.2.3 *Escurrimiento fustal*

En el proceso de redistribución de las precipitaciones, el escurrimiento fustal es el elemento que menos agua aporta al sistema. No obstante, la cantidad de agua por concepto de escurrimiento fustal tiene gran importancia ecológica, ya que el suelo absorbe esta agua en la zona radicular primaria en la base del árbol (Lee, 1980), pudiendo ser de especial importancia en el consumo de agua durante épocas del año con bajos niveles de precipitación (Huber y Oyarzún, 1983).

El escurrimiento fustal puede ser influenciado por esquemas de manejo. Al respecto, Huber e Iroumé (2001) infirieron que el escurrimiento fustal a nivel de rodal disminuye a medida que se disminuye la densidad, mientras que a nivel individual escurrimiento fustal se incrementa, lo cual es de especial importancia en zonas en que el agua se comporta como factor limitante del crecimiento. Los mismos autores señalan que el escurrimiento fustal en plantaciones de coníferas varía para el caso chileno entre 1 a 13% de la precipitación total, dependiendo de la densidad, cantidad de precipitación y latitud.

## 2.3 Factores que afectan la interceptación

Los factores que regulan la cantidad de agua interceptada por el bosque son la capacidad de retención del agua (capacidad de almacenamiento del dosel), la cantidad de agua que se puede evaporar desde el follaje durante una lluvia (oportunidad de evaporación o tasa de secado) y el tipo de precipitación (Lee, 1980; Donoso, 1983).

Respecto de las características de las precipitaciones, Huber y Oyarzún (1984) indican que el agua interceptada por el bosque también depende de la intensidad y duración de las precipitaciones, además de la intensidad del viento durante la lluvia.

Xiao *et al.* (2000a) indican que un modelo ideal de predicción de pérdidas de agua por intercepción debería considerar factores meteorológicos y arquitectónicos (estructurales) de los árboles. Además, este modelo debería ser capaz de distinguir la influencia de factores propios del árbol (especie, arquitectura, dimensión, forma y rugosidad de hojas y fuste), factores de la precipitación (intensidad, magnitud y duración) y factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento; radiación solar y temperatura del aire) sobre los procesos de intercepción.

### 2.3.1 Características de la precipitación

Importante es el rol de la intensidad y duración de las precipitaciones sobre la intercepción, ya que a medida que estas aumentan, la participación de la intercepción en la redistribución de las precipitaciones comienza a decrecer (Huber y Oyarzún, 1984). Por el contrario, para eventos de baja intensidad y baja duración las pérdidas por intercepción son mayores (Crockford y Richardson, 2000).

A mediados del siglo pasado, Hoover (1962) señaló que para eventos de precipitación inferiores a 2 mm, las pérdidas por intercepción son cercanas al 100%. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Huber y Oyarzún (1984) en un bosque de *P. radiata* en la X Región, donde se determinó que en eventos de precipitación inferiores a 2 mm la retención de agua por el dosel es máxima, situación que se mantiene hasta que las copas se saturan de agua. Una vez que las copas se han saturado, los montos de intercepción se diferencian por la intensidad de cada lluvia, existiendo una correlación significativa entre la magnitud de las precipitaciones y las pérdidas por intercepción (Almizry, 1997).

### 2.3.2 Condiciones meteorológicas

Además de las características de las precipitaciones, Crockford y Richardson (2000) señalan que la velocidad del viento durante y después de lluvias, la temperatura y humedad del aire son factores que inciden directamente en las pérdidas de agua por intercepción.

La relación existente entre el viento y las pérdidas de agua por intercepción es inversa, ya que éste es capaz de mover el dosel, provocando la caída de las gotas retenidas en ramas y hojas, aumentando así la precipitación neta. El efecto del viento se hace más notorio ante eventos de mayor intensidad, disminuyendo notoriamente el tiempo de exposición para una potencial evaporación (Huber y Oyarzún, 1984).

Crockford y Richardson (2000) afirman también que al evaluar las pérdidas por intercepción debe ser considerada la ubicación del bosque, debido a que el efecto que tendrá el viento sobre la intercepción será distinto en un bosque situado al lado de una pradera que en un bosque inmerso en una zona boscosa. El efecto del viento sobre las pérdidas de agua por intercepción es complejo y está dado por el ángulo de las precipitaciones incidentes, el efecto catalizador de evaporación y principalmente por el movimiento que produce en las ramas.

Para el caso chileno, se observa una disminución de las pérdidas por intercepción a medida que se avanza hacia el sur, como se aprecia en el cuadro 1. Esta variación obedecería a un aumento en las temperaturas medias anuales junto con una disminución en la cantidad e intensidad de las precipitaciones.

### 2.3.3 Vegetación

Las características de los bosques que inciden en la intercepción son: la capacidad de almacenaje del dosel a través de estaciones climatológicas y especies; el índice de área foliar y ángulo de hojas; la capacidad de almacenaje de arbustos y capas inferiores de vegetación; la hidrofobia de hojas y corteza; y la proyección de copa de árboles. (Crockford y Richardson, 2000).

Los mismos autores indican que las características de los árboles que inciden en la estimación de precipitación directa y escurrimiento fustal, y por ende en las pérdidas por intercepción son: tamaño de la copa, forma y orientación de hojas, ángulo de ramas, obstrucciones en la vía del flujo de agua, tipo de corteza y, por último, claros del dosel.

Schellenkens *et al.* (1999) define capacidad de almacenamiento o retención de la vegetación como la cantidad de agua que permanece en el dosel cuando la precipitación incidente y precipitación directa han cesado. Esta característica es de gran importancia ya que determina la máxima cantidad de agua que el dosel puede retener (Dunkerley, 2000), dependiendo a su vez en el tipo de hojas y corteza.

Dunkerley (2000) especifica aún más mencionando tres componentes de la capacidad de retención del dosel; retención transitoria (agua que caerá desde el dosel), retención condicional (agua que por vibración de la planta por el viento podría caer) y retención residual (agua que solo podría ser removida por evaporación).

La edad del bosque también influye en los montos de pérdidas por intercepción. En este sentido, Huber e Iroumé (2001) demostraron que las pérdidas por intercepción en plantaciones de *Pinus radiata* aumentan con la edad de las plantaciones, debido a un aumento en la biomasa y a la tendencia de posicionar sus ramas de forma más horizontal. Hofstede (1998) afirma que existen numerosos estudios que indican que el área basal es una de las características estructurales de mayor importancia en las pérdidas de agua por intercepción, llegando en algunos casos a presentar una mayor correlación que el índice de área foliar.

Por su parte, Donoso (1983) señala que las pérdidas de agua por intercepción encuentran sus máximos valores en edades intermedias, al producirse el cierre del dosel. En este sentido, (Hoover, 1962) señala que las pérdidas de agua por intercepción se incrementan a medida que aumenta la densidad de copas, lo cual indicaría que disminuir la densidad de copas mediante esquemas silvícolas provocaría una disminución del agua evaporada desde el dosel, aumentando la disponibilidad de agua.

Jackson (2000) demuestra en un sistema de agroforestería que al aplicar una poda leve, removiendo el metro inferior de follaje, las pérdidas de agua por intercepción disminuyen levemente. Distinto es el caso para podas severas, ya que al remover un 85% de la copa, la intercepción pasa de 21,6% en el periodo anterior a la poda a cero en el periodo posterior a la poda.

En el mismo caso, Jackson (2000) señala que los montos de pérdidas de agua por intercepción en el periodo siguiente a la poda severa, son similares a los montos observados en los primeros tres años de establecimiento de la plantación.

El efecto de la densidad en plantaciones de *P. radiata* fue estudiado también por Oyarzún *et al.* (1985), quienes establecieron que existe una relación directa entre las pérdidas de agua por intercepción y la densidad y cobertura del dosel.

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Área de estudio

El presente trabajo de titulación se realizó en los predios El Carmen, Cajones y Palhuén, propiedad de la empresa Forestal Celco S.A., ubicados en la zona del secano interior de la VII Región. La ubicación geográfica de cada predio muestra en la figura 1.

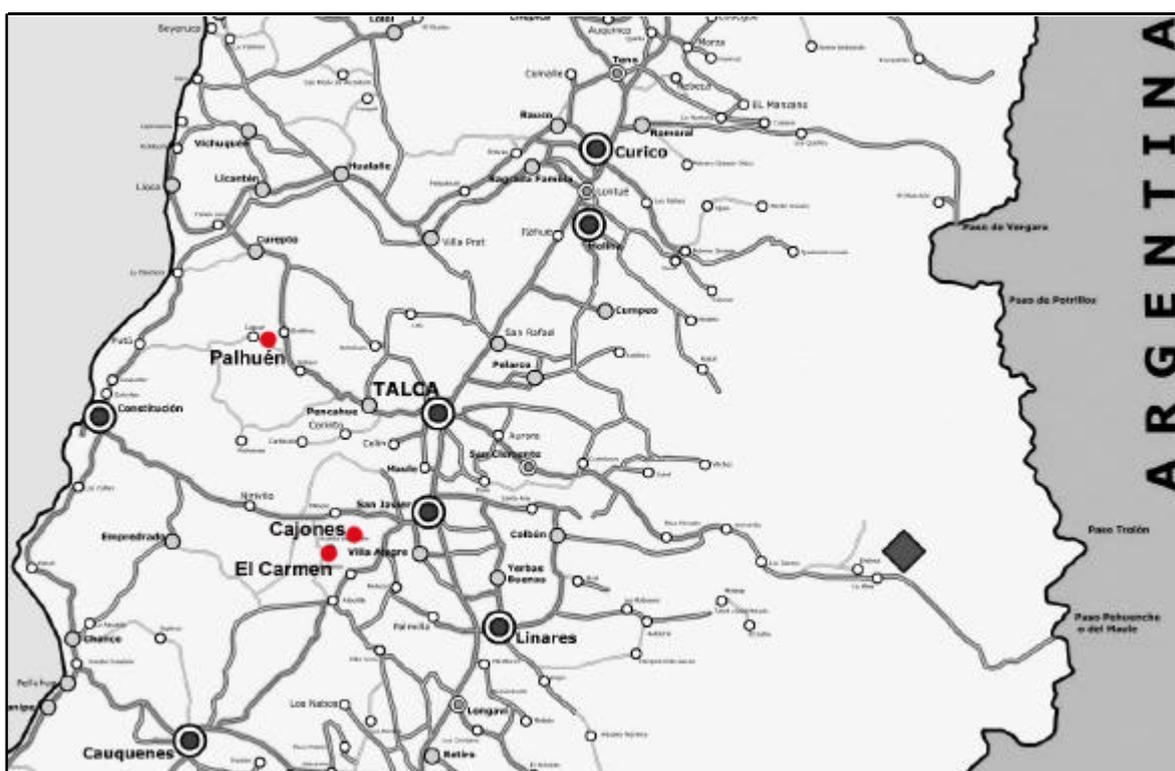


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio

Cada predio contó con dos rodales de distinta densidad. Las características dasométricas de los sitios de estudio se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características de rodales en estudio al comienzo del periodo de mediciones

Rodal	Código	Año de plantación	Densidad (Árboles/ha)	DAP (cm)	Altura (m)	Cobertura (%)
El Carmen 1	EC 1	1997	1.250	9,0	6,8	68
El Carmen 2	EC 2		700	9,2	6,2	34
Cajones 1	CA 1	1995	1.250	12,6	7,3	78
Cajones 2	CA 2		700	11,0	7,4	31
Palhuén 1	PA 1	1991	1.755	15,9	15,3	91
Palhuén 2	PA 2		700	18,3	14,5	71

Se aprecia en el cuadro 2 que la diferencia en diámetros y altura se hace más evidente para los rodales de más edad, evidenciando una mejor respuesta en crecimiento en el rodal Palhuén 2. Además, la cobertura sigue una tendencia lógica; a mayor edad y densidad, mayor es la cobertura del dosel.

La variación en la densidad para rodales coetáneos es producto de un raleo, el cual se realizó simultáneamente en los tres predios de estudio en septiembre de 2001. Esta fecha correspondió al inicio del periodo de estudio extendiéndose hasta septiembre de 2003.

El clima de la zona es templado cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada. Según Fuenzalida (1971), esta zona presenta todas las características de un clima mediterráneo, con precipitaciones invernales y una estación seca producida por el dominio anticiclónico ininterrumpido. Las precipitaciones bordean un promedio anual de 667 mm (Dirección General de Aguas, 1987), concentradas en un 75% entre los meses de mayo y agosto. La temperatura media anual es de 14,7°C, siendo enero el mes más cálido con 22°C.

El cuadro 3 muestra registros históricos de precipitación para Curepto y San Javier, las cuales por cercanía geográfica serán consideradas como referentes para los predios en estudio (Figura 1). De esta forma, al predio Palhuén le corresponde el registro de Curepto (35°07' Lat. S – 72°02' Long. W), mientras que El Carmen y Cajones la localidad de San Javier (35°35' Lat. S – 71°44' Long. W).

Cuadro 3. Registro histórico mensual de las precipitaciones (mm)

Localidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Curepto	6,7	8,3	11	30,3	114	179,5	154,8	119,8	46,5	36	12,8	11	730,7
San Javier	21	4,4	4,4	45,6	140,4	277,1	169,4	133,3	54	47,3	18,3	17,5	932,7

FUENTE: Oficina Meteorológica de Chile (1967)

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Redistribución de las precipitaciones

Para cuantificar los componentes de la redistribución de las precipitaciones se cuenta primeramente con la información de precipitación total o incidente. Esta fue registrada con pluviógrafos ubicados a campo abierto en las cercanías de cada rodal en estudio, asumiendo que la precipitación captada por tales pluviógrafos es la misma que cae sobre el dosel de los árboles.

Los componentes de la redistribución de las precipitaciones se obtuvieron a partir de seis parcelas de medición, en lo que Zeng *et al.* (2000) definió como análisis puntual. Esto implica que las parcelas deben ser lo suficientemente grandes como para incluir tanto el dosel de los árboles como el espacio entre doseles.

Para efectos de análisis, se trabajó en base a eventos de precipitación, de modo de evitar registros que involucren agua de precipitaciones anteriores, lo cual podría subestimar la capacidad de almacenamiento del dosel, obteniendo registros sesgados. De esta forma, se trabajó sólo con eventos de precipitaciones que estuvieron precedidos de un periodo de 18 horas libres de precipitaciones.

**Precipitación directa.** La precipitación directa se midió mediante canaletas metálicas en forma de V ubicadas a 30 cm del suelo. Las dimensiones de cada canaleta fueron 15 cm de ancho por 25 m de largo, lo que representa una superficie de recolectora de 187 pluviógrafos (0,02 m<sup>2</sup> por pluviógrafo) por canaleta.

Cada rodal de estudio presentó una canaleta recolectora, la cual transportó el agua captada hasta un tambor con un registrador electrónico a tiempo real. La utilización de esta superficie recolectora permitió internalizar la variabilidad espacial la precipitación directa, abarcando zonas de alta y baja precipitación directa.

**Escurrimiento fustal.** El escurrimiento fustal se midió mediante collarines de goma ubicados en forma de espiral en los fustes de 10 árboles por rodal. El agua capturada por los collarines de cada árbol fue conducida mediante tubos de PVC hacia otro registrador electrónico.

Con el fin de evitar la fuga de agua a través de las grietas y fisuras del tronco, los collarines se instalaron sobre una superficie del fuste previamente lijada. Para la obtención del escurrimiento fustal en milímetros se ocupó la siguiente fórmula:

$$Pf = (Vol/n * D) / 10.000 \quad (1)$$

Donde:

Pf : Escurrimiento fustal (mm)  
Vol: Volumen de agua capturada por collarines (litros)  
n: Número de árboles con collarín  
D: Densidad del rodal (árboles/ha)

**Pérdidas de agua por intercepción.** Las pérdidas de agua por intercepción se obtuvieron a través de la fórmula de redistribución de precipitaciones para cubiertas boscosas (Huber y Oyarzún, 1983; Fuentes *et al.*, 1994; Crockford y Richardson, 2000; Xiao *et al.*, 2000b; Huber e Iroumé, 2001; Iroumé y Huber, 2002):

$$Pp = Pd + Pf + Ic \quad (2)$$

Siendo:

Pp: Precipitación total o incidente (mm)  
Pd: Precipitación directa (mm)  
Pf: Escurrimiento fustal (mm)  
Ic: Pérdida de agua por intercepción (mm)

Despejando  $I_c$  de la fórmula anterior se obtienen las pérdidas de agua por interceptación.

$$I_c = P_p - (P_d + P_f) \quad (3)$$

La capacidad de retención de dosel se determinó mediante la relación gráfica precipitación incidente - precipitación neta ( $P_n$ ). Para esto se seleccionaron eventos de precipitación menores a cinco milímetros y que estuviesen precedidos por lo menos de 24 horas sin precipitación.

### 3.2.2 Análisis estadístico

El análisis de datos comenzó con la determinación de las pérdidas de agua por interceptación para cada evento de lluvia. Además, para cada evento se determinó la intensidad (mm/h) y duración (h).

Debido a la obtención de registros por dos años, se decidió separar cada año en cuestión, de modo que los seis rodales iniciales pasaron a conformar 12 parcelas de estudio (dos años por rodal). La simbología utilizada en la diferenciación de cada año se muestra en el cuadro 4. En este se aprecia el año de evaluación (subíndice) junto con la edad de la plantación.

Cuadro 4. Denominación del año de evaluación para cada situación

Predio	Año 1	Año 2
El Carmen	EC 1 <sub>1</sub> (5 años)	EC 1 <sub>2</sub> (6 años)
	EC 2 <sub>1</sub> (5 años)	EC 2 <sub>2</sub> (6 años)
Cajones	CA 1 <sub>1</sub> (7 años)	CA 1 <sub>2</sub> (8 años)
	CA 2 <sub>1</sub> (7 años)	CA 2 <sub>2</sub> (8 años)
Palhuén	PA 1 <sub>1</sub> (11 años)	PA 1 <sub>2</sub> (12 años)
	PA 2 <sub>1</sub> (11 años)	PA 2 <sub>2</sub> (12 años)

En caso que los datos se ajusten estadísticamente a una distribución normal (Shapiro-Wilks) y que las muestras a comparar presenten una varianza homogénea (Bartlett), se realizará un análisis de varianza para determinar posibles diferencias significativas (95% de confianza) entre grupos. De existir estas diferencias, se procederá a realizar un test de comparaciones múltiples de Tukey, para determinar los grupos que difieren significativamente en sus medias poblacionales.

Por el contrario, si no es posible probar las hipótesis necesarias para el análisis de varianza se empleará la prueba no paramétrica W, la cual compara las medianas de las poblaciones en lugar de medias, como es el caso de la mayoría de las pruebas paramétricas.

En consecuencia se trabajó preliminarmente con dos curvas de distribución teóricas; distribución Normal y distribución Gamma, pues se sabe son las dos más empleadas en climatología (Fernández, 1996).

De esta forma y en caso de trabajar con la prueba W, se realizarán comparaciones pareadas, de modo de aislar en una primera instancia la densidad (árboles/ha) para poder comprobar el efecto que tiene la edad sobre las pérdidas de agua por intercepción. Luego se realizarán comparaciones entre situaciones de la misma edad pero de distinta densidad, con lo que se pretende evaluar el efecto de la densidad de las plantaciones sobre los montos de Ic. Para esto se considerará como hipótesis nula la igualdad de las medianas, mientras que las relaciones distinto a; mayor a; y menor a, serán consideradas como hipótesis alternativas. De acuerdo a lo anterior, las comparaciones serán las siguientes:

Efecto de la edad:

- |                                       |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| • EC1 <sub>1</sub> – EC1 <sub>2</sub> | • EC2 <sub>1</sub> – CA2 <sub>1</sub> | • CA1 <sub>1</sub> – PA1 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>1</sub> – CA1 <sub>1</sub> | • EC2 <sub>1</sub> – CA2 <sub>2</sub> | • CA1 <sub>2</sub> – PA1 <sub>1</sub> |
| • EC1 <sub>1</sub> – CA1 <sub>2</sub> | • EC2 <sub>1</sub> – PA2 <sub>1</sub> | • CA1 <sub>2</sub> – PA1 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>1</sub> – PA1 <sub>1</sub> | • EC2 <sub>1</sub> – PA2 <sub>2</sub> | • CA2 <sub>1</sub> – CA2 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>1</sub> – PA1 <sub>2</sub> | • EC2 <sub>2</sub> – CA2 <sub>1</sub> | • CA2 <sub>1</sub> – PA2 <sub>1</sub> |
| • EC1 <sub>2</sub> – CA1 <sub>1</sub> | • EC2 <sub>2</sub> – CA2 <sub>2</sub> | • CA2 <sub>1</sub> – PA2 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>2</sub> – CA1 <sub>2</sub> | • EC2 <sub>2</sub> – PA2 <sub>1</sub> | • CA2 <sub>2</sub> – PA2 <sub>1</sub> |
| • EC1 <sub>2</sub> – PA1 <sub>1</sub> | • EC2 <sub>2</sub> – PA2 <sub>2</sub> | • CA2 <sub>2</sub> – PA2 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>2</sub> – PA1 <sub>2</sub> | • CA1 <sub>1</sub> – CA1 <sub>2</sub> | • PA1 <sub>1</sub> – PA1 <sub>2</sub> |
| • EC2 <sub>1</sub> – EC2 <sub>2</sub> | • CA1 <sub>1</sub> – PA1 <sub>1</sub> | • PA2 <sub>1</sub> – PA2 <sub>2</sub> |

Efecto de la densidad:

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| • EC1 <sub>1</sub> – EC2 <sub>1</sub> | • CA1 <sub>2</sub> – CA2 <sub>2</sub> |
| • EC1 <sub>2</sub> – EC2 <sub>2</sub> | • PA1 <sub>1</sub> – PA2 <sub>1</sub> |
| • CA1 <sub>1</sub> – CA2 <sub>1</sub> | • PA1 <sub>2</sub> – PA2 <sub>2</sub> |

El rodal Palhuén 1 (PA 1) posee 1.755 árboles/ha (Cuadro 2), por lo que se asumió como densidad comparable a los rodales densos de El Carmen y Cajones (EC 1 y CA 1) en los casos que corresponda.

### 3.2.3 Regresiones predictoras de las pérdidas de agua por intercepción

Para la obtención de relaciones matemáticas entre la magnitud de los eventos de precipitación y las pérdidas por intercepción, tanto en milímetros como en porcentaje de la precipitación, se utilizó el programa de ajuste de curvas “CurveExpert® Versión 1.3”. Este software propone dentro de un set de regresiones tanto lineales como no lineales, la mejor opción en función del coeficiente de correlación y del error estándar de la estimación.

De esta forma, se eligió la regresión que no tuviese más un punto de inflexión y que se encontrara dentro de los primeros lugares en la categorización entregada por CurveExpert® para todos los ajustes.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Precipitación total

La figura 2 muestra la variación estacional y anual de las precipitaciones registradas para los tres predios en estudio. Se aprecia que el primer año de estudio fue notablemente más lluvioso que el segundo periodo, alcanzando valores por sobre el promedio de San Javier y Curepto asumidos como control climatológico (Cuadro 3). Además se puede observar que los mayores montos de precipitación se presentan en casi todas las situaciones durante la temporada de otoño, mientras que los menores montos se reparten entre primavera y verano.

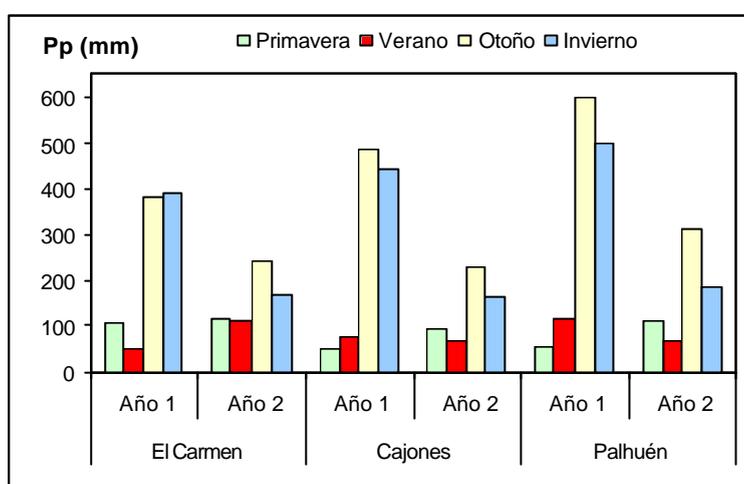


Figura 2. Distribución estacional de las precipitaciones para los dos años de estudio en cada localidad

La mayor cantidad de agua caída durante los meses de otoño (Figura 3) se ajusta al registro histórico del cuadro 3. La estacionalidad de las precipitaciones es notoria, concentrando sobre un 70% de las precipitaciones las estaciones de otoño e invierno.

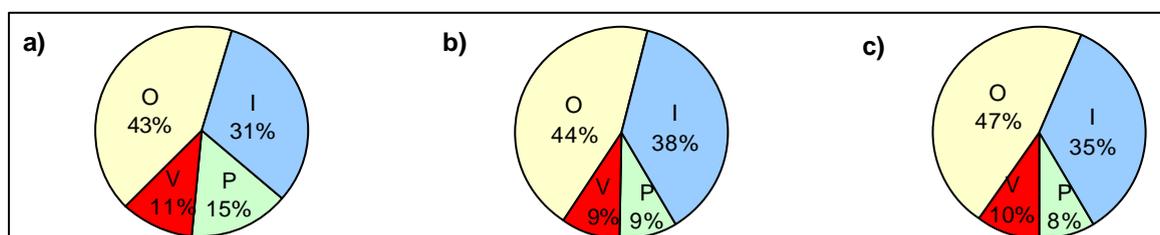


Figura 3. Distribución promedio de los montos de precipitación por estación (P=Primavera; V=Verano; O=Otoño; I=Invierno) para a) El Carmen; b) Cajones y c) Palhuén, respectivamente

En cuanto a la concentración de los eventos de precipitación, alrededor de un 73% de estos ocurrieron durante los meses de otoño e invierno para las tres localidades (Anexo 2).

La figura 4 presenta la distribución de frecuencias de las precipitaciones según la magnitud de los eventos para El Carmen, Cajones y Palhuén. Se aprecia en las tres locaciones que las precipitaciones se ubicaron en su mayoría en eventos de baja magnitud, con sobre el 50% de los eventos bajo los diez milímetros de precipitación (Anexo 3). El total de eventos para los dos años de estudio fue de 127, 132 y 151 para El Carmen, Cajones y Palhuén respectivamente.

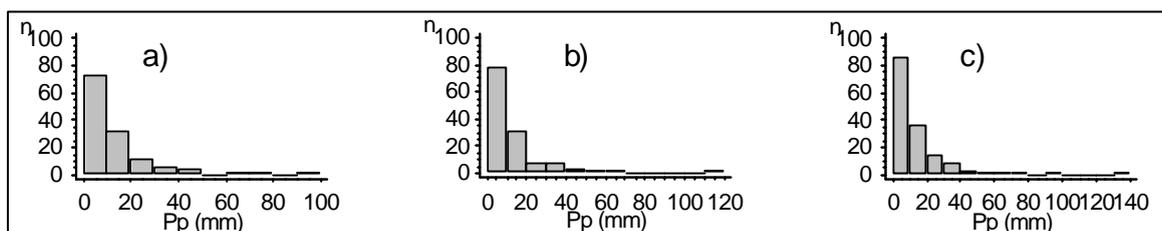


Figura 4. Histogramas de frecuencias para la cantidad de agua precipitada ( $P_p$ ) por evento durante los dos años de estudio, a) El Carmen; b) Cajones y c) Palhuén

Es posible apreciar una distribución asimétrica extendida a la derecha y con límite inferior cero, la cual es típica de distribuciones del tipo Gamma. Este tipo de distribución es usualmente aplicable a variables como precipitación, velocidad del viento e insolación (Fernández, 1996). Caballero (1975) señala que para distribuciones con curvas de frecuencia asimétricas positivas, lo recomendable es utilizar una medida central que no esté afectada por valores extremos de la distribución, lo que hace que la mediana sea la más adecuada.

El cuadro 5 muestra los valores de probabilidad de la prueba W realizada para probar la igualdad en la distribución y magnitud de los eventos de precipitación de un año a otro. Para el análisis se estableció un nivel de significancia aceptable del 5%.

Cuadro 5. Valores de la prueba W para comparaciones entre los montos de precipitación por año para cada situación

	El Carmen	Cajones	Palhuén
W	2.160,50	2.086,50	2.732,50
p	0,30	0,85	0,95

A pesar de la mayor cantidad de agua precipitada durante el primer año de estudio (Figura 2), el análisis estadístico realizado indica que las diferencias no son significativas para las medianas de un año a otro para los tres sitios de estudio.

En el cuadro 6 se puede apreciar la distribución de los eventos de precipitación por rangos de intensidad y estación. La intensidad de las precipitaciones varió desde 0,06 a 11,8 mm/h para El Carmen; 0,1 a 13,2 mm/h para Cajones y 0,02 a 21 mm/h

para Palhuén. Se aprecia además una tendencia, especialmente durante primavera y verano, de presentar una mayor duración de los eventos a menor intensidad.

Cuadro 6. Cantidad de eventos promedio y duración promedio (h) por rango de intensidad y estación

Predio	Intensidad ( mm/h)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Total
El Carmen	< 0,9	4,0 (9,8)	3,0 (11,5)	6,0 (2,9)	5,5 (5,7)	18,5 (6,6)
	1 - 1,9	1,5 (8,6)	3,0 (9,0)	6,5 (5,6)	2,5 (3,2)	13,5 (6,3)
	2 - 2,9	1,5 (6,6)	0,0 (0,0)	3,5 (4,4)	6,0 (5,1)	11,0 (5,1)
	> 3,0	2,5 (2,9)	1,5 (3,1)	9,0 (5,1)	7,5 (5,7)	20,5 (4,9)
	Total	9,5 (7,3)	7,5 (8,8)	25,0 (4,6)	21,5 (5,3)	63,5 (5,7)
Cajones	< 0,9	3,5 (5,1)	3,0 (5,8)	10,0 (7,8)	4,5 (7,1)	21,0 (6,9)
	1 - 1,9	1,5 (9,0)	1,0 (10,2)	4,5 (8,1)	6,5 (5,5)	13,5 (7,1)
	2 - 2,9	2,0 (4,0)	1,5 (3,1)	3,0 (6,5)	4,5 (8,0)	11,0 (6,2)
	> 3,0	3,0 (2,3)	2,0 (4,7)	8,5 (5,1)	7,0 (5,1)	20,5 (4,7)
	Total	10,0 (4,7)	7,5 (5,5)	26,0 (6,8)	22,5 (6,2)	66,0 (6,1)
Palhuén	< 0,9	5,0 (7,0)	4,5 (9,6)	10,5 (8,3)	6,5 (9,3)	26,5 (8,5)
	1 - 1,9	1,5 (5,8)	2,0 (12,1)	6,0 (8,1)	6,0 (7,9)	15,5 (8,3)
	2 - 2,9	1,5 (4,5)	1,0 (1,2)	5,0 (7,1)	4,0 (7,6)	11,5 (6,4)
	> 3,0	3,0 (2,9)	3,5 (3,0)	8,5 (5,0)	7,0 (4,3)	22,0 (4,2)
	Total	11,0 (5,4)	11,0 (7,2)	30,0 (7,1)	23,5 (7,1)	75,5 (6,9)

En relación a la ubicación estacional de los valores máximos de intensidad, estos ocurrieron durante invierno para El Carmen y Cajones y durante otoño para Palhuén, concentrando además estos meses las precipitaciones de mayor intensidad. Por el contrario, durante primavera y verano, cerca de un 50% de los eventos de precipitación fueron de baja intensidad.

El cuadro 7 presenta la distribución de los eventos de precipitación por rangos de duración y estación. En el se aprecia que la mayor concentración de eventos ocurrió en eventos de corta duración (menores a 2 h).

Debido a la cercanía geográfica de El Carmen y Cajones, las características de las precipitaciones siguieron patrones similares. De esta forma se pudo establecer que para tales localidades, las precipitaciones en las temporadas húmedas fueron principalmente de menor duración. Menos claro fue lo acontecido en primavera y verano donde las precipitaciones se concentraron en eventos de duración baja y media respectivamente.

Por su parte, Palhuén presentó una alta cantidad de eventos de alta duración (mayores a 10 horas) durante las estaciones de otoño e invierno.

En cuanto a la duración promedio de los eventos de precipitación, Palhuén presentó mayores valores que sus pares de El Carmen y Cajones.

Cuadro 7. Cantidad de eventos promedio por rango de duración (horas) y estación climatológica

Predio	Duración (h)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Total
El Carmen	< 1,9	3,0	1,0	8,0	8,0	20,0
	2 - 3,9	1,0	1,0	5,5	3,0	10,5
	4 - 5,9	1,5	0,5	4,0	4,0	10,0
	6 - 7,9	0,0	0,5	2,5	2,0	5,0
	8 - 9,9	1,5	2,0	3,5	2,5	9,5
	> 10	2,5	2,5	1,5	2,0	8,5
	Total	9,5	7,5	25,0	21,5	63,5
	Promedio (h)	7,3	8,8	4,6	5,3	5,7
Mediana (h)	5,1	5,1	3,6	3,8	4,7	
Cajones	< 1,9	5,5	2,0	8,0	8,5	24,0
	2 - 3,9	1,0	0,5	1,0	1,5	4,0
	4 - 5,9	0,5	0,5	3,5	1,5	6,0
	6 - 7,9	0,0	3,0	4,5	3,0	10,5
	8 - 9,9	0,5	1,0	2,5	3,0	7,0
	> 10	2,5	0,5	6,5	5,0	14,5
	Total	10,0	7,5	26,0	22,5	66,0
	Promedio (h)	4,7	5,5	6,8	6,2	6,1
Mediana (h)	1,1	6,4	6,3	5,9	5,8	
Palhuén	< 1,9	3,5	3,0	6,0	5,0	17,5
	2 - 3,9	1,5	0,5	5,5	5,0	12,5
	4 - 5,9	1,0	0,5	1,0	1,0	3,5
	6 - 7,9	2,0	2,5	3,0	2,0	9,5
	8 - 9,9	1,0	1,5	5,5	4,0	12,0
	> 10	2,0	3,0	9,0	6,5	20,5
	Total	11,0	11,0	30,0	23,5	75,5
	Promedio (h)	5,4	7,1	7,1	7,1	6,9
Mediana (h)	5,1	7,9	7,9	7,9	7,9	

## 4.2 Redistribución de las precipitaciones

Los componentes de la redistribución de las precipitaciones durante los dos años de estudio se muestran en el cuadro 8. Se observa que para las tres locaciones, el componente principal de la redistribución fue la precipitación directa (Pd), superando el 50% de la precipitación incidente en todas las condiciones.

El primer año de Cajones 2 (CA 2) presentó el mayor valor de Pd, con un 76,3% del agua alcanzando la superficie del suelo por goteo y lluvia directa a través del dosel. No obstante, para los valores promedio la cifra más elevada se presentó en El Carmen 2 (EC 2), con un 73,9%. Ambos resultados concuerdan con los rodales de

menor cobertura del dosel al inicio del estudio, representando por esto cubiertas con menor superficie potencial de contacto para el agua de lluvia.

Cuadro 8. Redistribución de las precipitaciones para los dos años de estudio

Predio	Año	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	Pp		Pd		Pf		Ic		n
				(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)		
EC 1	1	5	1.250	936,7	590,5	63,0	27,7	3,0	318,4	34,0	75	
	2	6		635,4	413,4	65,1	14,9	2,3	207,1	32,6	52	
	Promedio			786,0	502,0	64,1	21,3	2,7	262,8	33,3	64	
EC 2	1	5	700	936,7	688,3	73,5	15,0	1,6	233,4	24,9	75	
	2	6		635,4	471,9	74,3	8,6	1,4	154,9	24,4	52	
	Promedio			786,0	580,1	73,9	11,8	1,5	194,1	24,6	64	
CA 1	1	7	1.250	1.056,9	665,4	63,0	31,2	3,0	360,3	34,1	76	
	2	8		555,0	289,7	52,2	18,4	3,3	246,9	44,5	56	
	Promedio			806,0	477,6	59,3	24,8	3,1	303,6	37,7	66	
CA 2	1	7	700	1.056,9	806,5	76,3	17,6	1,7	232,8	22,0	76	
	2	8		555,0	377,0	67,9	12,4	2,2	165,6	29,8	56	
	Promedio			806,0	591,8	73,4	15,0	1,9	199,2	24,7	66	
PA 1	1	11	1.755	1.272,4	755,6	59,4	31,3	2,5	485,5	38,2	92	
	2	12		676,6	353,8	52,3	18,4	2,7	304,4	45,0	59	
	Promedio			974,5	554,7	56,9	24,9	2,6	395,0	40,5	76	
PA 2	1	11	700	1.272,4	875,9	68,8	22,6	1,8	373,9	29,4	92	
	2	12		676,6	378,9	56,0	12,7	1,9	285,0	42,1	59	
	Promedio			974,5	627,4	64,4	17,7	1,8	329,5	33,8	76	

El elevado nivel de precipitación directa de EC 2 coincide con los menores valores de escurrimiento fustal (Pf) y pérdidas por interceptación (Ic) registrados, con valores de 1,5 y 24,6% de la precipitación respectivamente. Cabe destacar que EC 1 y EC 2 son los rodales de menor edad, pero EC 2 además es menos denso, combinación que le otorga a este rodal bajos niveles de cobertura de dosel.

Con respecto a valor de Pf logrado el segundo año en EC 2, se puede señalar que se encuentra dentro de los más bajos para plantaciones de la misma especie a nivel nacional, siendo solo comparable a valores entregados por Huber e Iroumé (2001) en plantaciones de la misma edad en la zona de Los Ángeles.

Los valores de escurrimiento fustal se mantuvieron dentro del rango 1,4 a 3,3% de la precipitación total, aumentando sus valores a medida que aumenta la densidad. Esta influencia de la densidad sobre los montos de Pf ha sido documentada en Chile por Almizry (1997), Silva (1998), Muñoz (1999), Huber e Iroumé (2001), Little (2002), entre otros.

### 4.3 Pérdidas de agua por intercepción

Las pérdidas por intercepción de copas ( $I_c$ ) presentaron su mayor valor porcentual en el segundo año de medición de Palhuén 1 (PA 1), donde un 45% de la precipitación total anual no logró alcanzar la superficie del suelo. Este valor solo es comparable a datos aportados por Maragaño (2003), quien registró pérdidas por intercepción anuales de 44,5% en la misma zona de estudio. En cuanto a las cifras promedio de los dos años de registro, el valor más alto también lo presentó PA 1 con pérdidas de por intercepción ( $I_c$ ) de 40,5% (Figura 5).

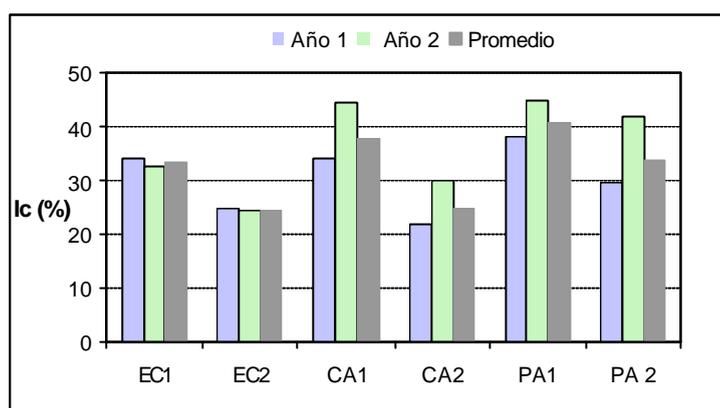


Figura 5. Pérdidas de agua por intercepción (%) durante en periodo de estudio

El elevado valor porcentual de  $I_c$  mencionado corresponde al más alto para plantaciones de *Pinus radiata* en Chile (Huber y Oyarzún, 1983; Vasquez, 1983; Fuentes *et al.*, 1994; Almizry, 1997; Molina, 1997; Muñoz, 1999; Oyarzún y Huber, 1999; Huber y Trecaman, 2000; Huber e Iroumé, 2001; Little, 2002; Maragaño, 2003). La gran cantidad de agua evaporada desde el dosel en Palhuén 1, es consecuencia principalmente de las características de las precipitaciones y condiciones ambientales de la zona como también del estado de desarrollo del rodal, presentando una gran superficie de contacto foliar, lo cual sin duda contribuyó a aumentar la cantidad de agua evaporada desde el dosel.

Por el contrario, el valor porcentual promedio más bajo se presentó en EC 2, el cual opuestamente PA 1, es el más joven y presenta baja densidad y cobertura de dosel. En cuanto al resto de las situaciones, la importancia de  $I_c$  aumentó en los rodales de mayor edad, densidad y cobertura (Cuadro 9).

Se determinó gráficamente la capacidad de retención del dosel (Anexo 5). Para El Carmen la capacidad de retención se encontró entre 1 y 1,5 mm, aumentando con la densidad. Para Cajones la capacidad de retención varió entre 0,7 a 1 mm, mientras que para los rodales de Palhuén, de mayor edad y cobertura, la cantidad de agua necesaria para saturar el dosel fue 1,7 a 2,3 mm. Estos valores son superiores a los 0,4 mm presentados por Llorens y Gallart (2000) en plantaciones de *P. radiata* de densidad media (450 árboles/ha).

Cuadro 9. Promedio de dos años en pérdidas de agua por intercepción (Ic) para los sitios de estudio

	EC 1	EC 2	CA 1	CA 2	PA 1	PA 2
Ic (mm)	247,7	181,6	303,6	199,2	395,0	329,5
Ic (%)	33,6	24,6	37,7	24,7	40,5	33,8
Ic (mm/árbol)	0,20	0,26	0,24	0,28	0,23	0,47
Densidad (árboles/ha)	1.250	700	1.250	700	1.755	700
Cobertura (%) *	68	34	78	31	91	71
Precipitación promedio (mm)	786		806		974,5	
Año de plantación	1997		1995		1991	

(\* ) Valores correspondientes al inicio del periodo de estudio

El espaciamiento entre árboles es importante, ya que es determinante en la eficiencia de la transferencia del vapor de agua desde la vegetación húmeda hacia la atmósfera circundante. En este sentido Dunkerley (2000) afirma que en bosque más espaciados las pérdidas por intercepción del dosel a nivel de árbol son mayores que en bosques más densos. Corroborando lo anterior, las pérdidas de agua por intercepción a nivel de árbol fueron mayores en los rodales menos densos, siendo éstos más eficientes en la evaporación de agua desde el dosel (Cuadro 9).

La correlación existente entre la cobertura del dosel y las pérdidas de agua por intercepción para la zona en estudio fue alta (99%), presentando un buen ajuste lineal (Figura 6).

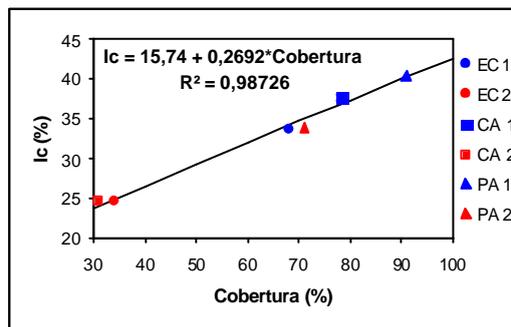


Figura 6. Relación lineal entre la cobertura del dosel y las pérdidas de agua por intercepción (%)

En la figura se puede apreciar un aumento en la cobertura de dosel a medida que aumenta la edad y la densidad de las plantaciones. De esta forma, al analizar los

rodales de igual densidad, se deduce que la cobertura de dosel aumenta con la edad, salvo entre los rodales EC 2 y CA 2. Por otra parte, rodales de igual edad presentan mayores coberturas a mayor densidad.

Debido a la influencia que ejerce la densidad y la edad de las plantaciones sobre la cobertura de dosel, se puede establecer preliminarmente que esquemas de manejo así como el estado de desarrollo de las plantaciones influyen en las pérdidas de agua por intercepción. En capítulos posteriores se analizará la relación existente entre la densidad y edad de las plantaciones y las pérdidas por intercepción de copas.

En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las pérdidas de agua por intercepción ( $I_c$ ) por eventos de precipitación en valor absoluto (mm) y como porcentaje de la precipitación incidente (%). Se observa que los valores absolutos de  $I_c$  se relacionaron de forma positiva con la precipitación, al contrario de los valores relativos (%).

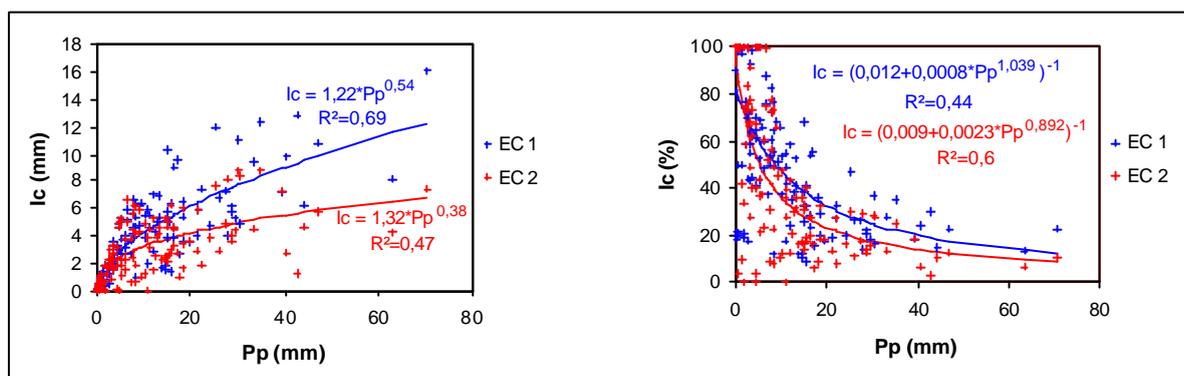


Figura 7. Pérdidas de agua por intercepción ( $I_c$ ) en valores absolutos y relativos por eventos de precipitación para dos densidades (árboles/ha) en El Carmen

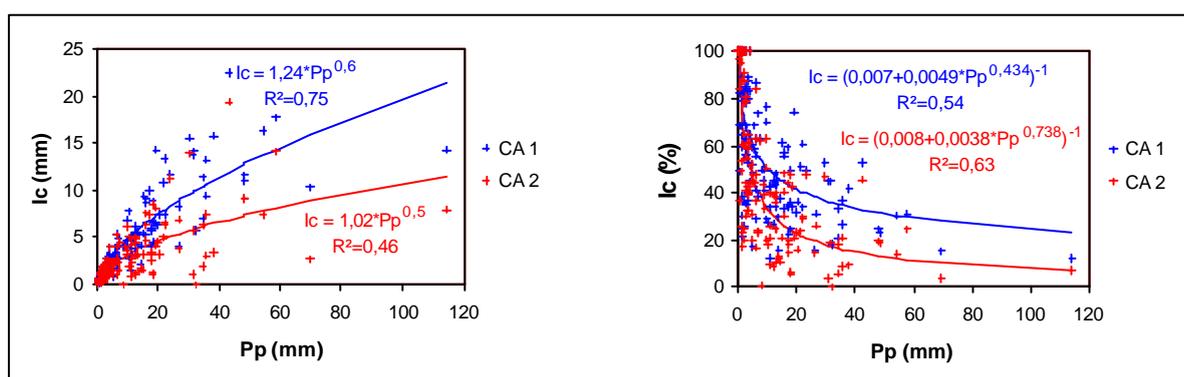


Figura 8. Pérdidas de agua por intercepción ( $I_c$ ) en valores absolutos y relativos por eventos de precipitación para dos densidades (árboles /ha) en Cajones

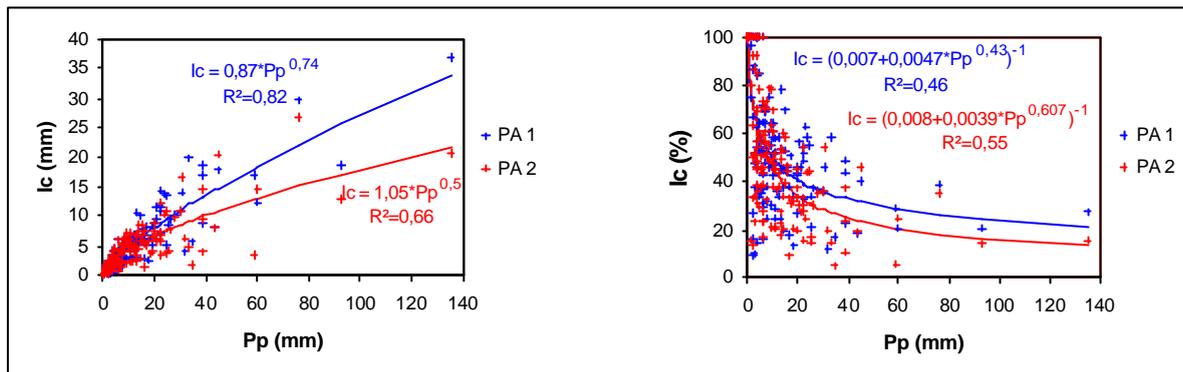


Figura 9. Pérdidas de agua por interceptación (Ic) en valores absolutos y relativos por eventos de precipitación para dos densidades (árboles /ha) en Palhuén

La función utilizada en la descripción de Ic en valor absoluto fue completamente significativa  $p < 0,01$ . Por el contrario, para las pérdidas por interceptación en valor relativo (%), la función empleada no fue en todos los casos significativa, presentando igualdad estadística entre sus coeficientes las curvas de EC2 – CA2 y CA1 – PA1. Para el resto de las situaciones, las curvas fueron estadísticamente significativas para  $p < 0,01$  (Anexo 20).

Para el ajuste de las pérdidas por interceptación en valor absoluto se utilizó una relación potencial, de la cual no existen registros en trabajos anteriores en nuestro país (Huber y Oyarzún, 1984; Almizry, 1997; Hot, 1998; Iroumé y Huber, 2000; Huber e Iroumé, 2001; Little, 2002). No obstante, este tipo de relación fue utilizada con buenos resultados por De Andrade (1998) en Brasil, representando la mejor opción para la descripción de las pérdidas por interceptación (mm) en función de la precipitación incidente.

La utilización de este tipo de curva se debió a los bajos coeficientes de determinación obtenidos en relaciones lineales, además de predecir pérdidas de agua para precipitaciones de cero milímetros. Por otra parte, relaciones lineales asumen un aumento en las pérdidas de agua por interceptación a razón constante según sea el monto de precipitación.

En este sentido, Llorens *et al.* (1997) señalaron que a pesar de existir una relación difusa entre las pérdidas por interceptación y la precipitación, esta sigue una curva con pendiente positiva pero decreciente, sin la estabilización de las pérdidas por interceptación para los eventos mayores. Esto es válido solo a nivel de eventos de precipitación, pues a mayores escalas como semanal o mensual esta relación tiende a la linealidad. Por su parte, Crockford y Johnson (1983) y Crockford y Richardson (2000) utilizaron curvas no lineales al relacionar las pérdidas por interceptación en valor absoluto y la precipitación incidente.

La relación inversa entre las pérdidas relativas de agua por interceptación (%) y la precipitación mencionada anteriormente se ratifica al analizar el cuadro 10, donde se agrupan las pérdidas de agua por interceptación por rangos de precipitación.

Cuadro 10. Pérdidas de agua por intercepción (%) por rangos de precipitación

Pp (mm)	0 - 9,9	10 - 19,9	> 20
Rodal			
EC 1	63,5	33,3	24,2
EC 2	54,2	23,6	16,2
CA 1	58,8	40,4	30,2
CA 2	49,0	25,6	17,3
PA 1	57,7	42,7	34,4
PA 2	57,8	38,1	24,7

Debido a la gran concentración de eventos de lluvia menores a diez milímetros (Anexo 3), los resultados del cuadro anterior son de especial relevancia, ya que en tales casos más de la mitad del agua no logra ser un aporte para el balance hídrico. Si a esto se adiciona la concentración de eventos de baja intensidad y duración durante las estaciones de primavera y verano (Cuadros 6 y 7, respectivamente), las pérdidas por intercepción aumentan (Anexo 4).

Los elevados valores de  $I_c$  (%) para eventos de baja magnitud tienen su explicación de acuerdo a Xiao *et al.* (2000b) en que las primeras gotas de lluvia son ocupadas en gran medida en la humectación de la superficie de las copas, disminuyendo la cantidad de agua que alcanza el suelo.

Las figuras 10, 11 y 12 muestran las pérdidas de agua por intercepción por rangos de intensidad de las precipitaciones para El Carmen, Cajones y Palhuén respectivamente. Se observa que existe una tendencia a presentar mayores pérdidas por intercepción a menores rangos de intensidad, lo cual es explicado por Xiao *et al.* (2000b) como una adición más lenta de agua al dosel, requiriendo más tiempo para saturar completamente la cubierta vegetal.

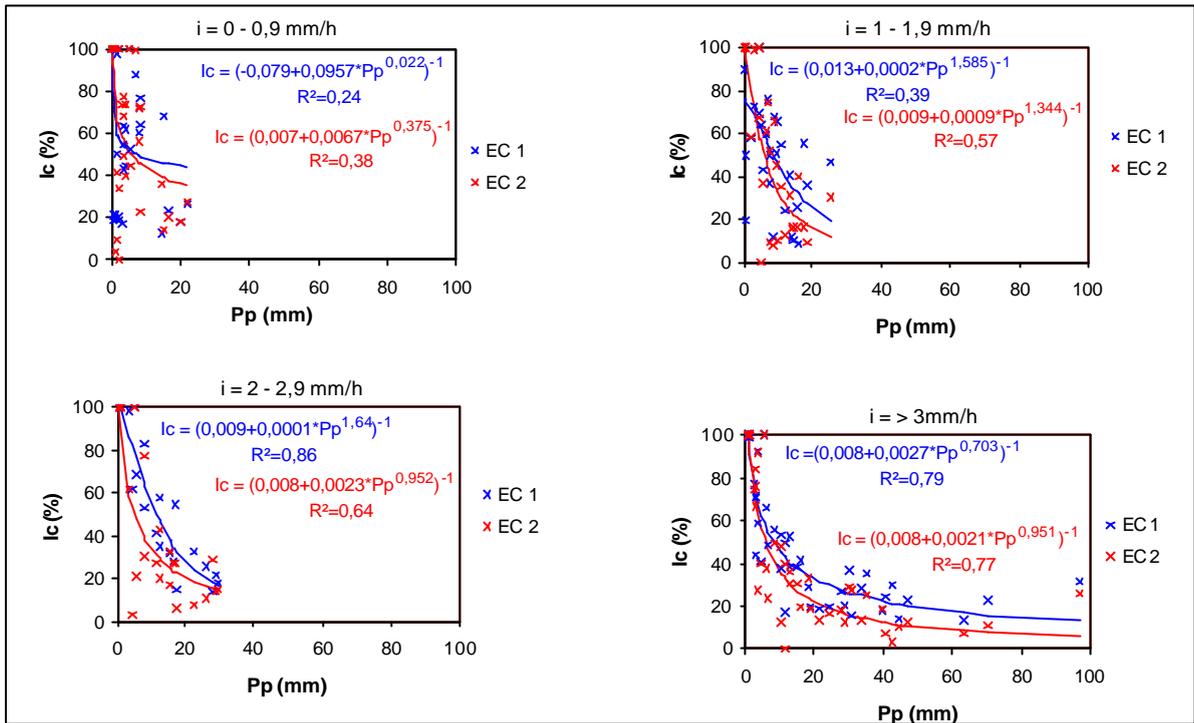


Figura 10. Relación entre los eventos de precipitación (Pp) y las pérdidas de agua por interceptación según rangos de intensidad (i) para los rodales de El Carmen

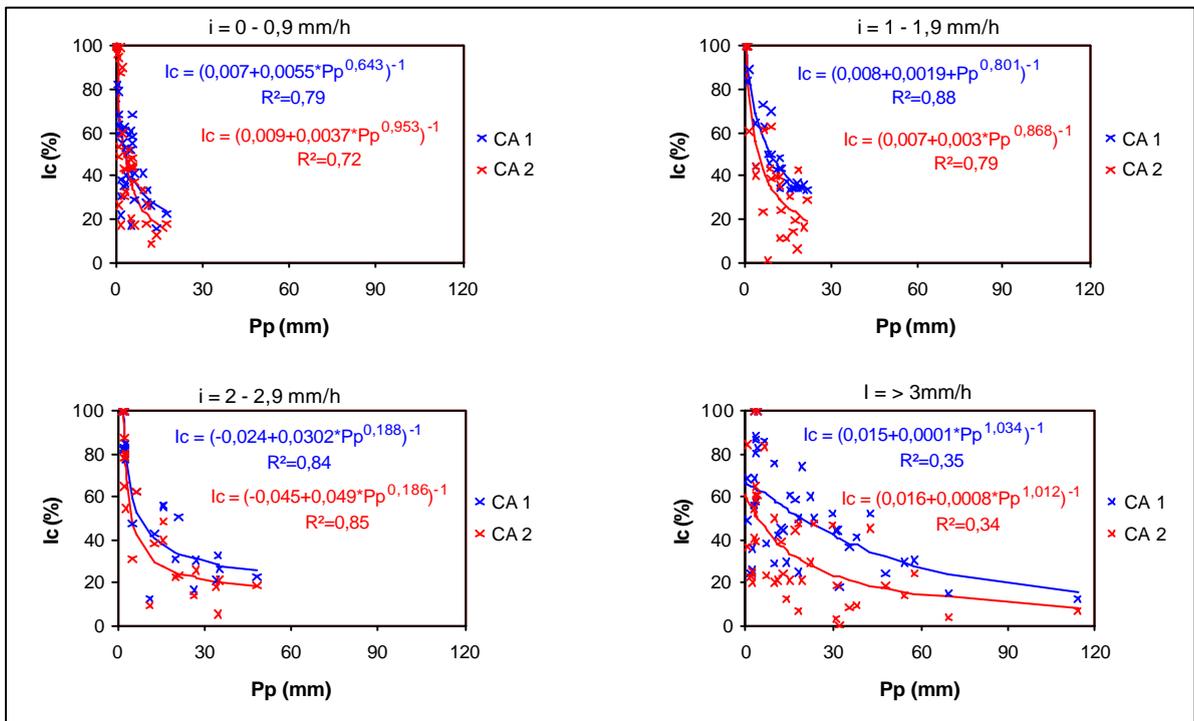


Figura 11. Relación entre los eventos de precipitación (Pp) y las pérdidas de agua por interceptación según rangos de intensidad (i) para los rodales de Cajones

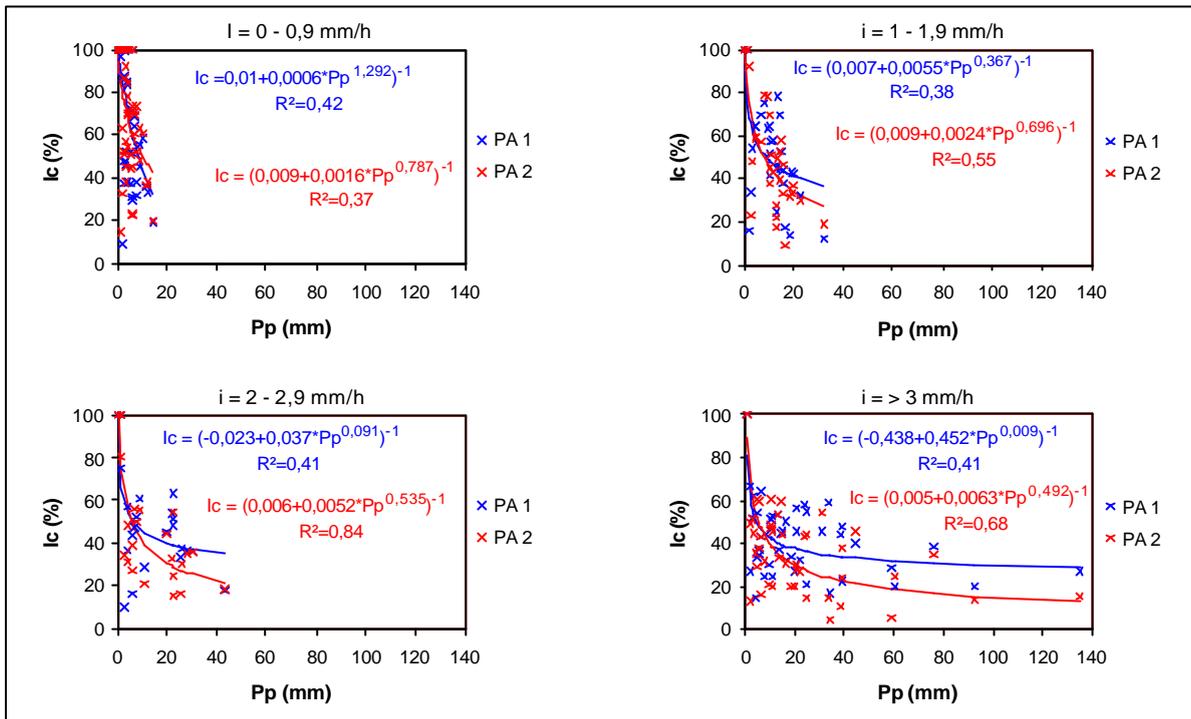


Figura 12. Relación entre los eventos de precipitación (Pp) y las pérdidas de agua por interceptación según rangos de intensidad (i) para los rodales de Palhuén

Al analizar la significancia entre los coeficientes de las curvas para iguales rangos de intensidad y edades, se determinó que los coeficientes fueron distintos estadísticamente para  $p < 0,01$ , salvo el segundo y tercer rango de intensidad de El Carmen, donde no existió diferenciación estadística entre los coeficientes del rodal denso con respecto al rodal de menor densidad. En cuanto a los coeficientes entre rangos de intensidad, se obtuvo una alta significancia en los rodales de El Carmen y Cajones. Por el contrario, en PA 2 los coeficientes ajustados no se diferenciaron estadísticamente a través de la intensidad de las precipitaciones (Anexo 21).

Al analizar las figuras 10, 11 y 12 se aprecia que eventos de menor intensidad estuvieron asociados exclusivamente a bajas magnitudes de precipitación, aumentando de esta forma la capacidad evaporativa del dosel, condición completamente desfavorable para la disponibilidad de agua para el consumo por parte de la plantación.

De acuerdo a los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (Anexo 9) se optó por la utilización de pruebas no paramétricas en el análisis estadístico de las pérdidas de agua por interceptación según eventos de precipitación, ya que un análisis en base a pruebas paramétricas no sería del todo confiable.

De acuerdo a Crockford y Richardson (2000) los factores que regulan las pérdidas de agua por interceptación son la cubierta vegetal, ubicación y clima. El efecto de la

magnitud de las precipitaciones ya fue descrito, existiendo una relación inversa entre los montos de agua evaporada desde el dosel y la cantidad de agua precipitada.

A continuación se muestra en el cuadro 11 el resumen resultados de la prueba W, para comparaciones de pérdidas por interceptación por rangos de intensidad para cada rodal. En él se muestran solo las hipótesis alternativas con menores valores de probabilidad, los cuales indican diferencias significativas o tendencias según sea el caso. En el Anexo 13 se muestran los resultados completos.

Cuadro 11. Resumen de resultados de la prueba W para comparaciones de Ic (%) por rangos de intensidad para cada rodal

Rodal	mm/h	Condición	mm/h	W	p
El Carmen 1	0 - 0,9	>	1 - 1,9	367,5	0,036*
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	342,5	0,156
	0 - 0,9	>	> 3	541,5	0,014*
	1 - 1,9	<	2 - 2,9	313,5	0,374
	1 - 1,9	>	> 3	499,5	0,251
	2 - 2,9	>	> 3	389,5	0,189
El Carmen 2	0 - 0,9	>	1 - 1,9	320,5	0,006*
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	245,0	0,005*
	0 - 0,9	>	> 3	414,0	0,000*
	1 - 1,9	>	2 - 2,9	270,0	0,297
	1 - 1,9	>	> 3	500,5	0,255
	2 - 2,9	>	> 3	441,0	0,445
Cajones 1	0 - 0,9	>	1 - 1,9	513,5	0,256
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	391,0	0,158
	0 - 0,9	>	> 3	684,0	0,053*
	1 - 1,9	>	2 - 2,9	271,0	0,304
	1 - 1,9	>	> 3	499,0	0,249
	2 - 2,9	>	> 3	421,0	0,335
Cajones 2	0 - 0,9	>	1 - 1,9	415,5	0,030*
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	349,5	0,055*
	0 - 0,9	>	> 3	513,5	0,000*
	1 - 1,9	<	2 - 2,9	306,5	0,428
	1 - 1,9	>	> 3	475,5	0,166
	2 - 2,9	>	> 3	360,5	0,097*
Palhuén 1	0 - 0,9	>	1 - 1,9	496,0	0,001*
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	349,5	0,001*
	0 - 0,9	>	> 3	473,0	0,000*
	1 - 1,9	>	2 - 2,9	322,0	0,276
	1 - 1,9	>	> 3	502,5	0,027*
	2 - 2,9	>	> 3	413,5	0,112
Palhuén 2	0 - 0,9	>	1 - 1,9	442,0	0,000*
	0 - 0,9	>	2 - 2,9	286,0	0,000*
	0 - 0,9	>	> 3	324,5	0,000*
	1 - 1,9	>	2 - 2,9	304,5	0,184
	1 - 1,9	>	> 3	453,0	0,006*
	2 - 2,9	>	> 3	401,0	0,083*

( \* ) Denota diferencia significativa para un nivel de confianza del 90%

El efecto de la intensidad de las precipitaciones sobre las pérdidas de agua por intercepción en valor relativo es claro, observándose una gran cantidad de comparaciones con diferencias significativas en sus medianas.

Del cuadro 11 se puede deducir además que existe una relación inversa entre las pérdidas por intercepción y la intensidad de las precipitaciones, ya que en general menores rangos de intensidad presentan mayores pérdidas de agua por intercepción. De acuerdo a Oyarzún *et al* (1985) esta relación se debe a que mientras menor es la intensidad de las precipitaciones mayor es el tiempo potencial de evaporación del agua de lluvia. En este sentido Muñoz (1999) señala que a medida que aumenta la intensidad de las precipitaciones las copas se saturan más rápido, contribuyendo con menores montos relativos de agua evaporada.

Por otra parte, se determinó para los rodales de menor densidad una mayor significancia en las pérdidas por intercepción por rangos de intensidad. De acuerdo a Huber y Oyarzún (1984) una vez que las copas de los árboles han sido saturadas, los montos de intercepción se diferencian según la intensidad de cada evento. Debido a esto y a la presencia de un menor número de individuos aportando una menor cobertura de copas, la mayor diferenciación entre rangos de intensidad en rodales ralos es producto de la mayor rapidez con que sus doseles se saturan, con cual la intensidad de las precipitaciones pasa a ser el factor regulador de las pérdidas de agua por intercepción.

La mayor diferenciación presente entre los rodales de Palhuén pudo estar influenciada además por una mayor amplitud en la duración promedio de las precipitaciones por rango de intensidad (Cuadro 6), con eventos más prolongados a medida que disminuyó la intensidad de las precipitaciones. Igualmente, pero en menor magnitud, los eventos de El Carmen siguieron la misma tendencia, mientras que en los rodales de Cajones, donde la intensidad de las precipitaciones fue menos significativa, la duración de los eventos por rangos de intensidad tuvo un comportamiento errático.

#### **4.4 Variación estacional de las pérdidas de agua por intercepción**

El cuadro 12 presenta la variación estacional de las pérdidas por intercepción en condiciones de alta y baja densidad, Ic 1 e Ic 2 respectivamente. Los valores presentados corresponden al promedio de dos años de evaluación. Las pérdidas de agua por intercepción para cada año se muestran en Anexo 10.

Cuadro 12. Pérdidas de agua por intercepción por estación para el promedio de dos años de estudio

Predio	Estación	Pp mm	Ic 1		Ic 2	
			mm	%	mm	%
El Carmen	Primavera	111,7	32,6	29,2	29,2	26,1
	Verano	82,8	34,4	41,6	26,3	31,7
	Otoño	311,0	99,1	31,9	67,3	21,6
	Invierno	280,6	96,6	37,1	71,4	28,6
	<b>TOTAL</b>	<b>786,0</b>	<b>262,8</b>	<b>34,2</b>	<b>194,1</b>	<b>25,7</b>
Cajones	Primavera	70,2	29,2	41,6	18,0	25,6
	Verano	73,2	36,7	50,1	23,7	32,3
	Otoño	358,0	134,6	37,6	90,4	25,3
	Invierno	304,7	103,2	33,5	67,2	21,6
	<b>TOTAL</b>	<b>806,0</b>	<b>303,6</b>	<b>37,6</b>	<b>199,2</b>	<b>24,6</b>
Palhuén	Primavera	81,8	41,3	50,5	31,1	38,0
	Verano	92,9	43,8	47,2	38,3	41,2
	Otoño	456,4	174,9	38,3	150,6	33,0
	Invierno	343,4	135,1	38,4	109,6	30,4
	<b>TOTAL</b>	<b>974,5</b>	<b>395,0</b>	<b>40,2</b>	<b>329,5</b>	<b>33,3</b>

La variación estacional en las pérdidas de agua por intercepción ha sido ampliamente documentada (Huber y Oyarzún, 1983; Oyarzún *et al.*, 1985; Silva, 1998; Muñoz, 1999; Gallart *et al.*, 2002; Little, 2002), estableciendo al igual que en presente trabajo, que los periodos de mayores pérdidas por intercepción de copas son las estaciones de primavera y verano.

La relación inversa que se observó entre la magnitud de los eventos de lluvia y los montos relativos de agua evaporada desde el dosel (Figuras 8 a 13) fue menos clara al agrupar los eventos por estación climatológica. Posiblemente las características estacionales de las precipitaciones junto a otros factores atmosféricos afectaron las pérdidas de agua por intercepción en cada rodal en forma individual (Gallart *et al.*, 2002).

Se observó que las pérdidas relativas de agua por intercepción fueron mayores en primavera y verano, tanto en rodales ralos como densos. No obstante, esta situación no fue visible en El Carmen, donde posiblemente la mayor cantidad de agua precipitada junto a una mayor duración de los eventos (Cuadro 7) influyeron en los bajos valores porcentuales obtenidos en esta localidad durante primavera.

A pesar de los diferentes valores relativos de intercepción presentados, solo los rodales con mayor cobertura del dosel presentaron diferencias significativas entre algunas estaciones (Anexo 11). En este sentido, Cajones 1 presentó pérdidas porcentuales significativamente mayores en verano que en invierno, mientras que en Palhuén 1 las pérdidas de agua por intercepción fueron significativamente mayores en primavera. Estos resultados indicarían que las pérdidas de agua por intercepción tienen una variación estacional más marcada en rodales de alta cobertura de copas en relación a rodales con menor cobertura.

Los mayores valores de  $I_c$  en los periodos menos húmedos y más cálidos tienen mayor interés, sobrepasando el 50% en rodales de mayor densidad. De acuerdo a Oyarzún *et al.* (1985), esto se debe a que las características de las precipitaciones y condiciones meteorológicas reinantes favorecen la evaporación de agua desde la cubierta vegetal.

Crockford y Richardson (2000) identificaron cinco factores climáticos que influyen en las pérdidas de agua por intercepción: magnitud, intensidad y duración de las precipitaciones, velocidad y dirección de los vientos durante y después de los eventos y, la temperatura y humedad del aire, condiciones que se diferencian estacionalmente debido al carácter mediterráneo de la zona (Fuenzalida, 1971).

La capacidad de retención del dosel aumentó durante el periodo Primavera-Verano, lo que es especialmente claro en El Carmen y Palhuén. Consecuentemente, es durante estos periodos de mayor temperatura y menor humedad cuando se presenta la mayor evaporación desde los doseles. La variación bi-estacional de la capacidad de retención del dosel se muestra en los Anexos 6, 7 y 8 para El Carmen, Cajones y Palhuén respectivamente.

Se pudo deducir la importancia que tiene la cubierta de *P. radiata* sobre la disponibilidad de agua bajo las condiciones del estudio, superando algunos valores de  $I_c$  el 50% de la precipitación total. Esto es de relevancia si se piensa que los mayores montos de  $I_c$  ocurrieron durante primavera y verano, cuando los requerimientos de agua por parte de los árboles es mayor (Donoso, 1997).

La función potencial utilizada en la relación precipitación incidente -  $I_c$  (mm) entregó en general valores aceptables en sus coeficientes de determinación tanto a nivel anual como estacional. Esto es de importancia ya que no existen experiencias en Chile de la utilización de funciones no lineales para establecer este tipo de relaciones (Anexo 16).

Por otra parte, la función utilizada en la descripción de las pérdidas de agua por intercepción de copas como porcentaje de la precipitación total (Anexo 17), presentó una menor capacidad predictiva en comparación a la regresión potencial descrita anteriormente.

#### **4.5 Efecto de la edad en las pérdidas de agua por intercepción**

El cuadro 13 muestra un resumen de resultados de la prueba W entre los montos de  $I_c$  para rodales de distinta edad e igual densidad. En él se muestran solo las hipótesis alternativas con menores valores de probabilidad. Los resultados completos se encuentran en Anexo 12.

Cuadro 13. Resumen de resultados de la prueba W para comparaciones entre valores relativos de pérdidas por interceptación correspondientes a distintas edades

Comparación	H <sub>1</sub>	W	p	Comparación	H <sub>1</sub>	W	p
EC1 <sub>1</sub> - EC1 <sub>2</sub>	>	1.739,5	0,181	EC2 <sub>2</sub> - CA2 <sub>2</sub>	<	1.579,5	0,224
EC1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>1</sub>	<	2.951,5	0,300	EC2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>1</sub>	<	2.899,0	0,017*
EC1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>2</sub>	<	2.201,0	0,273	EC2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>2</sub>	<	1.920,0	0,011*
EC1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>1</sub>	<	3.584,0	0,279	CA1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>2</sub>	<	2.173,5	0,418
EC1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	<	2.319,0	0,269	CA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>1</sub>	<	3.541,5	0,443
EC1 <sub>2</sub> - CA1 <sub>1</sub>	<	2.252,5	0,089*	CA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	<	2.334,5	0,341
EC1 <sub>2</sub> - CA1 <sub>2</sub>	<	1.716,5	0,054*	CA1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>1</sub>	>	2.555,5	0,468
EC1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>1</sub>	<	2.745,5	0,071*	CA1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>2</sub>	<	1.656,0	0,492
EC1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>2</sub>	<	1.796,0	0,061*	CA2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>2</sub>	<	2.132,0	0,494
EC2 <sub>1</sub> - EC2 <sub>2</sub>	>	1.749,5	0,193	CA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>1</sub>	<	3.953,5	0,072*
EC2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>1</sub>	>	2.730,0	0,379	CA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	<	2.591,0	0,060*
EC2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>2</sub>	>	1.993,5	0,357	CA2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>1</sub>	<	2.966,5	0,061*
EC2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>1</sub>	<	3.665,0	0,198	CA2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>2</sub>	<	1.948,0	0,048*
EC2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	<	2.422,0	0,139	PA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	<	2.770,0	0,416
EC2 <sub>2</sub> - CA2 <sub>1</sub>	<	2.136,5	0,218	PA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	<	2.794,5	0,380

( \* ) Denota diferencia significativa para un nivel de confianza del 90%

Se puede apreciar que las diferencias no fueron significativas en todos los casos. Sin embargo, al evaluar las tres locaciones el nivel de significancia fue alcanzado en más de una oportunidad, demostrando que diferencias en las características de la cubierta vegetal, dependientes del estado de desarrollo, producen variaciones significativas en la cantidad de agua que realmente alcanza el suelo.

Asimismo, estas diferencias manifestaron una relación directa entre la edad de las plantaciones y las pérdidas de agua por interceptación, con menos agua llegando al suelo a medida que aumentó el estado de desarrollo de las plantaciones. Relaciones directas entre las pérdidas de agua por interceptación y la edad de las plantaciones de *Pinus radiata* han sido determinadas en Chile por Huber e Iroumé (2001) y Little (2002).

En la figura 13 se presenta la relación entre la edad de las plantaciones y las pérdidas de agua por interceptación, expresada como porcentaje de la precipitación incidente. Se puede apreciar que los montos relativos de agua evaporada desde el dosel aumentaron con la edad de las plantaciones.

Las pendientes de las rectas indicarían una mayor importancia de la edad en los rodales de menor densidad para esta zona, debido a características propias de los doseles en cada estado de desarrollo.

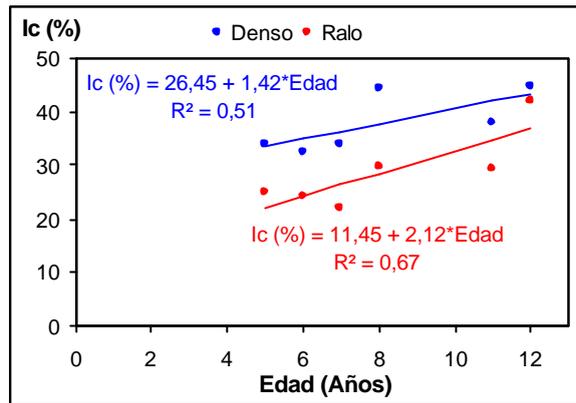


Figura 13. Relación entre la edad de las plantaciones y las pérdidas de agua por interceptación (%)

No obstante, si se analiza separadamente cada predio se puede apreciar que los rodales jóvenes de El Carmen (5 y 6 años) presentaron una disminución en las pérdidas de agua por interceptación. Esto se debió a la menor cantidad de agua precipitada durante el segundo año, lo que produjo una disminución desigual en los montos absolutos de precipitación directa, con un aumento en la participación relativa de Pd (Cuadro 8).

En este marco y con 16 años de mediciones en Australia, Putuhena y Cordery (2000) registraron en plantaciones de *P. radiata* un aumento sostenido en las pérdidas de agua por interceptación. Este aumento en los montos de agua evaporada desde el dosel es explicado por Huber e Iroumé (2001) por la tendencia de esta especie a posicionar sus ramas de forma más horizontal a medida que aumenta su estado de desarrollo.

Respecto de las hipótesis alternativas que presentaron tendencias de obtener mayores montos relativos de interceptación a menor edad, éstas concuerdan con montos reales observados (Cuadro 8 y Figura 5). La explicación a esta situación se encuentra en características anuales de precipitación desigual (Figura 2).

Por el contrario, al analizar los pares de rodales que si alcanzaron el nivel de significancia, nuevamente características de la vegetación como la cobertura del dosel, junto a las condiciones anuales de precipitación incidente supeditaron la diferenciación estadística de los montos relativos de interceptación.

Para comparaciones entre extremos de edad, como es el caso de El Carmen (EC) y Palhuén (PA) donde existen grandes diferencias en cobertura del dosel, las diferencias estadísticas fueron notorias, presentándose tanto en rodales densos como en rodales ralos.

Por otra parte, si se analizan las medianas de El Carmen y Cajones (CA) se presentaron diferencias solo entre los rodales más densos, mientras que entre los

rodales de Cajones y Palhuén, éstas solo existieron entre los rodales más espaciados.

#### 4.6 Efecto de la densidad sobre las pérdidas de agua por intercepción

El cuadro 14 muestra los resultados de la prueba W para comparaciones entre rodales de igual edad y distinta densidad.

Cuadro 14. Resultados de la prueba W para comparaciones entre valores relativos de pérdidas por intercepción con distinta densidad

Comparación	H <sub>1</sub>	W	p	Comparación	H <sub>1</sub>	W	p
EC1 <sub>1</sub> - EC2 <sub>1</sub>	≠	2.487,0	0,335	CA1 <sub>2</sub> - CA2 <sub>2</sub>	≠	1.187,0	0,026*
	>		0,167		>		0,013*
	<		0,833		<		0,987
EC1 <sub>2</sub> - EC2 <sub>2</sub>	≠	1.162,5	0,219	PA1 <sub>1</sub> - PA2 <sub>1</sub>	≠	3.894,5	0,349
	>		0,109		>		0,174
	<		0,891		<		0,826
CA1 <sub>1</sub> - CA2 <sub>1</sub>	≠	2.304,5	0,031*	PA1 <sub>2</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	1.594,0	0,431
	>		0,015*		>		0,215
	<		0,985		<		0,785

(\* ) Denota diferencia significativa para un nivel de confianza del 90%

Se puede apreciar que solamente en la localidad de Cajones las pérdidas por intercepción fueron significativamente superiores a mayor densidad. Para el resto de las comparaciones existieron solo tendencias a presentar mayores montos relativos de Ic en rodales de mayor densidad.

Al analizar las pérdidas por intercepción en rodales de distinta densidad se observó una tendencia lógica, ya que en todos los casos a mayor densidad se observó por lo menos tendencias de presentar mayores montos que en rodales ralos. Trabajos anteriores en Chile confirman la relación directa entre las pérdidas de agua por intercepción y la densidad de las plantaciones (Oyarzún *et al.*, 1985; Almizry, 1997; Huber *et al.*, 1998; Silva, 1998; Muñoz, 1999; Little, 2002).

La existencia de diferencias significativas en las pérdidas por intercepción de copas solamente para los rodales de Cajones tiene relación con la gran diferencia de cobertura del dosel de sus dos rodales (Cuadro 9), con más de 40 puntos porcentuales de diferencia. Esto adquiere mayor validez si se analizan las coberturas de los rodales de El Carmen y Palhuén expuestas en el cuadro 9. En él se puede apreciar que existieron mayores diferencias de cobertura entre los rodales de El Carmen que entre los de Palhuén, siendo consecuentemente más cercano al nivel de significancia los rodales de menor edad.

Oyarzún *et al.* (1985) y Huber *et al.* (1998) confirman lo anteriormente expuesto al señalar que el efecto de la densidad sobre las pérdidas por intercepción se debe

principalmente a la mayor cantidad de biomasa aérea o cobertura del dosel que generalmente presentan los rodales densos.

De esta forma, se puede afirmar que la presencia de una menor cobertura de dosel a menor densidad provoca una disminución del área potencial de contacto entre el agua y el dosel. Esto disminuye los valores de pérdidas de agua por interceptación y escurrimiento fustal, ya que menores coberturas de dosel solo contribuyen a aumentar la cantidad de agua que logra atravesar el dosel sin contactar las gotas de lluvia (cuadro 8), en lo que Dunkerley (2000) y Xiao *et al.* (2000b) definen como precipitación directa libre.

Huber y Trecaman (2002) señalan que en climas con influencia mediterránea, diferencias en la densidad de las plantaciones son importancia en la disponibilidad del recurso hídrico, sobre todo en épocas estivales donde las pérdidas de agua por interceptación son mayores. Por su parte, Huber *et al.* (1998) afirman que en plantaciones de *Eucalyptus nitens* la percolación en rodales densos es menor que en rodales ralos, debido a una disminución en la precipitación neta y a un aumento en la evapotranspiración.

## 5. CONCLUSIONES

Los aportes de agua por precipitación durante los dos años de estudio fueron 1.572, 1.611 y 1.949 mm, para El Carmen, Cajones y Palhuén respectivamente, siendo el primer año de estudio marcadamente más lluvioso.

La precipitación directa fue el principal componente en la redistribución de las precipitaciones, con valores anuales que oscilaron entre 52,2 y 76,3% de la precipitación, siendo de mayor importancia en rodales jóvenes y de menor densidad. Por su parte, las pérdidas por intercepción se posicionaron como el segundo elemento de importancia, con montos relativos entre 22 y 45%. Por último, el escurrimiento fustal fue el elemento que menos influyó en la redistribución de las precipitaciones, con valores anuales entre 1,4 y 3,3% de la precipitación total.

La disminución de la densidad así como el distinto estado de desarrollo de las plantaciones influyeron la redistribución de las precipitaciones. Esto se debió principalmente a las distintas coberturas de dosel asociadas, presentando esta variable una alta correlación con las pérdidas relativas de agua por intercepción. Teniendo en cuenta los menores porcentajes de coberturas para menores densidades, es posible aumentar la disponibilidad de agua mediante el manejo de plantaciones bajo regímenes silvícolas de menos individuos por unidad de superficie.

Se estableció que una menor magnitud de las precipitaciones, así como una menor intensidad de estos estuvieron asociadas a mayores pérdidas por intercepción. Si se considera la alta ocurrencia de eventos de baja intensidad durante primavera y verano junto a la menor magnitud de las precipitaciones asociada, se torna lógico los altos montos de pérdidas por intercepción presentados.

Los mayores montos de pérdidas por intercepción se presentaron durante primavera y verano, debido a las condiciones atmosféricas más cálidas y secas. Este aumento estacional de las pérdidas de agua por intercepción es importante en rodales de mayor cobertura bordeando el cincuenta por ciento del agua precipitada.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Almizry, P. 1997. Redistribución de las precipitaciones en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don con diferentes edades y manejo en la zona de Collipulli, IX Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 87 p.
- Caballero, W. 1975. Introducción a la estadística. San José (Costa Rica), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 289 p.
- Calder, I. 1998. Water use by forest, limits and controls. *Tree Physiology* 18: 625-631
- Cantú, I.; González, H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino - encino en el noreste de México. *Ciencia UANL* 5(1): 72-77
- Crockford, R.; Johnson, M. 1983. Some errors in measurement of precipitation, throughfall and stemflow and the implications for estimation of interception, Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, The Institution of Engineers, Australia, Conference Publication No. 83/13, 236-242.
- Crockford, R.; Richardson, D. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14: 2903-2920
- De Andrade, P. 1998. Retenção de água de chuva por Mata Ciliar na Região Central do estado de São Paulo. Dissertação Mestre em Agronomia. Bocantú (Brazil), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Cs. Agrônômicas. 99 p.
- Dirección General de Aguas. 1987. Balance hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Santiago (Chile). 87 p.
- Donoso, C. 1997. Ecología forestal; El bosque y su medio ambiente. 5ª Ed. Santiago (Chile), Universitaria. 369 p.
- Dunkerley, D. 2000. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes* 14: 669-678
- Fernández, F. 1996. Manual de climatología aplicada; clima, medio ambiente y planificación. Madrid (España), Síntesis. 285 p.
- Fuentes, J.; Hernández, J.; Caldentey, J.; Castillo, H. 1994. Efectos sobre la redistribución de las precipitaciones y los contenidos de humedad del suelo por la transformación de un bosque de *Nothofagus oblicua* a una plantación de *Pinus radiata*, en la cordillera de Nahuelbuta. *Ciencias Forestales* 9(1-2): 23-39

- Fuenzalida, H. 1971. Climatología de Chile. Departamento de Geofísica y Geodesia, Universidad de Chile. 73 p.
- Gallart, F.; Llorens, P.; Latron, J.; Regüés. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. *Hydrology and Earth System Science* 6(3): 527-537
- Gutiérrez, J. 2002. El potencial forestal del secano interior. *Lignum* 57: 24-26
- Hot, R. 1998. Intercepción de lluvia por una plantación de *Pseudotsuga menziesii* y un bosque nativo del tipo Roble Raulí Coigüe en la Reserva Forestal Malalcahuello, IX Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 108 p.
- Hoover, M. 1962. La acción y el movimiento del agua en el bosque. *In*: FAO. La influencia de los montes. Roma (Italia). pp 33-88
- Hofstede, R.; Lips, J.; Jongsma, W.; Sevink, J. 1998. Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador; Revisión de literatura. Quito, Abya Yala. 242 p
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1983. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don). *Bosque* 5(1): 13-20
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1984. Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don. *Bosque* 5(2): 59-64
- Huber, A.; Barriga, P.; Trecaman, R. 1998. Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región (Chile). *Bosque* 19(1): 61-69
- Huber, A.; Trecaman, R. 2000. Efecto de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua del suelo. *Bosque* 21(1): 37-44
- Huber, A.; Iroumé, A. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248: 78-92
- Huber, A.; Trecaman, R. 2002. Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre el desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en la zona de los arenales VIII Región, Chile. *Bosque* 23(2): 43-49
- Iroumé, A.; Huber, A. 2000. Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. *Bosque* 21(1): 45-56

- Jackson, N. 2000. Measured and modelled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology* 100: 323-336
- Lee, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York (USA). 349 p.
- Little, C. 2002. Efecto del estado de desarrollo y densidad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, sobre la redistribución de las precipitaciones en la zona de Los Angeles, VIII Región, Chile. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 99 p.
- Llorens, P.; Gallart, F. 2000. A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* 240: 131-144
- Llorens, P.; Poch, R.; Latron, J.; Gallart, F. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area; I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology* 199: 331-345
- Maragaño, M. 2003. Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don sobre el recurso agua en la localidad de Gualleco, zona de secano costero, VII Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 40 p.
- Molina, C. 1997. Influencia de una plantación joven de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en la redistribución de las precipitaciones y humedad del suelo. Tesis Prof. Hist., Geogr. y Ed. Cív. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Filosofía y Humanidades. 84 p.
- Muñoz, A. 1999. Redistribución de las precipitaciones en rodales jóvenes de *Pinus radiata* (D. Don) y *Eucalyptus nitens* (Deane et Maid) Maid con distinto manejo, en la zona de Collipulli, IX Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 117 p.
- Oficina Meteorológica de Chile. 1967. *Pluviometría de Chile*, III parte. Ministerio de Defensa Nacional, Fuerza Aérea de Chile. 155 p (Fascículo III).
- Oyarzún, C.; Huber, A.; Vasquez, S. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*; I: Redistribución de las precipitaciones. *Bosque* 6(1): 3-14
- Oyarzún, C.; Huber, A. 1999. Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra* 17(1): 35-44
- Pacheco, O. 2001. *El bosque*. Viña del Mar (Chile), UVM. 421 p.

- Putuhena, W.; Cordery, I. 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology* 100: 59-72
- Schellenkens, J.; Scatena, F.; Bruijnzeel, L.; Wickel, A. 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 225: 168-184
- Silva, A. 1998. Redistribución de las precipitaciones en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden con densidad variable en Collipulli, IX Región, Chile. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 92 p.
- Vasquez, S. 1983. Características del ciclo hidrológico en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don con distinto manejo. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 101 p.
- Wilm, H. 1962. Bosques y cuencas hidrográficas. *In: FAO. La influencia de los montes.* Roma (Italia). pp 227-263
- Xiao, Q.; McPherson, E.; Ustin, S.; Grismer, M. 2000a. A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research* 105(23): 173-188
- Xiao, Q.; McPherson, E.; Ustin, S.; Grismer, M.; Simpson, J. 2000b. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14: 763-784
- Zeng, N.; Shuttleworth, J.; Gash, J. 2000. Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. Part I. Point analysis. *Journal of Hydrology* 228: 228-241

## **ANEXOS**

**Anexo 1**

*Abstract*

## **“Canopy interception losses in *Pinus radiata* D. Don forests in the Inner Dry Land area of VII Region, Chile”**

Gross precipitation, throughfall, stemflow and interception loss were measured from September 2001 to September 2003 in six *Pinus radiata* artificial forests with different age and trees/ha in the Inner Dry Land area of VII Region.

Throughfall represented 76,3 to 52,2% of gross annual rainfall, canopy interception loss ranged between 22 to 45%, while stemflow ranged only between 1,4 and 3,3% of annual rainfall. The highest value of interception loss (45% bulk rainfall) corresponded to the oldest and dense stand, with twelve years old and 1.755 trees/ha.

Importance of Interception losses increased as age, density and crown cover increased, while rainfall characteristics, as magnitude (mm) and intensity (mm/h) were inversely related to canopy interception. Linear regression analysis of crown cover versus interception loss showed a highly significant correlation ( $r = 0,994$ ).

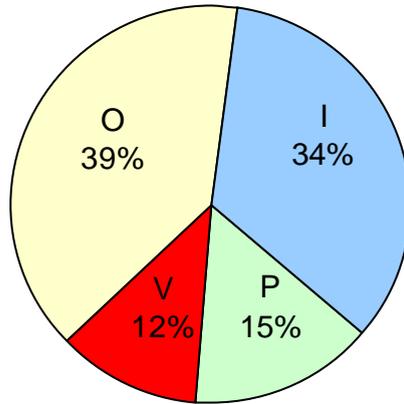
Canopy interception losses seasonal behavior was marked by higher interception losses during drier and warmer seasons, with values close to 50% of gross rainfall. Lower values were found during Autumn and Winter, cause of their major precipitation, concentrating 70% of annual rainfall.

Keywords: Interception loss; *Pinus radiata*; Crown cover; Age; Density.

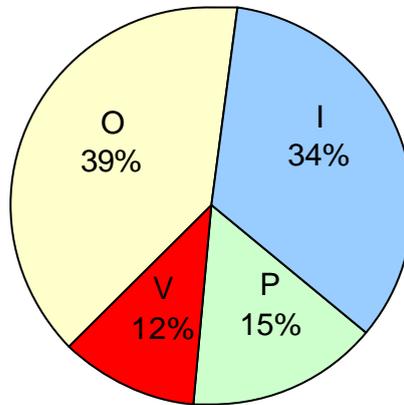
## **Anexo 2**

Distribución porcentual de la cantidad de eventos de lluvia por estación (P = Primavera; V = Verano; O = Otoño; I = Invierno) para las tres locaciones, a) El Carmen; b) Cajones y c) Palhuén

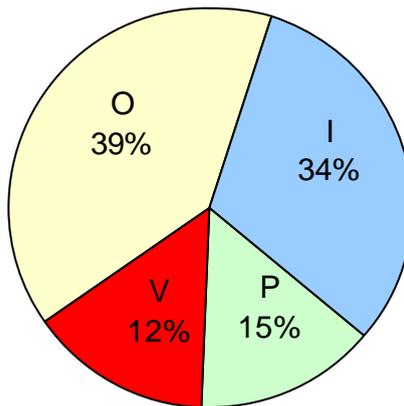
**a)**



**b)**



**c)**



### **Anexo 3**

Valores de precipitación (mm) por percentiles para los tres predios en estudio, con un nivel de confianza del 95%

Percentil (%)	El Carmen	Cajones	Palhuén
1	0,1	0,1	0,1
5	0,2	0,3	0,3
10	0,4	0,7	1,0
25	2,8	2,4	3,2
50	7,8	6,3	7,1
75	16,5	16,5	16,1
90	29,6	31,9	28,0
95	40,7	43,0	38,9
99	70,4	69,4	92,9

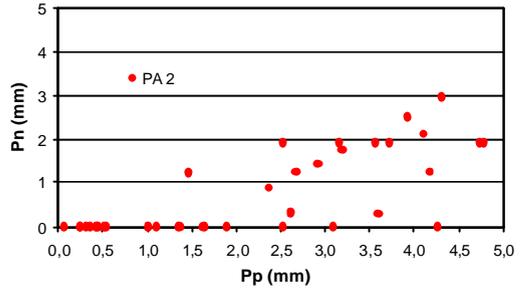
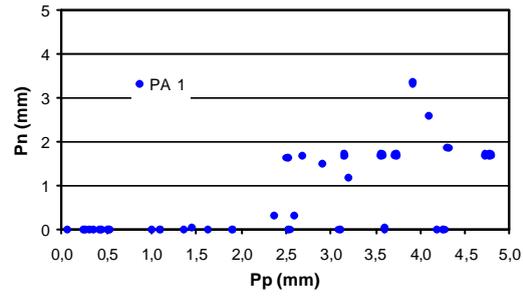
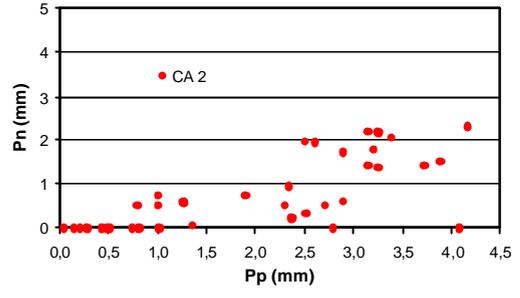
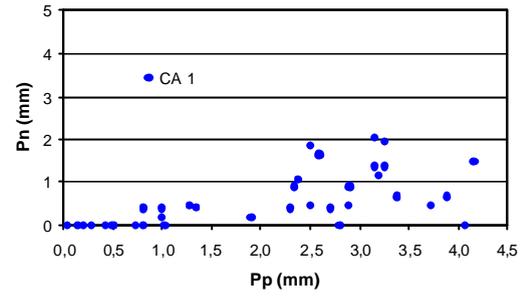
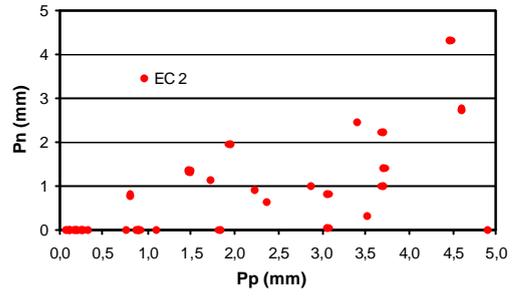
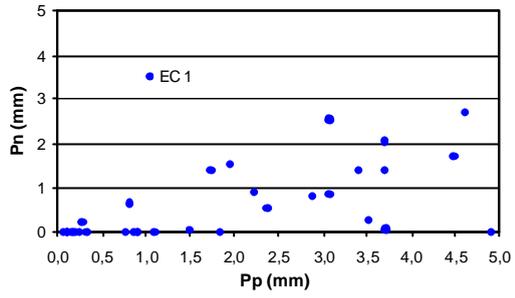
#### **Anexo 4**

Pérdidas de agua por interceptación en valor relativo (%) por estación climatológica para eventos menores a diez milímetros de precipitación

Rodal	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
EC 1	67,79	63,95	60,02	66,40
EC 2	74,43	52,48	45,03	60,84
CA 1	64,76	68,22	56,07	56,31
CA 2	54,47	57,52	45,60	47,48
PA 1	58,82	61,45	55,17	57,78
PA 2	55,55	59,79	59,03	57,22

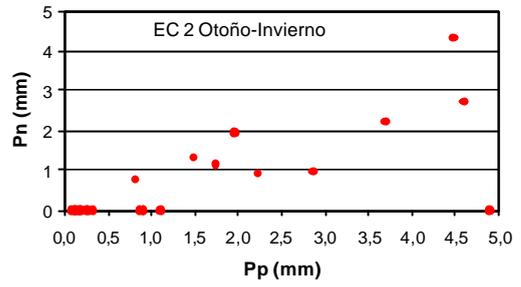
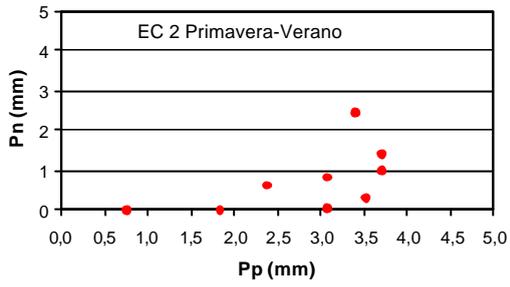
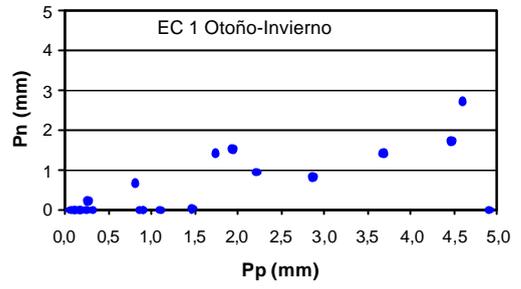
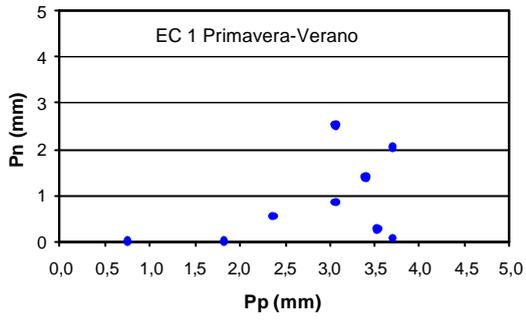
## **Anexo 5**

Gráficos de dispersión entre precipitación incidente ( $P_p$ ) y precipitación neta ( $P_n$ ) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel de los seis rodales de estudio



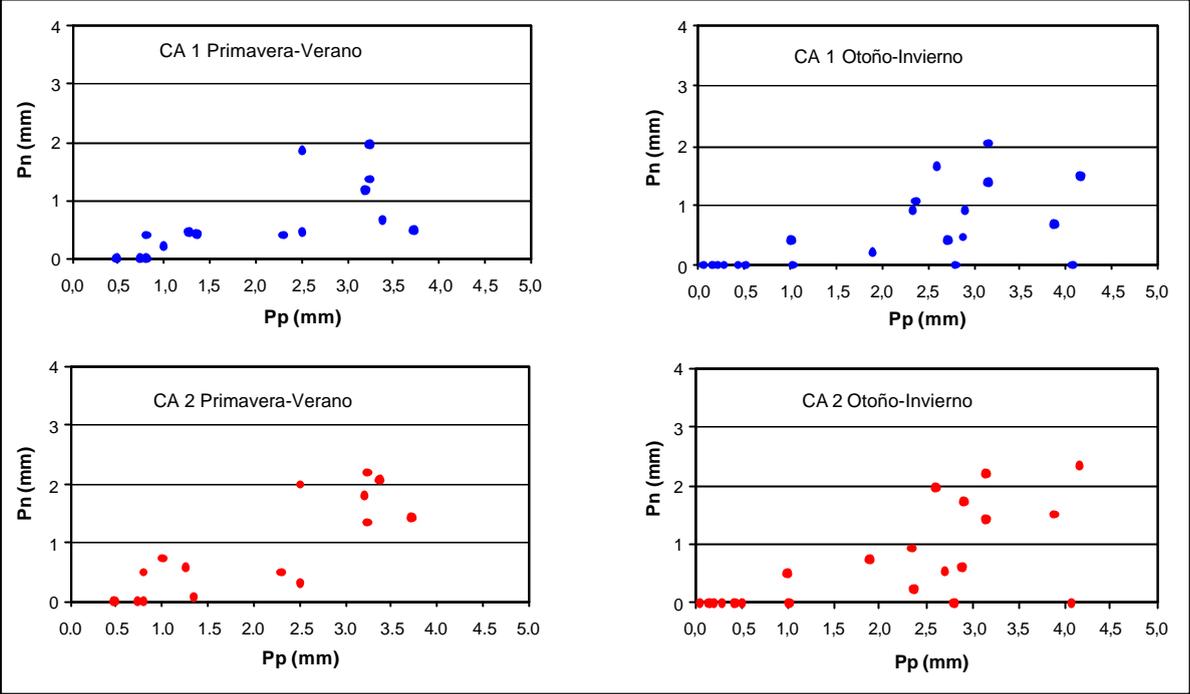
## **Anexo 6**

Gráficos de dispersión entre precipitación incidente ( $P_p$ ) y precipitación neta ( $P_n$ ) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en El Carmen



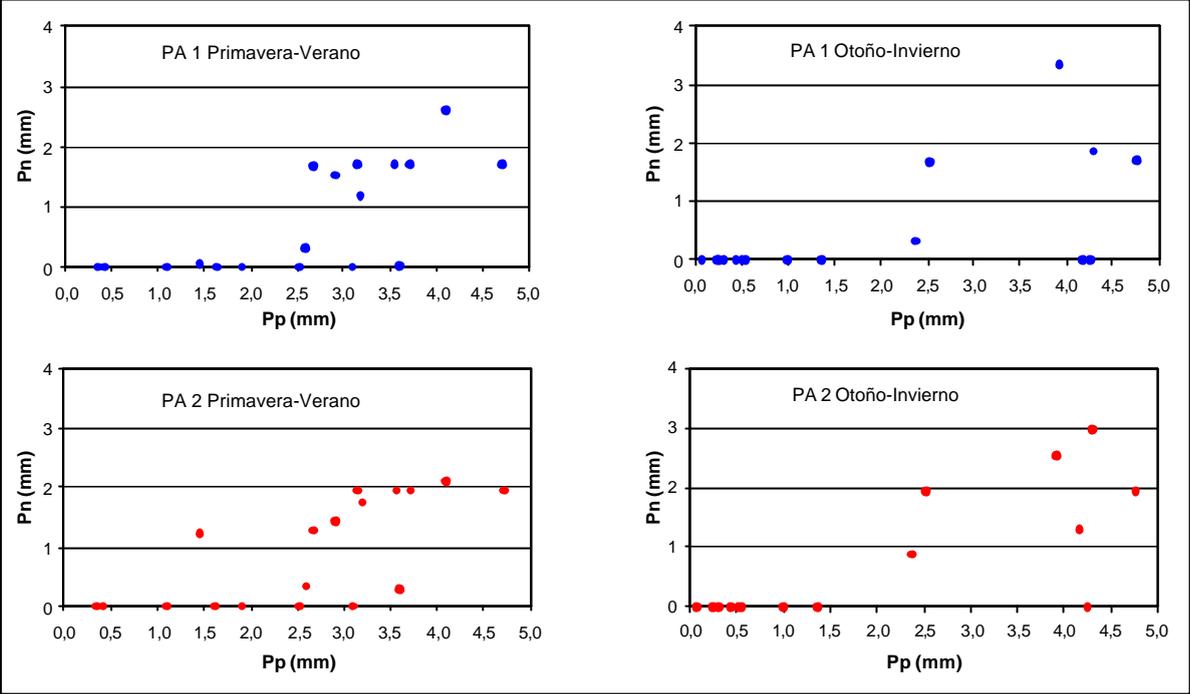
## **Anexo 7**

Gráficos de dispersión entre precipitación incidente ( $P_p$ ) y precipitación neta ( $P_n$ ) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en Cajones



## **Anexo 8**

Gráficos de dispersión entre precipitación incidente ( $P_p$ ) y precipitación neta ( $P_n$ ) para eventos inferiores a 5 mm y precedidos de a lo menos 24 h sin precipitaciones. Determinación de la capacidad de retención del dosel biestacional en Palhuén



## **Anexo 9**

Resultado de la prueba de normalidad para las pérdidas de agua por intercepción

Predio	Rodal	Shapiro-Wilks	p
El Carmen	EC 1 (mm)	0,91	2,65E-10
	EC 1 (%)	0,88	2,22E-15
	EC 2 (mm)	0,92	1,24E-08
	EC 2 (%)	0,84	0
Cajones	CA 1 (mm)	0,84	0
	CA 1 (%)	0,91	1,49E-11
	CA2 (mm)	0,79	0
	CA 2 (%)	0,87	0
Palhuén	PA 1 (mm)	0,78	0
	PA 1 (%)	0,88	0
	PA 2 (mm)	0,80	0
	PA 2 (%)	0,89	0

## **Anexo 10**

Pérdidas de agua por interceptación por estación climatológica para los dos años de registro en rodales densos (Ic 1) y ralos (Ic 2)

Predio	Estación	Pp	Ic 1		Ic 2	
		mm	mm	%	mm	%
El Carmen	Primavera 1	107,2	34,8	32,4	24,5	22,9
	Verano 1	52,2	26,1	49,9	31,5	60,3
	Otoño 1	383,4	135,3	35,3	86,9	22,7
	Invierno 1	393,8	122,3	31,1	90,5	23,0
	Primavera 2	116,2	30,5	26,2	33,8	29,1
	Verano 2	113,4	42,8	37,7	21,1	18,6
	Otoño 2	238,6	62,9	26,4	47,8	20,0
	Invierno 2	167,3	71,0	42,4	52,2	31,2
	<b>TOTAL</b>	<b>1.572,1</b>	<b>526,6</b>	<b>33,5</b>	<b>194,1</b>	<b>12,3</b>
Cajones	Primavera 1	49,3	21,8	44,2	18,8	38,1
	Verano 1	76,9	36,2	47,1	21,2	27,6
	Otoño 1	487,0	166,5	34,2	108,1	22,2
	Invierno 1	443,7	135,8	30,6	84,6	19,1
	Primavera 2	91,1	36,6	40,2	17,1	18,8
	Verano 2	69,4	37,1	53,5	26,1	37,6
	Otoño 2	228,8	102,7	44,9	72,7	31,8
	Invierno 2	165,7	70,5	42,5	49,7	30,0
	<b>TOTAL</b>	<b>1.611,9</b>	<b>607,2</b>	<b>37,7</b>	<b>398,3</b>	<b>24,7</b>
Palhuén	Primavera 1	54,7	24,1	44,1	18,8	34,4
	Verano 1	118,4	55,4	46,8	46,1	38,9
	Otoño 1	600,1	219,1	36,5	171,4	28,6
	Invierno 1	499,2	187,0	37,5	137,6	27,6
	Primavera 2	109,0	58,5	53,7	43,3	39,7
	Verano 2	67,3	32,2	47,8	30,4	45,2
	Otoño 2	312,7	130,6	41,8	129,8	41,5
	Invierno 2	187,6	83,1	44,3	81,5	43,4
	<b>TOTAL</b>	<b>1.949,0</b>	<b>790,0</b>	<b>40,5</b>	<b>658,9</b>	<b>33,8</b>

## **Anexo 11**

Valores de la prueba W para las pérdidas de agua por interceptación en valor relativo (%) por estaciones climáticas

Estaciones	H <sup>1</sup> :	El Carmen 1		El Carmen 2		Cajones 1		Cajones 2		Palhuén 1		Palhuén 2	
		W	p	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p
Primavera - Verano	≠		0,46		0,41		0,38		0,43		0,19		0,61
	>	164,5	0,77	118,5	0,21	177,0	0,81	174,0	0,78	185,5	0,09*	220,0	0,31
	<		0,23		0,79		0,19		0,22		0,91		0,69
Primavera - Otoño	≠		0,24		0,95		0,91		0,77		0,06*		0,29
	>	563,0	0,88	470,0	0,48	510,5	0,45	544,0	0,62	485,0	0,03*	558,0	0,14
	<		0,12		0,52		0,55		0,38		0,97		0,86
Primavera - Invierno	≠		0,59		0,89		0,56		0,89		0,07*		0,23
	>	444,0	0,70	418,0	0,55	408,0	0,28	440,0	0,45	380,5	0,03*	424,5	0,12
	<		0,30		0,45		0,72		0,55		0,96		0,88
Verano - Otoño	≠		0,96		0,70		0,28		0,31		0,74		0,83
	>	379,0	0,52	400,0	0,65	318,5	0,14	323,0	0,16	627,5	0,37	639,5	0,42
	<		0,48		0,35		0,86		0,84		0,63		0,58
Verano - Invierno	≠		0,66		0,44		0,07*		0,31		0,89		0,65
	>	297,0	0,33	366,0	0,78	232,5	0,03*	278,0	0,16	506,0	0,45	481,0	0,32
	<		0,67		0,22		0,96		0,84		0,55		0,68
Otoño - Invierno	≠		0,47		0,86		0,48		0,66		0,78		0,69
	>	981,0	0,24	1099,0	0,57	1071,0	0,24	1109,5	0,33	1455,0	0,61	1347,0	0,35
	<		0,76		0,43		0,76		0,67		0,39		0,65

(\*) Denota diferencia significativa entre las poblaciones con un nivel de confianza del 90%

## **Anexo 12**

Valores de la prueba W para las pérdidas de agua por intercepción (%) para condiciones de distinta edad

Comparación	H <sub>1</sub>	W	p	Comparación	H <sub>1</sub>	W	p
EC1 <sub>1</sub> - EC1 <sub>2</sub>	≠	1.739,5	0,361	EC2 <sub>2</sub> - CA2 <sub>2</sub>	≠	1.579,5	0,449
	>		0,181		>		0,776
	<		0,819		<		0,224
EC1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>1</sub>	≠	2.951,5	0,600	EC2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>1</sub>	≠	2.899,0	0,034*
	>		0,700		>		0,983
	<		0,300		<		0,017*
EC1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>2</sub>	≠	2.201,0	0,545	EC2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	1.920,0	0,022*
	>		0,727		>		0,989
	<		0,273		<		0,011*
EC1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>1</sub>	≠	3.584,0	0,558	CA1 <sub>1</sub> - CA1 <sub>2</sub>	≠	2.173,5	0,836
	>		0,721		>		0,582
	<		0,279		<		0,418
EC1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	≠	2.319,0	0,538	CA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>1</sub>	≠	3.541,5	0,885
	>		0,731		>		0,557
	<		0,269		<		0,443
EC1 <sub>2</sub> - CA1 <sub>1</sub>	≠	2.252,5	0,180	CA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	≠	2.334,5	0,682
	>		0,910		>		0,659
	<		0,089*		<		0,341
EC1 <sub>2</sub> - CA1 <sub>2</sub>	≠	1.716,5	0,110	CA1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>1</sub>	≠	2.555,5	0,937
	>		0,945		>		0,468
	<		0,054*		<		0,532
EC1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>1</sub>	≠	2.745,5	0,141	CA1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>2</sub>	≠	1.656,0	0,984
	>		0,929		>		0,508
	<		0,071*		<		0,492
EC1 <sub>2</sub> - PA1 <sub>2</sub>	≠	1.796,0	0,122	CA2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>2</sub>	≠	2.132,0	0,987
	>		0,939		>		0,506
	<		0,061*		<		0,494
EC2 <sub>1</sub> - EC2 <sub>2</sub>	≠	1.749,5	0,386	CA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>1</sub>	≠	3.953,5	0,144
	>		0,193		>		0,928
	<		0,807		<		0,072*
EC2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>1</sub>	≠	2.730,0	0,758	CA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	2.591,0	0,121
	>		0,379		>		0,940
	<		0,621		<		0,060*
EC2 <sub>1</sub> - CA2 <sub>2</sub>	≠	1.993,5	0,713	CA2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>1</sub>	≠	2.966,5	0,122
	>		0,357		>		0,939
	<		0,643		<		0,061*
EC2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>1</sub>	≠	3.665,0	0,395	CA2 <sub>2</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	1.948,0	0,097*
	>		0,802		>		0,951
	<		0,198		<		0,048*
EC2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	2.422,0	0,278	PA1 <sub>1</sub> - PA1 <sub>2</sub>	≠	2.770,0	0,832
	>		0,861		>		0,584
	<		0,139		<		0,416
EC2 <sub>2</sub> - CA2 <sub>1</sub>	≠	2.136,5	0,436	PA2 <sub>1</sub> - PA2 <sub>2</sub>	≠	2.794,5	0,760
	>		0,782		>		0,620
	<		0,218		<		0,380

(\*) Denota diferencia significativa entre las poblaciones con un nivel de confianza del 90%

### **Anexo 13**

Resultado de la prueba *W* para las pérdidas de agua por intercepción en valor relativo (%) según rangos de intensidad por rodal

Rodal	Comparaciones ( i )	Condición	W	p
EC 1	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	367,5	0,072* 0,036* 0,964
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	342,5	0,313 0,156 0,844
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	541,5	0,029* 0,014* 0,985
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	313,5	0,748 0,626 0,374
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	499,5	0,502 0,251 0,749
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	389,5	0,379 0,189 0,811
EC 2	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	320,5	0,013* 0,006* 0,993
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	245,0	0,010* 0,005* 0,995
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	414,0	0,000* 0,000* 1,000
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	270,0	0,593 0,297 0,703
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	500,5	0,510 0,255 0,745
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	441,0	0,891 0,445 0,555
CA 1	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	513,5	0,512 0,256 0,744
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	391,0	0,316 0,158 0,842
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	684,0	0,107* 0,053* 0,946
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	271,0	0,608 0,304 0,696
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	499,0	0,498 0,249 0,751
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	421,0	0,671 0,335 0,665

(\*) Denota diferencia significativa entre las poblaciones con un nivel de confianza del 90%  
(Continúa)

Rodal	Comparaciones ( i )	Condición	W	p
CA 2	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	415,5	0,061* 0,030* 0,969
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	349,5	0,111 0,055* 0,944
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	513,5	0,001* 0,000* 0,999
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	306,5	0,856 0,572 0,428
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	475,5	0,331 0,166 0,834
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	360,5	0,194 0,097* 0,903
PA 1	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	496,0	0,002* 0,001* 0,999
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	349,5	0,002* 0,001* 0,999
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	473,0	0,000* 0,000* 1,000
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	322,0	0,552 0,276 0,724
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	502,5	0,054* 0,027* 0,973
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	413,5	0,224 0,112 0,888
PA 2	0 - 0,9    1 - 1,9	≠ > <	442,0	0,000* 0,000* 1,000
	0 - 0,9    2 - 2,9	≠ > <	286,0	0,000* 0,000* 1,000
	0 - 0,9    > 3	≠ > <	324,5	0,000* 0,000* 1,000
	1 - 1,9    2 - 2,9	≠ > <	304,5	0,367 0,184 0,816
	1 - 1,9    > 3	≠ > <	453,0	0,013* 0,006* 0,993
	2 - 2,9    > 3	≠ > <	401,0	0,168 0,083* 0,916

(\*) Denota diferencia significativa entre las poblaciones con un nivel de confianza del 90%

#### **Anexo 14**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por intercepción (mm) para los seis rodales de estudio

$lc \text{ (mm)} = a * Pp^b$					
Rodal	a	b	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
El Carmen 1	0,76	0,71	0,71	2,12	127
El Carmen 2	-0,15	0,53	0,49	2,50	
Cajones 1	1,24	0,60	0,76	2,21	132
Cajones 2	-0,05	0,52	0,47	2,46	
Palhuén 1	0,88	0,74	0,82	2,29	151
Palhuén 2	1,06	0,61	0,66	2,41	

## **Anexo 15**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por intercepción (%) para los seis rodales de estudio

$I_c (\%) = 1/(a + b \cdot Pp^c)$						
Rodal	a	b	c	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
El Carmen 1	0,012	0,001	1,040	0,44	22,44	127
El Carmen 2	0,010	0,002	0,893	0,60	22,33	
Cajones 1	0,008	0,005	0,434	0,54	18,00	132
Cajones 2	0,009	0,004	0,739	0,64	19,25	
Palhuén 1	0,007	0,005	0,431	0,47	20,15	151
Palhuén 2	0,009	0,003	0,608	0,56	19,20	

## **Anexo 16**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por intercepción (mm) por estación climática

Ic (mm) = a * Pp <sup>b</sup>						
Estación	Rodal	a	b	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
Primavera	EC 1	0,95	0,57	0,56	2,03	19
	EC 2	1,44	0,36	0,42	1,53	
	CA 1	0,64	0,82	0,92	0,97	20
	CA 2	0,86	0,47	0,49	1,24	
	PA 1	0,57	0,94	0,94	1,15	22
	PA 2	0,41	0,94	0,82	1,47	
Verano	EC 1	2,36	0,30	0,19	2,04	15
	EC 2	2,35	0,18	0,06	1,92	
	CA 1	0,84	0,80	0,95	0,98	15
	CA 2	1,53	0,37	0,45	1,61	
	PA 1	0,38	1,08	0,84	1,68	22
	PA 2	1,38	0,49	0,56	1,64	
Otoño	EC 1	1,18	0,56	0,82	1,51	50
	EC 2	1,19	0,41	0,59	1,49	
	CA 1	1,14	0,64	0,73	2,69	52
	CA 2	0,90	0,58	0,50	2,75	
	PA 1	1,00	0,70	0,83	2,30	60
	PA 2	1,02	0,64	0,66	2,87	
Invierno	EC 1	0,42	0,91	0,82	2,19	42
	EC 2	0,23	1,01	1,79	0,83	
	CA 1	1,37	0,54	0,76	2,00	45
	CA 2	1,11	0,45	0,45	2,03	
	PA 1	0,77	0,78	0,82	2,53	47
	PA 2	1,17	0,57	0,62	2,38	

## **Anexo 17**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por intercepción (%) por estación climática

Ic (%) = 1/(a + b*Pp <sup>c</sup> )							
Estación	Rodal	a	b	c	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
Primavera	EC 1	0,008	0,003	0,774	0,57	22,49	19
	EC 2	0,011	0,001	1,430	0,75	17,34	
	CA 1	-0,044	0,058	0,066	0,36	22,32	
	CA 2	0,007	0,007	0,563	0,41	24,56	20
	PA 1	0,007	0,005	0,388	0,47	21,29	
	PA 2	0,009	0,003	0,819	0,67	18,59	
Verano	EC 1	0,013	0,000	1,804	0,55	17,61	15
	EC 2	0,015	0,000	2,005	0,46	20,77	
	CA 1	0,006	0,005	0,380	0,67	12,66	
	CA 2	0,008	0,003	0,746	0,68	16,59	15
	PA 1	-0,030	0,040	0,116	0,38	22,49	
	PA 2	0,006	0,005	0,470	0,37	21,32	
Otoño	EC 1	0,010	0,002	0,820	0,61	19,97	50
	EC 2	0,009	0,004	0,724	0,65	22,43	
	CA 1	0,008	0,005	0,432	0,62	18,22	
	CA 2	0,009	0,004	0,727	0,73	17,84	52
	PA 1	0,007	0,006	0,366	0,53	19,35	
	PA 2	0,009	0,004	0,575	0,67	16,63	
Invierno	EC 1	0,011	0,001	0,944	0,68	16,26	42
	EC 2	0,010	0,002	0,883	0,61	23,34	
	CA 1	0,010	0,003	0,569	0,51	17,83	
	CA 2	0,009	0,002	0,946	0,68	18,29	45
	PA 1	0,008	0,003	0,554	0,50	18,33	
	PA 2	0,009	0,002	0,810	0,54	20,22	

## **Anexo 18**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por interceptación (mm) por rangos de intensidad

Ic (mm) = a * Pp <sup>b</sup>						
Rodal	Intensidad (mm/h)	a	b	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
EC 1	0-0,9	1,13	0,57	0,62	1,55	37
	1-1,9	0,79	0,72	0,45	2,14	27
	2-2,9	2,24	0,31	0,53	1,54	22
	>3	0,40	0,89	0,78	2,55	41
EC 2	0-0,9	0,02	0,55	0,62	1,36	37
	1-1,9	0,17	0,47	0,27	2,30	27
	2-2,9	1,43	0,35	0,32	1,77	22
	>3	-0,57	0,55	0,47	1,66	41
CA 1	0-0,9	0,85	0,56	0,78	0,60	42
	1-1,9	1,27	0,57	0,91	0,67	27
	2-2,9	1,38	0,54	0,74	1,83	22
	>3	2,04	0,49	0,70	3,27	41
CA 2	0-0,9	0,86	0,43	0,65	0,57	42
	1-1,9	1,03	0,49	0,36	1,66	27
	2-2,9	1,34	0,44	0,57	1,64	22
	>3	1,35	0,44	0,33	2,03	41
PA 1	0-0,9	1,33	0,51	0,64	1,03	53
	1-1,9	1,93	0,42	0,48	2,11	31
	2-2,9	1,16	0,65	0,77	2,25	23
	>3	0,85	0,76	0,84	3,22	44
PA 2	0-0,9	1,23	0,58	0,69	1,02	53
	1-1,9	1,57	0,47	0,55	1,71	31
	2-2,9	0,92	0,65	0,69	2,02	23
	>3	0,91	0,65	0,60	3,88	44

## **Anexo 19**

Valores de los coeficientes de las relaciones entre Precipitación incidente y las pérdidas de agua por intercepción (%) por rangos de intensidad

Ic (%) = 1/(a + b*Pp <sup>c</sup> )							
Rodal	Intensidad (mm/h)	a	b	c	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	n
EC 1	0-0,9	-0,080	0,0957	0,023	0,25	29,77	37
	1-1,9	0,013	0,0002	1,586	0,39	19,88	27
	2-2,9	0,010	0,0002	1,640	0,86	12,23	22
	>3	0,008	0,0028	0,703	0,79	12,91	41
EC 2	0-0,9	0,007	0,0067	0,376	0,39	28,44	37
	1-1,9	0,010	0,0010	1,344	0,57	22,89	27
	2-2,9	0,009	0,0023	0,952	0,65	21,06	22
	>3	0,008	0,0022	0,951	0,78	15,31	41
CA 1	0-0,9	0,008	0,0055	0,643	0,80	22,37	42
	1-1,9	0,009	0,0019	0,802	0,88	8,63	27
	2-2,9	-0,024	0,0302	0,189	0,84	11,72	22
	>3	0,015	0,0001	1,304	0,35	18,93	41
CA 2	0-0,9	0,009	0,0037	0,953	0,73	18,08	42
	1-1,9	0,008	0,0030	0,868	0,80	14,31	27
	2-2,9	-0,045	0,0491	0,186	0,85	12,17	22
	>3	0,016	0,0008	1,012	0,35	20,47	41
PA 1	0-0,9	0,010	0,0006	1,293	0,43	22,32	53
	1-1,9	0,007	0,0055	0,368	0,38	19,39	31
	2-2,9	-0,024	0,0371	0,091	0,42	19,97	23
	>3	-0,439	0,4523	0,009	0,41	20,03	44
PA 2	0-0,9	0,010	0,0017	0,787	0,38	21,85	53
	1-1,9	0,009	0,0025	0,696	0,55	17,38	31
	2-2,9	0,006	0,0053	0,535	0,84	14,82	23
	>3	0,006	0,0063	0,493	0,68	15,44	44
EC*	1-1,9	0,013	0,0003	1,558	0,61	23,53	54
	2-2,9	0,010	0,0008	1,242	0,83	18,75	44
PA 2**	-	0,009	0,0034	0,608	0,75	19,20	151

(\*) Se presentan los coeficientes sin diferenciar densidad de los rodales por significancia estadística no alcanzada ( $p < 0,01$ ).

(\*\*) Se presentan los coeficientes sin diferenciar rangos de intensidad de las precipitaciones por significancia estadística no alcanzada ( $p < 0,01$ ).

## **Anexo 20**

Resultados de la prueba t-student intra e inter predial para comparaciones de las curvas de pérdidas de agua por intercepción

Curvas	Comparación	t-student	p
Ic (mm) = a*Pp <sup>b</sup>	EC1 - EC2	12,6	0,0*
	CA1 - CA2	11,6	0,0*
	PA1 - PA2	6,6	1,4E-10*
	EC1 - CA1	-5,6	4,8E-08*
	EC1 - PA1	-9,4	0,0*
	EC2 - CA2	-6,3	8,4E-10*
	EC2 - PA2	-14,2	0,0*
	CA1 - PA1	-4,9	1,5E-06*
	CA2 - PA2	-9,6	0,0*
Ic (%) = 1/(a + b*Pp <sup>c</sup> )	EC1 - EC2	2,7	8,4E-03*
	CA1 - CA2	10,7	0,0*
	PA1 - PA2	5,2	3,2E-07*
	EC1 - CA1	-6,8	6,1E-11*
	EC1 - PA1	-7,7	0,0*
	EC2 - CA2	-0,5	0,6
	EC2 - PA2	-6,0	7,9E-09*
	CA1 - PA1	-1,2	0,2
	CA2 - PA2	-5,8	1,4E-08*

(\*) Estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 99%

## **Anexo 21**

Resultados de la prueba t-student para comparaciones entre curvas de pérdidas de agua por intercepción entre rangos de intensidad y localidades. I 1 = 0 – 0,9 mm/h; I 2 = 1 – 1,9 mm/h; I 3 = 2 – 2,9 mm/h; I 4 = > 3 mm/h

Comparación	t-student	p
(I 1) EC1 - (I 1) EC2	14,3	0,0*
(I 2) EC1 - (I 2) EC2	1,5	0,1
(I 3) EC1 - (I 3) EC2	0,7	0,5
(I 4) EC1 - (I 4) EC2	4,7	4,8E-06*
(I 1) CA1 - (I 1) CA2	4,7	4,3E-06*
(I 2) CA1 - (I 2) CA2	4,6	6,6E-06*
(I 3) CA1 - (I 3) CA2	2,6	8,5E-03*
(I 4) CA1 - (I 4) CA2	7,4	1,3E-07*
(I 1) PA1 - (I 1) PA2	-5,1	7,0E-07*
(I 2) PA1 - (I 2) PA2	7,0	1,6E-11*
(I 3) PA1 - (I 3) PA2	9,1	0,0*
(I 4) PA1 - (I 4) PA2	9,8	0,0*
(I 1) EC1 - (I 2) EC1	19,6	0,0*
(I 1) EC1 - (I 3) EC1	14,5	0,0*
(I 1) EC1 - (I 4) EC1	14,8	0,0*
(I 2) EC1 - (I 3) EC1	-0,8	0,4
(I 2) EC1 - (I 4) EC1	-5,0	8,7E-07*
(I 3) EC1 - (I 4) EC1	-3,5	5,4E-04*
(I 1) EC2 - (I 2) EC2	12,3	0,0*
(I 1) EC2 - (I 3) EC2	11,1	0,0*
(I 1) EC2 - (I 4) EC2	10,0	0,0*
(I 2) EC2 - (I 3) EC2	-1,8	7,3E-02*
(I 2) EC2 - (I 4) EC2	-2,2	2,8E-02*
(I 3) EC2 - (I 4) EC2	-0,5	0,6
(I 1) CA1 - (I 2) CA1	-4,1	5,4E-05*
(I 1) CA1 - (I 3) CA1	-8,0	0,0*
(I 1) CA1 - (I 4) CA1	-9,5	0,0*
(I 2) CA1 - (I 3) CA1	-3,5	5,8E-04*
(I 2) CA1 - (I 4) CA1	4,5	1,0E-05*
(I 3) CA1 - (I 4) CA1	-0,8	0,4
(I 1) CA2 - (I 2) CA2	-3,0	3,1E-03*
(I 1) CA2 - (I 3) CA2	-5,5	8,7E-08*
(I 1) CA2 - (I 4) CA2	-6,6	1,7E-10*
(I 2) CA2 - (I 3) CA2	-3,4	7,9E-04*
(I 2) CA2 - (I 4) CA2	-2,9	3,4E-03*
(I 3) CA2 - (I 4) CA2	1,6	0,1

(\*) Estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 90%

(Continúa)

Comparación	t-student	p
(I 1) PA1 - (I 2) PA1	-11,4	0,0*
(I 1) PA1 - (I 3) PA1	-13,2	0,0*
(I 1) PA1 - (I 4) PA1	-12,0	0,0*
(I 2) PA1 - (I 3) PA1	-1,9	6,4E-02*
(I 2) PA1 - (I 4) PA1	0,6	0,5
(I 3) PA1 - (I 4) PA1	3,1	2,5E-03*
(I 1) PA2 - (I 2) PA2	0,3	0,7
(I 1) PA2 - (I 3) PA2	1,0	0,3
(I 1) PA2 - (I 4) PA2	1,1	0,2
(I 2) PA2 - (I 3) PA2	0,7	0,4
(I 2) PA2 - (I 4) PA2	0,8	0,4
(I 3) PA2 - (I 4) PA2	0,1	0,9

(\*) Estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 90%