



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación del manejo de dos plantaciones de
Pinus radiata D. Don sobre el balance hídrico en la zona de
secano interior de la VII Región**

Profesor: Sr. Anton W. Huber J.

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

FRANCISCO JAVIER SAN JUAN ITURRIAGA

VALDIVIA
2004

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Ciclo hidrológico	3
2.2 Balance hídrico	4
2.2.1 Precipitación	5
2.2.2 Redistribución de las precipitaciones	5
Pérdidas de agua por intercepción	5
Precipitación directa	6
Esgurrimiento fustal	6
Precipitación neta	6
2.2.3 Evapotranspiración neta	7
2.2.4 Infiltración y Percolación	7
2.3 Agua en el suelo	8
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	9
3.1 Área de estudio	9
3.1.1 Clima	9
3.1.2 Suelo	10
3.1.3 Rodales	10
3.2 Método	10
3.2.1 Precipitación directa	10
3.2.2 Esgurrimiento fustal	11
3.2.3 Pérdida por intercepción	12
3.2.4 Contenido de humedad del suelo	12
3.2.5 Percolación	13
3.2.6 Evapotranspiración neta	13
3.3 Tratamiento de la información y análisis de los resultados	14
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	16
4.1 Precipitaciones	16
4.2 Redistribución de las precipitaciones	17
4.2.1 Precipitación directa	18
4.2.2 Esgurrimiento fustal	20
4.2.3 Pérdidas por intercepción	22
4.3 Contenido de humedad del suelo	23
4.3.1 Distribución temporal y espacial	23
4.4 Percolación	27
4.5 Consumo de agua por evapotranspiración	27
5. CONCLUSIONES	29
6. RESUMEN	30
7. SUMMARY	31
8. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	36
1 Variación humedad del suelo (mm)	
2 Resultados estadísticos	

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Características de los rodales	10
Cuadro 2.	Precipitaciones totales por período mensual y total anual en predios El Carmen y Cajones	16
Cuadro 3.	Variación temporal de la precipitación directa en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual	18
Cuadro 4.	Variación temporal del escurrimiento fustal en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual	20
Cuadro 5.	Variación mensual de las pérdidas de agua por interceptación en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual	22
Cuadro 6.	Variación mensual del consumo por evapotranspiración en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual	27

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Ciclo hidrológico según Jeldres	3
Figura 2.	Ubicación de los sitios del estudio	9
Figura 3.	Canaletas para la recolección de la precipitación directa (Pd)	11
Figura 4.	Collarín de goma	12
Figura 5.	Sonda de neutrones (Troxler 4300)	13
Figura 6.	Redistribución de la precipitaciones, para los rodales EC1 y EC2	17
Figura 7 .	Redistribución de las precipitaciones, para los rodales C1 y C2	18
Figura 8.	Distribución de la precipitación directa durante el periodo de estudio en los rodales estudiados	19
Figura 9.	Distribución del escurrimiento fustal durante el periodo de estudio en los rodales estudiados	21
Figura 10.	Precipitaciones por periodo mensual (mm), variación temporal y espacial de humedad del suelo (% volumen) de las parcelas EC1 y EC2	25
Figura 11.	Precipitaciones por periodo mensual (mm), variación temporal y espacial de humedad del suelo (% volumen) de las parcelas C1 y C2	26

1. INTRODUCCIÓN

Los beneficios de las cubiertas forestales son innumerables, como por ejemplo la producción de madera y sus derivados, protección de cauces, disminución de la erosión, desarrollo de hábitat para fauna y la regulación del recurso agua (Donoso, 1993).

El agua es sin duda un recurso vital para la vida, por lo que las decisiones que se tomen en relación a ella deben adoptarse con un cabal conocimiento de su ciclo y de los efectos que se pueden presentar al intervenir en el medioambiente.

Su disponibilidad es fundamental en lo referido al establecimiento de plantaciones forestales y su desarrollo. Sin este elemento es impensado esperar el crecimiento de alguna especie vegetal, mas aún si se piensa en la obtención de beneficios económicos.

Los cambios que se producen en los bosques debido a su desarrollo o por efectos del manejo pueden producir modificaciones en los componentes del balance hídrico, donde el tipo y grado de los cambios va a depender del clima local (volumen de agua caída, periodicidad, ocurrencia de sequías, temperatura, viento), la topografía y el tipo de suelo (López y Blanco, 1976).

Junto con lo anterior existen componentes del recurso hídrico que son afectados por las características de los bosques como son la distribución de los árboles, la estratificación y la densidad, que influyen en la intercepción, infiltración, escorrentía, almacenamiento de agua en el suelo, evapotranspiración y percolación (López y Blanco, 1976).

De esta manera, el conocer el impacto que ejercen las plantaciones sobre el recurso hídrico es de suma importancia, sobre todo en regiones de clima mediterráneo donde el recurso hídrico es una limitante estacional. Este hecho se hace aún más relevante frente a proyectos que pretenden aumentar significativamente las superficies forestadas en el centro sur de Chile (Gutiérrez, 2002).

Como forma de contribuir a este conocimiento, desde el año 2001 se encuentra en ejecución el proyecto FONDECYT 1010713, que pretende comprender la dinámica hidrológica de las plantaciones forestales del secano interior de la VII región.

El presente trabajo de titulación se enmarca en dicho proyecto, y tiene como objetivo general evaluar el efecto del manejo de dos plantaciones de *Pinus radiata* D. Don sobre el balance hídrico en la zona de secano interior de la VII región.

Con el fin de cumplir este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- determinar las precipitaciones y su redistribución en las plantaciones,
- evaluar temporal y espacialmente el contenido de agua del suelo,
- cuantificar el agua involucrada en la percolación y

- determinar la evapotranspiración neta.

Estos objetivos fueron ejecutados en dos rodales de distinta edad y con diferente manejo.

Finalmente la información obtenida se utilizará para comparar los componentes del balance hídrico, entre los dos rodales estudiados, con énfasis en determinar el efecto del raleo sobre éstos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un movimiento continuo a través del cual el agua se moviliza por tres sistemas terráqueos, comenzando en la hidrósfera y litósfera con la evaporación de las masas de agua de los océanos, lagos, ríos, etc., además de la evaporación del agua que se encuentran sobre la superficie de la tierra y de los vegetales, gracias a la radiación solar y el viento que aseguran el bombeo, destilación y transporte del agua en todas sus formas. (Martínez y Navarro, 1996; Jeldres, 2000; Aparicio, 2001).

Luego de este primer paso, el agua, que se encuentra en estado gaseoso, puede regresar a su estado original cuando se presentan las condiciones meteorológicas adecuadas para este proceso. Al ocurrir este fenómeno, el agua puede caer directamente sobre la superficie del suelo; lo que se denomina precipitación directa, o bien, puede caer sobre la vegetación; lo que se denomina intercepción, caso en el cual el agua puede ser evaporada nuevamente (Armson.1977; Lee, 1980).

Es en esta última parte del ciclo el agua puede tomar varias vías para llegar a la superficie del suelo, como son: escurrir por los fustes, ramas, ramitas u hojas, luego de lo cual puede continuar su viaje por la superficie o el interior de la tierra, para finalmente retornar a las grandes masas de agua, acumularse y evaporarse comenzando nuevamente el ciclo, o bien, poder ser absorbida y transpiradas por las plantas (Armson, 1977; De Ver Burton, 2000; Jeldres, 2000; Volkheimer, s.f.) (figura 1).

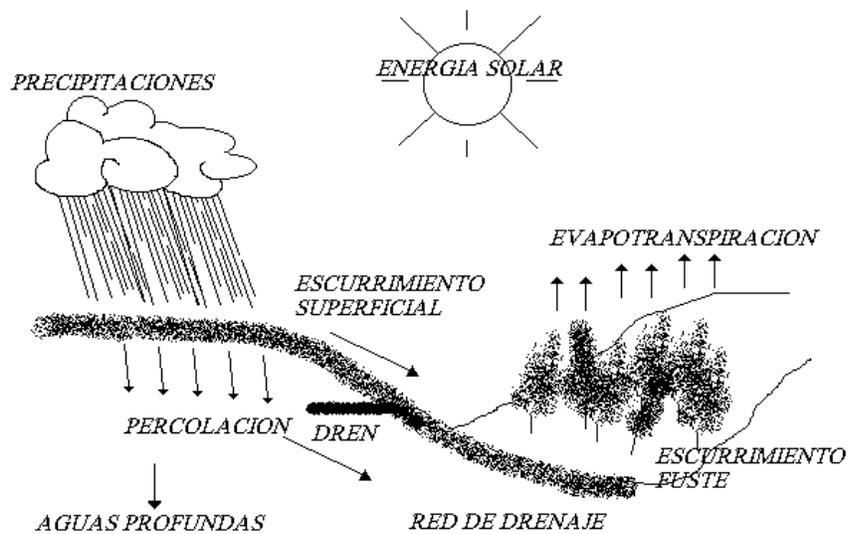


Figura 1. Ciclo hidrológico según Jeldres (2000)

Este gran ciclo, Lee (1980) lo denomina como un modelo de circulación general, el cual implica el despliegue de complejos movimientos y transformaciones del recurso agua.

2.2 Balance hídrico

La cuantificación de los distintos componentes del ciclo hidrológico es lo que se denomina balance hídrico. Tiene en cuenta las relaciones que existen entre las entradas, salidas y variaciones de las reservas de agua en la zona donde se plantea.

Todo balance hídrico se basa en el principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad, donde la diferencia entre las entradas y salidas esta condicionada por la variación del volumen de agua almacenado (Martínez y Navarro, 1996).

$$\text{VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO} = \text{VOLUMEN DE ENTRADAS} - \text{VOLUMENES DE SALIDAS}$$

Este equilibrio ocasionado por la entrada y salida de agua se la denomina balance hídrico y depende principalmente de las características de las precipitaciones y de las condiciones climáticas (Moya, 2001).

Este fenómeno dice relación con la cantidad de agua que ingresa a un ecosistema mediante las precipitaciones y la cantidad que sale de el por escurrimiento, percolación o evaporación, así como también la cantidad de agua que es consumida por parte de la vegetación.

De esta manera, en términos de ecuación, el balance hídrico esta dado por:

$$P_t = I_c + P_{er} + A + E_{vptn} + \Delta W \quad (1)$$

Donde

P_t : Precipitación neta (mm)

I_c : Intercepción neta (mm)

P_{er} : Cantidad de agua percolada (mm)

A : Saldo de esorrentía (mm)

E_{vptn} : Cantidad de agua evapotranspirada (mm)

ΔW : Variación en el contenido de humedad del suelo (mm)

Este balance hídrico puede modificarse según el objetivo, según la zona a estudiar o en función del periodo de tiempo considerado (Martínez y Navarro, 1996).

Cada una de las variables que participan en éste balance se originan por distintas causas y son afectados por distintos factores, los cuales se describen a continuación.

2.2.1 Precipitación

Este fenómeno es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre y forma parte de los ingresos dentro del balance hídrico. Es el producto de la condensación del vapor de agua que se encuentra en la atmósfera y que llega a la superficie en forma líquida o sólida: como lluvia, granizo, nieve o hielo (Aparicio, 2001; Lee, 1980).

Luego de ocurrir la precipitación, el agua caída puede tomar diferentes rutas dentro del ciclo hidrológico, las cuales están influenciadas por las características de las lluvias, por la estructura del dosel, por la topografía, por las condiciones climáticas y por el manejo del bosque (Huber y Oyarzún, 1984), de esta manera cuando se produce la precipitación sobre la tierra el agua que llega está destinada a seguir uno o más de las siguientes rutas (Jeldres, 2000):

- Evaporarse mientras cae.
- Ser interceptada y evaporada desde las plantas.
- Ser evaporada desde la superficie del suelo.
- Infiltrarse y ser almacenada en la zona de las raíces.
- Infiltrarse y percolar al subsuelo.
- Ser absorbida y transpirada por las plantas.

2.2.2 Redistribución de las precipitaciones

La forma en que los aportes de agua alcanzan una superficie depende en gran medida de la cobertura vegetal de ésta. Es así que se entiende por redistribución de las precipitaciones al cambio que sufre la lluvia al cruzar durante su caída una cubierta vegetal, alterándose los montos, la intensidad y el lugar en que el agua alcanza el suelo (Aussenac y Boulangeat, 1980; López y Blanco, 1978).

Pérdidas de agua por intercepción (Ic). De la precipitación que llega a un bosque, una parte es detenida momentáneamente por la biomasa aérea de los árboles (Grimm y Fassbender, 1981). A éste proceso se le denomina intercepción y es el primer efecto que producen los bosques sobre el agua, el cual se denomina pérdida de agua por intercepción (Huber y Oyarzún, 1983; López y Blanco, 1978; Lee, 1980; Zinke, 1967).

Los principales factores que influyen en la cantidad de agua evaporada en la intercepción son las características de las precipitaciones (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia) (Crockford y Richardson, 2000; Viville *et al.*, 1993), las características de la vegetación (densidad, cobertura de copas, estructura del dosel, ángulo de convergencia de las ramas, características de los fustes y de la corteza y cantidad de líquenes y musgos) (Aussenac y Boulangeat, 1980; Putuhena y Cordery, 2000) y las condiciones meteorológicas existentes en el momento de las lluvias (Crockford y Richardson, 2000; Huber *et al.*, 1985).

La densidad de las plantaciones boscosas tienen una gran influencia sobre las pérdidas por intercepción, y esta influencia puede variar a causa de la distinta

cantidad de agua que se requiere para saturar el dosel y a la diferente superficie evaporante (Huber y Oyarzún, 1984; Lee, 1980; Lira, 1999).

Precipitación directa (Pd). La cantidad de lluvia que alcanza el suelo a través de los claros del dosel, más la que atraviesa las copas o la fracción que gotea desde las hojas y ramas dentro del bosque, se denomina precipitación directa. Esta también se conoce con el nombre de lluvia bajo el dosel, infiltración a través del follaje o agua de traslocación (Crockford y Richardson, 2000; Lee, 1980).

Algunos autores dividen esta precipitación en: precipitación directa propiamente tal y precipitación por goteo; sin embargo, como es muy difícil distinguirlas, usualmente se contabilizan juntas (Benecke, 1976).

Los factores que inciden sobre la precipitación directa dependen en gran medida de la magnitud y frecuencia de las precipitaciones, más que de la fisonomía del bosque. Sin embargo, este componente varía con el tipo y tamaño de las copas, y con la densidad y la cantidad de ramas (Viville *et al.*, 1993).

Escurrimiento fustal (Pf). La porción de la precipitación que, habiendo llegado a las copas, desciende a través de los fustes u otra estructura vegetal hasta llegar al suelo, se denomina escurrimiento fustal (Lee, 1980; Martínez y Navarro, 1995).

Huber y Trecaman (2000), señalan que este componente de la redistribución es muy importante en la repartición espacial de la humedad del suelo, debido a que produce una concentración del agua en la base de los árboles.

El valor relativo de este escurrimiento es variable, puesto que entre las distintas especies van a influir factores tales como la forma y tamaño de las copas, el espesor y tipo de corteza y el ángulo de inserción de las ramas en el fuste. Es así, como alcanza valores altos en árboles con copas de mayor tamaño y forma de embudo, ramas verticales y convergentes a los fustes de menor diámetro y corteza lisa. Además, la presencia de cualquier tipo de vegetación sobre la corteza produce una reducción de este componente (Huber y Oyarzún, 1992).

Precipitación neta (Pn). La suma de los aportes por precipitación directa y escurrimiento fustal se denomina precipitación neta, y constituye la principal forma de abastecimiento de agua del suelo en un ecosistema forestal. Una cantidad importante de esta agua puede ser retenida por la hojarasca y luego reintegrada a la atmósfera por evaporación, lo que se conoce como intercepción de hojarasca (Myers, 1992).

2.2.3 *Evapotranspiración neta*

Las precipitaciones retornan a la atmósfera por la evaporación y transpiración. Sin embargo cuando se ha querido diferenciar entre montos transpirados y evaporados dentro de terrenos con cubierta vegetal existe dificultad para realizar esta tarea. Es por ello que estos dos términos se han unido en uno que señala la transferencia de

vapor de agua que existe desde el suelo más el agua transpirada por los vegetales (Lee, 1980; Novoa, 1998; Putuhena y Cordery, 2000; Spurr, 1980).

Las cantidades evapotranspiradas dependen de factores como son: los montos de agua caída, la cantidad de agua disponible en el suelo, las condiciones meteorológicas y la presencia y características de la vegetación (Barnes *et al.*, 1998). Así por ejemplo, en Estados Unidos donde del 70% del total de las precipitaciones que retorna a la atmósfera por evapotranspiración, los bosques son los que en mayor medida contribuyen a ésta retorno (Spurr, 1980).

De esta manera existe una relación directa entre la evapotranspiración y la densidad de las plantaciones (Ulloa, 2000), así como también existe una relación directa entre el aumento de las precipitaciones y la evapotranspiración. Sin embargo esta relación tiende a ser constante, cuando las precipitaciones superan los 500 mm (Likens *et al.*, 1977).

2.2.4 Infiltración y Percolación

Al llegar el agua a la superficie del suelo, esta puede moverse a través de ella y hacia el interior de la misma, lo que se denomina infiltración, movimiento que se produce por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. Luego esta, se mueve en profundidad dentro del suelo, movimiento denominado percolación. Este movimiento al interior del suelo es afectado por factores como la textura, estructura y contenido de raíces, contenido de humedad inicial del suelo, humedad de saturación, aire atrapado, compactación y temperatura (Aparicio, 2001; Kimmnis, 1997; Martínez y Navarro, 1996).

Aunque la cantidad de agua involucrada en este componente está en función de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y de la diferencia entre las precipitaciones neta y la evapotranspiración neta, las características de la cubierta vegetal son un factor importante (Farahani *et al.* 1998; Putuhena y Cordery, 2000).

Entre las características de la cubierta vegetal, destaca la densidad de ésta, ya que superficies cubiertas con bosques densos en general disminuyen la cantidad de agua que alcanza el suelo. En este sentido, el raleo es una práctica silvícola que puede aumentar la percolación al reducir las pérdidas de agua por intercepción. Un efecto similar de aumento de la percolación es el que provoca el contenido de raíces, al incrementar la permeabilidad de los horizontes del suelo, facilitando el movimiento del agua en profundidad (Bréda *et al.* 1995).

2.3 Agua en el suelo

La cantidad de agua que está disponible para los vegetales, está en relación con los tipos de agua presentes en el suelo (INIA y CORFO, 1994), los cuales son:

- Agua gravitacional: es el agua que no está retenida por las partículas sólidas del suelo y que como consecuencia de ello puede desplazarse libremente por los poros.

- Agua capilar: es aquella que es retenida por las partículas sólidas del suelo mediante fuerzas de tensión superficial. Parte de esta agua es utilizada por las plantas ya que las fuerzas de retención son inferiores a la succión efectuada por las raíces, sin embargo, el agua restante está tan fuertemente adherida que las plantas no son capaces de utilizarla.
- Agua higroscópica: es aquella que las partículas del suelo pueden absorber cuando se ponen en contacto con una atmósfera saturada de vapor de agua.
- Agua de constitución: fracción menos significativa del agua del suelo, la cual es inutilizable por las plantas, ya que forman parte de los constituyentes de algunos componentes del suelo.

Junto con esto, existen características del agua presente en el suelo que son el resultado de la influencia de factores físicos. Así, la máxima cantidad de agua que un suelo retiene una vez que ha finalizado el drenaje interno se le denomina capacidad de campo. Esta coincide con el máximo de agua capilar, que es el agua retenida por fuerzas de tensión superficial (INIA y CORFO, 1994; Domínguez, 1996).

Cuando el contenido de humedad disminuye progresivamente, las plantas encuentran cada vez mayores dificultades para absorber agua del suelo, llegando a un punto en que comienzan a marchitarse. Cuando éste estado es irreversible el suelo se encuentra con un nivel de humedad residual que es prácticamente agua higroscópica y es donde la planta no es capaz de recuperarse. Es en estas condiciones que el suelo se encuentra en un estado o punto de marchitez permanente (INIA y CORFO, 1994; Domínguez, 1996).

A aquella agua capilar que se encuentra comprendida entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se le llama humedad aprovechable, la cual presenta variabilidad dependiendo del tipo de suelo (INIA y CORFO, 1994).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Área de estudio

El área de estudio son dos rodales de *Pinus radiata* D. Don que se encuentran en la zona correspondiente al secano interior de la VII Región, ubicados específicamente en los predios El Carmen y Cajones pertenecientes a la empresa Forestal Celco S.A., los cuales se hallan en los 35° 41' S, 71° 55' W y 35° 40' S, 71° 49' W, respectivamente (ver figura 2).

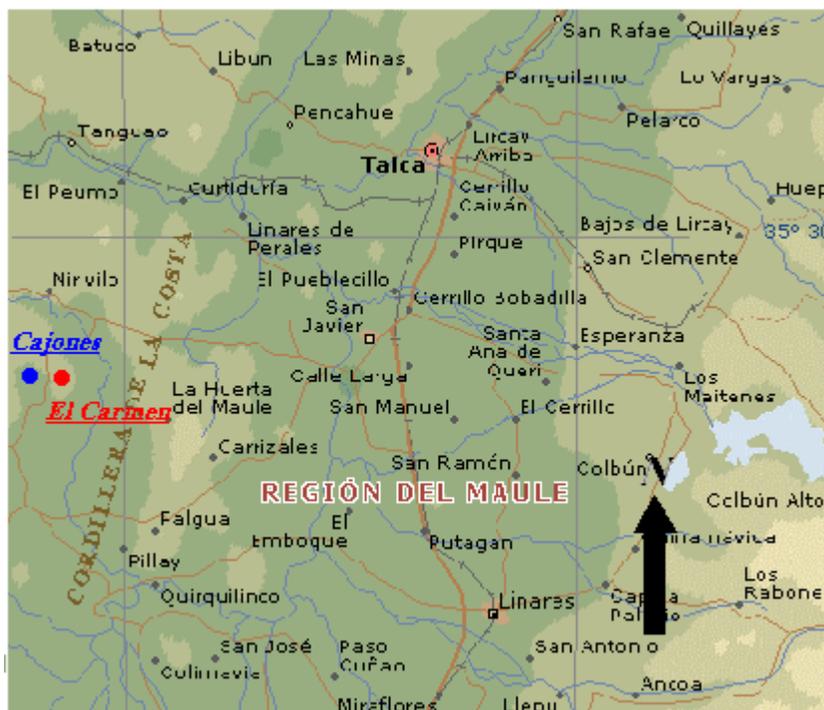


Figura 2. Ubicación de los sitios del estudio.

3.1.1 Clima

El clima preponderante en la zona es templado cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada (Fuenzalida, 1971).

Las precipitaciones se concentran en un 75% entre los meses de mayo y agosto, con promedios anuales de 689 mm. La temperatura media anual llega a los 14,7° C, siendo enero el mes más cálido con 22° C.

3.1.2 Suelos

Los rodales a evaluar se encuentran en distintos lugares, lo que hace que presenten distintas condiciones de suelo. Así, el rodal ubicado en el Predio El Carmen presenta una serie de suelos denominada Pocillas, que son suelos de origen Metamórfico, de topografía montañosa y geomorfología de posición alta con superficies rocosas con comienzo de sedimentación. Estos suelos presentan una erosión severa con drenaje externo muy rápido y uno interno moderadamente lento (IREN, 1964).

El rodal ubicado en el predio Cajones, presenta una serie de suelos denominada Vaquería, que son suelos de origen aluvial de limo sobre una toba de composición mixta, son terrenos de topografía ligeramente ondulada y geomorfología de posición baja con planos depositacionales. Estos suelos no presentan una erosión aparente, con un drenaje externo bueno y uno interno imperfecto (IREN, 1964).

3.1.3 Rodales

Cada uno de los predios (El Carmen y Cajones), donde se realiza este estudio, consta con plantaciones de *Pinus radiata* de 5 y 7 años respectivamente, las que presentan distintas condiciones dasométricas, de cobertura y de suelo como se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1: Características de los rodales

Rodales	El Carmen		Cajones	
Parcelas	EC1	EC2	C1	C2
Año de Plantación	1997	1997	1995	1995
Densidad (arb/ha)	1250	700	1250	700
Dap (cm)	9,0	9,2	12,6	11,0
Altura (m)	6,8	6,2	7,3	7,4
Cobertura (%)	68	34	78	31
Suelo (serie)	Pocillas	Pocillas	Vaquería	Vaquería

3.2 Método

La metodología utilizada para este estudio a sido probada con éxito en diversos estudios (Huber y Oyarzún, 1983; Huber y Oyarzún, 1984; Hubert *et al.*, 1985; Huber y Oyarzún, 1990; Huber y Oyarzún, 1992; Huber y Trecaman, 2000).

3.2.1 Precipitación directa

Para registrar la precipitación directa se utilizaron canaletas metálicas en forma de V, cruzando las líneas de plantación bajo el bosque y aproximadamente a 30 cm de la superficie del suelo, con una inclinación suficiente para que el agua escurra hacia los depósitos de acumulación (ver figura 3).

Las dimensiones de cada una de las canaletas son de 15 cm de ancho por 25 m de largo, lo cual representa una superficie de recolección de 3,75 m². Finalmente el contenido de agua captado por las canaletas es depositado en un tambor el cual posee un registrador electrónico.



Figura 3. Canaletas para la recolección de la precipitación directa (Pd).

3.2.2 *Escurrimiento fustal*

El escurrimiento fustal fue medido mediante la utilización de collarines de goma, los cuales se disponen en forma de espiral sobre los fustes de 10 árboles y adheridos a la corteza para que no exista la posibilidad de filtración del agua, de esta manera se recolecta el agua que escurre por ellos en dirección al suelo (ver figura 4). El agua que es colectada por estos dispositivos es conducida mediante tuberías de PVC hacia un registrador electrónico.

Para transformar los montos del escurrimiento fustal en milímetros se utilizará la siguiente fórmula:

$$Pf = (\text{Vol}/n * n/\text{ha}) / 10.000 \quad (2)$$

Donde:

- Pf : Escurrimiento fustal (mm)
- Vol : Volumen de agua capturada por collarines (litros)
- N : Número de árboles con collarín
- n/ha : Densidad del rodal (árboles/ha)
- 10.000 : Factor de conversión de Ef de m a mm



Figura 4. Collarín de goma

3.2.3 Pérdidas por intercepción

Las pérdidas de agua por intercepción se obtendrán a través de la fórmula:

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

Donde

I_c : Pérdida de agua por Intercepción (mm)

P_t : Precipitación total (mm)

P_d : Precipitación directa (mm)

P_f : Escurrimiento fustal (mm)

3.2.4 Contenido de humedad del suelo

Para la determinación de la variación en el contenido de humedad del suelo se utilizó una sonda de neutrones Troxler 4300, con la que se registró la humedad del suelo cada 50 cm en profundidad (ver figura 5).

Estas mediciones se realizaron en cada parcela experimental, instalando 10 tubos de 45 mm de diámetro y 3 m de largo, los cuales se encontraban sellados en su parte inferior y en la que se hacía descender el dispositivo emisor de neutrones.

Para reducir los errores asociados a la desigual distribución de agua en el suelo bajo las cubiertas boscosas, 5 de ellos se instalaron sobre las hileras de plantación y las restantes entre ellas (Huber y Trecaman, 2000).



Figura 5. Sonda de neutrones (Troxler 4300)

3.2.5 Percolación

Para el registro del agua de percolación se enterraron bandejas metálicas a 3 m bajo tierra, las cuales están cubiertas con un material poroso que permite la entrada de agua pero evita la entrada de elementos sólidos, permitiendo la recepción del agua percolada. Estas bandejas están cubiertas y conectadas a una bomba con la cual se extrae el agua para posteriormente ser medida.

3.2.6 Evapotranspiración neta

La evapotranspiración neta se calculará con la fórmula del balance hídrico, basada en la metodología de continuidad de masas propuesta por Feller (1981) para ecosistemas boscosos, que ha sido utilizada con éxito en diversos estudios relacionados con este tema (Ahumada, 2000; Huber y Trecaman, 2000; Jara, 1999;).

$$Evtrn = Pt - Ic - \Delta W + A + N - Per \quad (4)$$

Donde

Evtrn : Evapotranspiración neta (mm)

Pt : Precipitación total o incidente (mm)

Ic : Pérdida por interceptación (mm)

ΔW : Variación del contenido de agua del suelo (mm)

A : Saldo de la escorrentía (mm)

N : Aporte al agua subterránea (mm)

Per : Cantidad de agua percolada (mm)

En el caso del presente estudio las variables de escorrentía y aporte de agua subterránea se desestiman, la primera, ya que el terreno no presenta una pendiente pronunciada (menor a 3%) y, la segunda, debido a que las raíces no alcanzan las profundidades del agua subterránea.

De esta manera la fórmula queda como:

$$Evtrn = Pt - Ic - \Delta W - Per \quad (5)$$

Donde

Evtrn : Evapotranspiración neta (mm)

Pt : Precipitación total o incidente (mm)

Ic : Pérdida por interceptación (mm)

ΔW : Variación del contenido de agua del suelo (mm)

Per : Cantidad de agua percolada (mm)

3.3 Tratamiento de la información y análisis de los resultados.

Las fórmulas planteadas y el diseño de los gráficos requeridos se ejecutarán en planillas electrónicas de Microsoft Excel ®.

Respecto a la información de humedad del suelo, esta será representada mediante la interpolación entre los datos medidos utilizando el programa Surfer Golden Software 7.0 ®.

Los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones y del balance hídrico se presentarán en datos mensuales expresados en milímetros y en porcentaje respecto de la precipitación total.

Para establecer si existen diferencias significativas entre las muestras de cada uno de los componentes del balance hídrico entre las parcelas (rodales), se aplicará la prueba de comparación de datos pareados con mayor potencia de acuerdo a la naturaleza de los datos.

Para la selección del estadístico se determinará la normalidad y la presencia de la varianza homogénea.

En el caso de presentar distribución normal y varianza homogénea, se ocupará la prueba t (de Student) que evalúa la media de dos muestreos mediante la construcción de intervalos de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias.

En el caso de resultar negativa la evaluación de distribución normal y varianza homogénea, se deberá utilizar una prueba no paramétrica.

De acuerdo a trabajos similares realizados con anterioridad (Ahumada, 2000; Jara, 1999), la prueba no paramétrica seleccionada será la prueba w (Wilcoxon) que compara las medianas de dos muestreos. Esta prueba se construye al combinar los datos de dos muestreos, ordenados de menor a mayor, y se ejecuta al comparar los rangos promedios de los dos muestreos con datos combinados (Lebart et al. 1985; Lehmann y D'Abbrera, 1989).

Los estadísticos antes mencionados serán obtenidos mediante el programa Statgraphics 2.0 ® con una significancia del 95%.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Precipitaciones

Las precipitaciones que se registraron en el periodo de estudio (julio 2002 a junio 2003), para ambos rodales y las precipitaciones promedio para la localidad se presentan a continuación.

Cuadro 2. Precipitaciones mensuales, total anual en predios El Carmen y Cajones y promedios para la localidad.

Periodo Mensual	Precipitaciones (mm)		
	El Carmen (EC1 y EC2)	Cajones (C1 y C2)	Normal Año *
Julio	79,5	69,5	137,6
Agosto	93,0	101,2	92,8
Septiembre	71,5	31,9	55,0
Octubre	37,9	57,1	31,1
Noviembre	3,7	2,1	15,8
Diciembre	44,7	22,8	11,4
Enero	30,1	7,0	7,2
Febrero	41,7	39,6	4,4
Marzo	48,8	30,6	13,8
Abril	45,1	41,6	36,4
Mayo	144,7	156,6	123,0
Junio	69,6	70,8	160,8
TOTAL	710,2	630,8	689,3

*Fuente: www.Atmosfera.cl

La cantidad total de precipitaciones para el periodo de estudio en los rodales llegó a 710,2 mm y 630,8 mm para los predios El Carmen y Cajones respectivamente.

La máxima precipitación mensual, para cada predio, se registró en el mes de mayo con 144,7 mm y 156,6 mm respectivamente y la mínima en el mes de noviembre con 3,7 mm y 2,1 mm respectivamente. Sin embargo, el registro de estos valores máximos y mínimos no se obtuvieron en los meses en que habitualmente se registran estas extremas (junio y enero).

Finalmente de la precipitación total caída en los predios El Carmen y Cajones, durante el año de estudio, un 34,1% y 38,3% correspondieron al período invernal (junio-agosto), un 15,9% y 14,4% al primaveral (septiembre-noviembre), un 16,4% y 11,0% al estival (diciembre-febrero) y un 33,6% y 36,3% al otoñal (marzo-mayo), respectivamente.

4.2 Redistribución de las precipitaciones

Para las parcelas experimentales estudiadas, a continuación se muestra la redistribución de estas y sus porcentajes respecto del total de agua caída en el área.

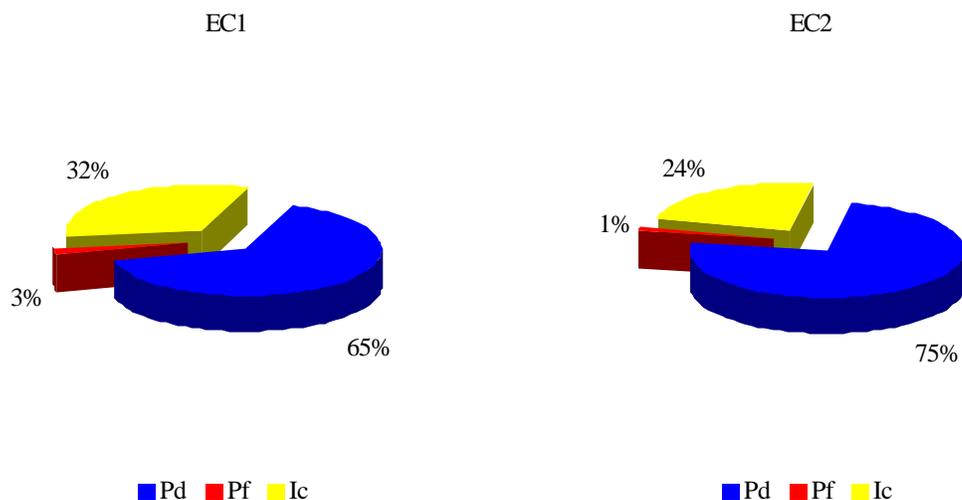


Figura 6. Redistribución de las precipitaciones, para los rodales EC1 y EC2.

En la figura 6 se ve como la variable Pd es superior en EC2, lo cual se explica por la menor cobertura boscosa, lo que afecta además a Pf y Ic, que disminuyen sus montos de agua en un 2,0% y 8,0% respectivamente, en comparación a EC1.

La misma situación se observa en la figura 7, que muestra el porcentaje con respecto a las precipitaciones totales de cada una de las variables involucradas en la redistribución para las parcelas C1 y C2. Es así como Pd es superior en C2, lo cual se explica por la menor cobertura boscosa, provocando además la variación de Pf y Ic, haciendo menores sus montos en un 1,0% y 15,0% respectivamente, en comparación a C1.

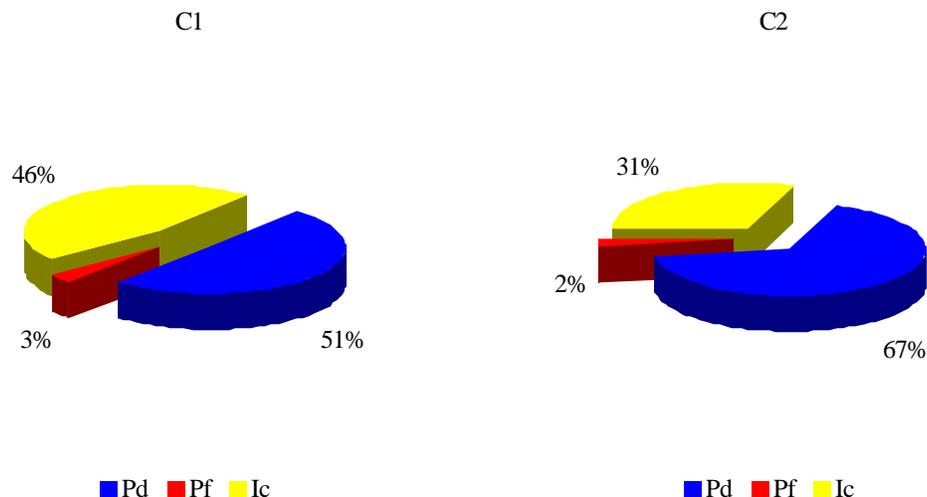


Figura 7. Redistribución de las precipitaciones, para los rodales C1 y C2.

Las variaciones que provoca el raleo de los rodales estudiados, hace pensar que el manejo de ellos es la manera en que se podría disminuir los problemas de déficit hídrico que ocurren en la zona estudiada, sin embargo estas variaciones si bien son importantes, no son significativas en su totalidad, por lo que la evaluación de cada una de ellas es fundamental. Es por ello que a continuación se realiza un análisis más detallado de cada una de las variables involucradas.

4.2.1 Precipitación directa

El cuadro 3 muestra la precipitación directa mensual y el total de ellas (mm), además del porcentaje (%) respecto a la precipitación directa total, para cada parcela evaluada.

Cuadro 3. Variación temporal de la precipitación directa en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual.

Rodal	Períodos de medición												TOTAL
	2002						2003						
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
EC1(mm)	49,0	53,0	53,7	28,4	0,0	28,4	15,2	24,2	33,0	29,2	108,2	41,1	463,3
EC1 %	10,6	11,4	11,6	6,1	0,0	6,1	3,3	5,2	7,1	6,3	23,3	8,9	100
EC2(mm)	65,3	61,6	49,3	30,1	1,4	30,7	25,1	34,6	38,5	35,1	114,1	46,3	532
EC2 %	12,3	11,6	9,3	5,6	0,3	5,8	4,7	6,5	7,2	6,6	21,5	8,7	100
C1 (mm)	35,6	51,5	18,6	33,0	0,4	11,0	0,8	19,0	10,4	19,7	87,7	31,8	319,4
C1 %	11,1	16,1	5,8	10,3	0,1	3,4	0,3	6,0	3,3	6,2	27,5	9,9	100
C2 (mm)	46,1	73,7	23,7	48,9	0,0	14,5	1,6	25,8	18,8	27,4	104,5	39,5	424,4
C2 %	10,9	17,4	5,6	11,5	0,0	3,4	0,4	6,1	4,4	6,5	24,6	9,3	100

Del cuadro anterior, se observa que los menores montos de precipitación directa ocurrieron en el mes de noviembre para los dos rodales estudiados. Esto, ocasionado por las bajos montos de precipitación total de ese mes, lo cual evitó que la vegetación se saturara reteniendo casi la totalidad del agua precipitada.

Así también, en el mes de mayo fue cuando se obtuvieron los mayores montos de precipitación directa, en las cuatro parcelas estudiadas. Este hecho, al revés del mencionado en el párrafo anterior, se explica por los mayores montos de precipitación, causando que la vegetación se saturara de agua y permitiera el paso de ella a la superficie del suelo.

De los 710,2 mm de precipitación total caída en las parcelas EC1 y EC2 un 65,2% y 74,9% respectivamente, corresponden al agua que pasa a ser parte de la precipitación directa, mostrando el efecto que produce la cobertura vegetal en las precipitaciones totales.

Es así, como existe una diferencia cercana al 10% entre las parcelas EC1 y EC2, lo cual se explica por la mayor densidad y cobertura que posee la parcela EC1. El fenómeno anterior es también visible en las parcelas C1 y C2, donde de los 630,8 mm de precipitación total un 50,6% y 67,3% pasaron a ser precipitación directa, haciéndose más notable el efecto de la cobertura de estos rodales sobre la precipitación directa.

El efecto de la densidad sobre la precipitación directa se puede ver más claramente en la figura 8. En ella se ve como las parcelas con menor densidad y cobertura (EC2 y C2) mantienen montos mayores de precipitación directa durante gran parte del año, en comparación con las parcelas de mayor densidad y cobertura (EC1 y C1), a excepciones de los meses de septiembre y noviembre.

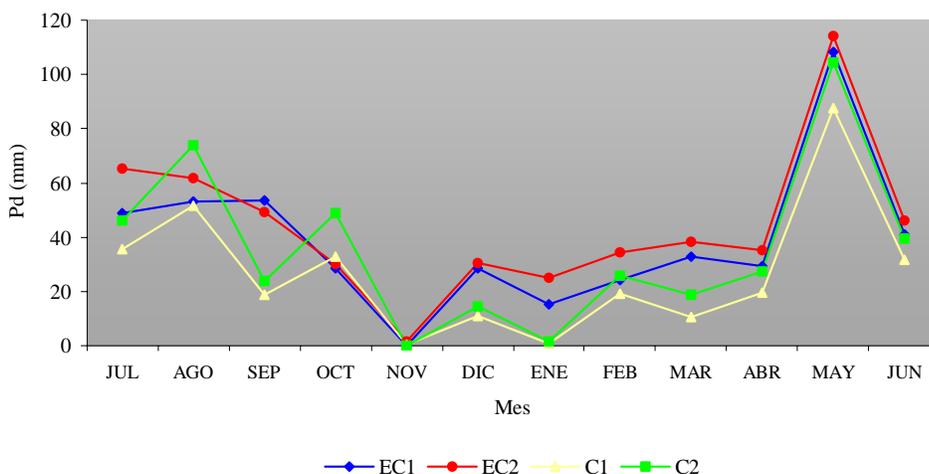


Figura 8. Distribución de precipitación directa durante el período de estudio en los rodales estudiados.

El hecho de que exista esta excepción, no influye significativamente en los montos totales de precipitación directa ya que los montos que aportaron estos meses son pequeños. Sin embargo estos, si podrían afectar el contenido de humedad del suelo, ya que al recibir una mayor cantidad de agua el suelo permanece con mayor humedad, punto que se discutirá mas adelante.

Finalmente, si bien el efecto de el raleo en la precipitación directa es cuantitativamente notorio, no es estadísticamente significativo entre parcelas de un mismo rodal, siendo solo significativa entre las parcelas EC2 y C1 (ver Anexo 2), causa explicada por los diferentes montos de precipitación neta que llegan a dichas parcelas. Sin embargo este echo no implicaría menospreciar el efecto del manejo sobre la precipitación directa.

4.2.2 Ecurrimiento fustal

El cuadro 4 muestra la distribución mensual del escurrimiento fustal y el total de ellas (mm), además del porcentaje (%) respecto al escurrimiento fustal total, para cada parcela evaluada.

Cuadro 4. Variación temporal del escurrimiento fustal en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual.

Rodal	Períodos de medición												TOTAL
	2002						2003						
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
EC1(mm)	2,1	3,3	1,4	1,3	0,1	1,4	0,9	1,4	1,4	0,9	3,0	1,4	18,4
EC1 %	11,3	17,7	7,6	7,0	0,3	7,5	4,8	7,4	7,6	4,8	16,2	7,8	100
EC2(mm)	1,3	1,5	0,8	0,8	0,0	0,8	0,5	0,7	0,8	0,4	1,8	1,0	10,4
EC2 %	12,4	13,9	7,4	7,2	0,4	7,6	5,0	7,0	7,6	3,9	17,7	10,0	100
C1 (mm)	1,6	2,2	0,6	1,8	0,0	0,2	0,1	1,2	0,8	1,7	5,9	2,8	19
C1 %	8,6	11,8	3,2	9,4	0,1	1,3	0,6	6,3	4,1	8,8	31,2	14,5	100
C2 (mm)	1,1	1,9	0,5	0,8	0,1	0,5	0,1	1,0	0,7	1,0	3,7	1,8	13,1
C2 %	8,5	14,3	3,8	6,1	0,5	3,4	1,1	7,3	5,0	7,9	28,4	13,7	100

Del cuadro anterior se destaca que las parcelas que tienen una mayor cobertura y densidad (EC1 y C1) poseen los montos de escurrimiento fustal más altos con 18,4 mm y 19,0 mm respectivamente, en comparación a las parcelas con menor cobertura y densidad (EC2 y C2) que obtuvieron montos de 10,4 mm y 13,1 mm respectivamente, lo cual muestra el impacto de la mayor cobertura sobre el escurrimiento fustal.

Importante es señalar que en los meses con mayor pluviometría existe un mayor escurrimiento fustal. Así por ejemplo los meses de mayo y agosto aportaron con un 17,7% y 16,2% respectivamente, al total del escurrimiento fustal para EC1. Algo similar ocurrieron en EC2 donde para los mismos meses (mayo y agosto) el aporte fue de 16,2% y 17,7% respecto del total de agua escurrida por los fustes. Lo contrario ocurrió en los meses de menor precipitación como noviembre y enero,

donde los aportes por esta vía disminuyen, ya que casi la totalidad de las precipitaciones son retenidas y evaporadas en el follaje, disminuyendo así los montos de escurrimiento fustal en estos periodos.

Para el caso de las parcelas C1 y C2, si bien las tendencias son similares existe una diferencia en cuanto a la distribución de los montos mensuales de escurrimiento fustal, ya que en el mes de mayo el porcentaje para las situaciones estudiadas supera enormemente a los montos calculados en los restantes meses del año, aportando al total de agua escurrida por los fustes de estos rodales con un 31,2% y 28,4% respectivamente. Esto se observa claramente en la figura 9, donde se muestra la distribución del escurrimiento fustal durante el periodo de estudio.

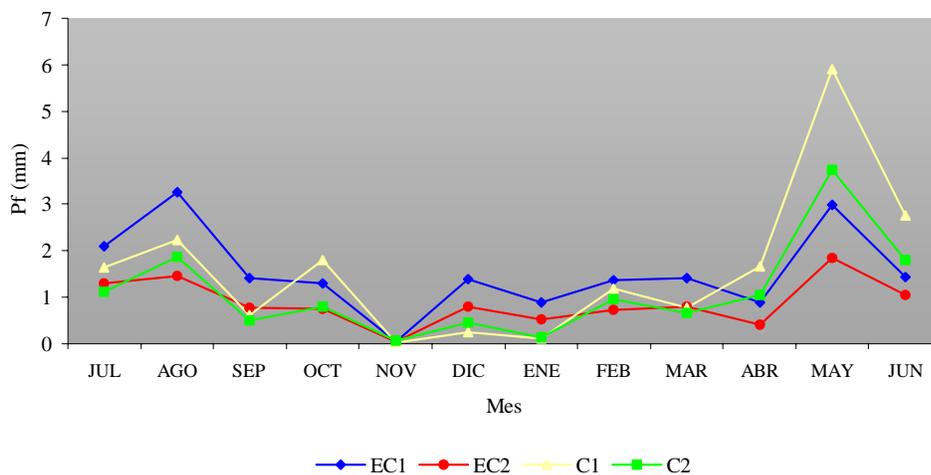


Figura 9. Distribución del escurrimiento fustal durante el período de estudio en los rodales estudiados.

En cuanto a los meses de menor pluviometría como noviembre y enero para los rodales C1 Y C2, la situación se asemeja a la que se observa en los rodales EC1 y EC2, ya que casi la totalidad de las precipitaciones son retenidas y evaporadas en el follaje lo que explica la disminución de los montos de escurrimiento fustal en estos meses.

Importante es destacar que a pesar que en las parcelas C1 y C2 (Cajones) los montos de agua precipitada son menores en 79,4 mm, en comparación a EC1 y EC2 (El Carmen), el escurrimiento fustal es mayor, lo cual se explica por las diferencias que presentan estas parcelas en cuanto a su estructura.

Otro punto importante es destacar la cantidad de agua que alcanza el suelo por esta ruta, la que si bien es pequeña, es importante ya que permite la acumulación de este recurso en las cercanías de los fustes, lugar donde existe la mayor concentración de raíces.

Finalmente hay que señalar que a pesar de que existen diferencias entre los distintos rodales, éstas son solo significativas entre las parcelas EC1 y EC2 (ver anexo 2), lo que indicaría el positivo efecto del raleo sobre la variable escurrimiento fustal en este rodal. Este efecto no es significativo en las parcelas C1 y C2 lo cual podría ser explicado por la menor precipitación que afecta a esta localidad.

4.2.3 Pérdidas por intercepción

El cuadro 5 muestra la distribución mensual de las pérdidas por intercepción (mm) durante el período de estudio y el total de ellas, además del porcentaje (%) respecto al total de pérdidas por intercepción, para cada rodal estudiado.

Cuadro 5. Variación mensual de las pérdidas de agua por intercepción en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual.

Rodal	Períodos de medición												TOTAL
	2002						2003						
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
EC1(mm)	28,4	36,7	16,4	8,2	3,7	15,0	14,0	16,1	14,4	14,9	33,6	27,1	228,4
EC1 %	12,4	16,1	7,2	3,6	1,6	6,5	6,1	7,0	6,3	6,5	14,7	11,9	100
EC2(mm)	12,8	29,9	21,4	7,1	2,3	13,2	4,5	6,4	9,5	9,5	28,8	22,3	167,7
EC2 %	7,7	17,8	12,8	4,2	1,4	7,9	2,7	3,8	5,7	5,7	17,1	13,3	100
C1 (mm)	32,26	47,5	12,67	22,3	1,66	11,6	6,1	19,41	19,4	20,2	63,0	36,3	292,5
C1 %	11,0	16,2	4,3	7,6	0,6	4,0	2,1	6,6	6,6	6,9	21,5	12,4	100
C2 (mm)	22,2	25,7	7,7	7,4	2,0	7,9	5,3	12,9	11,2	13,2	48,4	29,6	193,3
C2 %	11,3	13,6	4,0	4,2	1,0	4,1	2,6	6,9	5,8	7,1	25,8	13,7	100

De la precipitación neta caída para las situaciones EC1 y EC2, fueron interceptadas por las copas de los árboles 228,4 y 167,7 mm de agua, lo que representa un 32,2% y 23,6% respectivamente de la precipitación neta, montos similares a los encontrados por Ahumada (2000), para un bosque de *Pinus radiata* de 16 años (35,8% y 23,9% respectivamente).

En las parcelas experimentales C1 y C2, del total de las precipitaciones (630,8mm) fueron interceptados un 46,4% y 30,5% respectivamente, encontrándose un situación similar que en las parcelas EC1 y EC2. Sin embargo, el efecto del raleo se hace más evidente entre las parcelas C1 y C2 debido a la menor cantidad de agua que recibieron durante el periodo de estudio y a la mayor diferencia en cobertura que presentan cada una de ellas, las que son de un 78,0% para C1 y 31,0% para C2, en comparación al 68,0% y 34,0% que presentan EC1 y EC2, respectivamente.

Otro punto importante además de los señalados anteriormente y que influyen los montos interceptados es la edad del rodal. Aussenac y Boulangeat (1980) demostraron que en rodales de coníferas con edades sobre 15 años, el valor relativo de la intercepción puede llegar entre un 30% y 40% de la precipitación incidente dependiendo de la densidad y regímenes climáticos. Si bien las plantaciones en

estudio no presentan dicha edad, hay que hacer notar la diferencia que estas tienen y que indudablemente provocan que la respuesta a las precipitaciones sea diferente.

Otro punto importante es que el efecto de pérdida de agua por intercepción es más relevante cuando se producen las menores precipitaciones. Así, en los meses más secos como noviembre y enero, el porcentaje de intercepción para las parcelas con mayores densidades (EC1 y C1) es superior al 46%, llegando incluso al 100% en el primer mes. Algo similar ocurre en las parcelas con menores densidades (EC2 y C2), variando entre un 15,0% y 95,0%, para los meses anteriormente señalados.

Distinto es lo que ocurre en los meses más húmedos, donde a causa de la saturación de las copas existe un aumento del goteo y del escurrimiento fustal, lo que ayuda a disminuir las pérdidas de agua provocadas por la intercepción. Así, en los meses de mayo y agosto a pesar de que las pérdidas de agua por intercepción aumentan considerablemente, el porcentaje respecto a las precipitaciones totales no superan el 47,0% de ellas.

Finalmente y a pesar de que existen diferencias cuantitativas de intercepción entre las parcelas estudiadas, estas diferencias no son significativas estadísticamente (ver Anexo 2), sin embargo esto no implica, al igual que en el caso de la precipitación directa, que se menosprecie la influencia de actividades de manejo ya que pueden ser importantes en áreas en que el recurso hídrico es limitado.

4.3 Contenidos de humedad del suelo

4.3.1 Distribución temporal y espacial

En las figuras 10 y 11 se muestra la distribución de las precipitaciones (mm) durante el período de estudio junto con la variación temporal y espacial del contenido de humedad del suelo (% volumen) de los rodales estudiados.

Las variaciones en el contenido de agua del suelo oscilan en EC1 entre los 336,0 mm y 524,0 mm, mientras que en EC2 esta variación es entre los 366,0 mm y 522,0 mm de agua (ver anexo 1), lo que muestra el efecto que causa la mayor o menor densidad de los rodales sobre los montos de agua que llegan al sistema

La diferencia que se observa en este rodal es debido a las mayores pérdidas por intercepción y menores montos de precipitación directa que son causados por la mayor densidad del rodal, lo que explica que el rodal EC1 posea una menor humedad del suelo.

Además estas diferencias en los contenidos de humedad del suelo, se hacen presente por periodos de tiempo determinados. Así en periodos de mayor precipitación (otoño-invierno) hay un aumento en el contenido de humedad del suelo tanto en la superficie como en profundidad, situación contraria a la que se produce en los periodos de menor precipitación (primavera-verano) donde el contenido de agua en el suelo disminuye en todo el perfil del suelo (ver figura 10).

En cuanto a la variación espacial que muestra la humedad del suelo, se puede destacar la influencia que tiene el sistema radicular de esta especie. Esto ya que se puede observar un límite entre los 0,5 m y 1 m de profundidad tanto en EC1 como en EC2, lugar donde se concentran la mayor cantidad de raíces, lo que causa un mayor consumo de agua por evapotranspiración, haciendo disminuir la cantidad de agua en el suelo (Huber y Trecaman, 2000).

Finalmente y de acuerdo al análisis estadístico, este nos indica que las diferencias en la humedad del suelo que se aprecia entre EC1 y EC2 no son estadísticamente significativa (ver Anexo 2).

En cuanto a lo observado en las parcelas experimentales C1 y C2, donde las oscilaciones de humedad del suelo van entre los 366,0 mm y 555,0 mm en el primer caso y entre 359,0 mm y 508,0 mm de agua en el segundo, se puede señalar que a pesar que estos datos mostrarían una tendencia contrapuesta a la observada entre los rodales EC1 y EC2 (a menor densidad mayor humedad del suelo) el análisis estadístico indica la existencia de diferencias significativas entre las parcelas C1 y C2 (ver Anexo 2), existiendo un impacto positivo del manejo sobre la humedad del suelo en estas parcelas, lo que provocaría el aumento de la humedad del suelo al disminuir la densidad de la plantación.

En lo que tiene relación a la variación temporal, las diferencias se hacen presentes al igual que en EC1 y EC2 durante periodos determinados de tiempo. Así en temporadas de mayor precipitación (otoño-invierno) hay un aumento en el contenido de humedad del suelo tanto en la superficie como en profundidad, situación contraria a la que se produce en las temporadas de menor precipitación (primavera-verano) donde el contenido de agua en el suelo disminuye en todo el perfil del suelo (ver figura 10).

En estos rodales (C1 y C2), los mayores contenidos de agua en el suelo se encuentran en los meses de julio y agosto causado por la acumulación y aumento de agua lluvia. Lo contrario ocurre en los meses de abril y mayo donde se identificaron los valores mínimos de humedad, esto debido a la falta de agua lluvia que permita abastecer al suelo adecuadamente, echo que origina la sequedad del suelo en estos meses.

Finalmente se puede decir que los resultados del análisis estadístico confirman la significativa diferencia entre la humedad del suelo entre las parcelas EC1 y C2, EC2 y C2 como entre C1 y C2 (ver Anexo 2), por lo que se puede decir, que esta última mantiene un contenido de humedad mayor a las antes mencionadas, lo que indicaría el positivo efecto del raleo sobre el contenido de humedad del suelo. Sin embargo, las diferencias que se obtienen entre las parcelas de distinta edad y ubicación, solo debería tomarse como referencia y no como un echo destacado dentro del estudio, ya que existen factores ambientales que provocarían estas diferencias.

Figura 10. Precipitación mensual (mm), variación temporal y espacial del contenido de agua en el suelo (% volumen) de las parcelas EC1 y EC2.

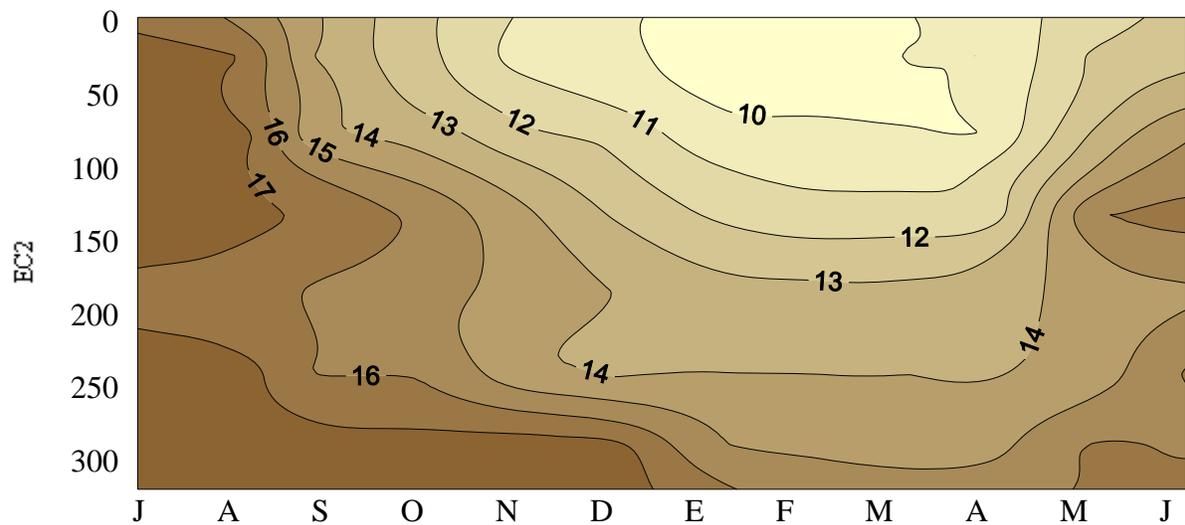
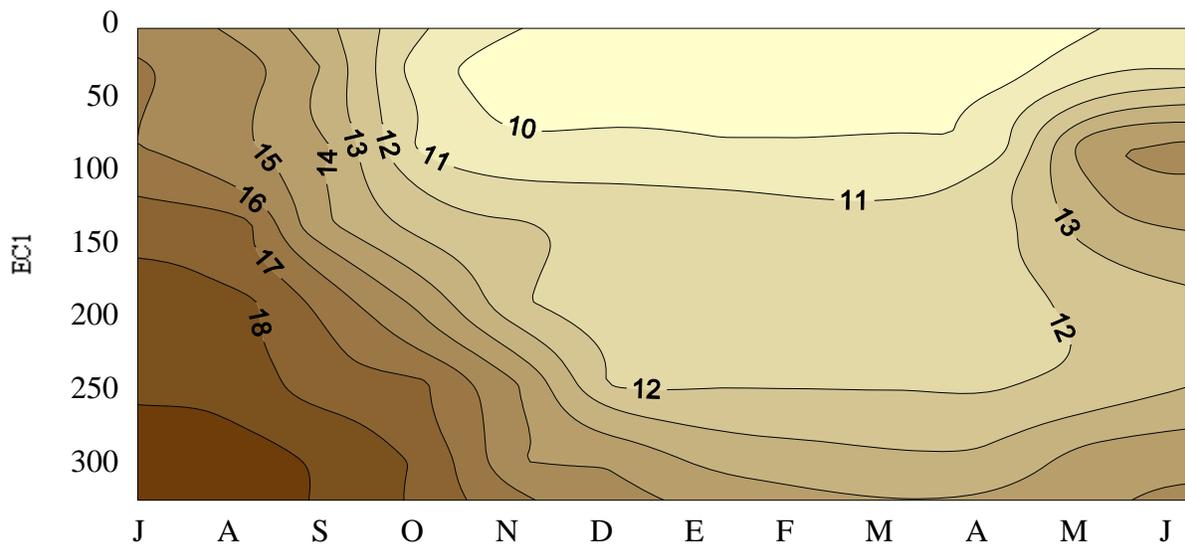
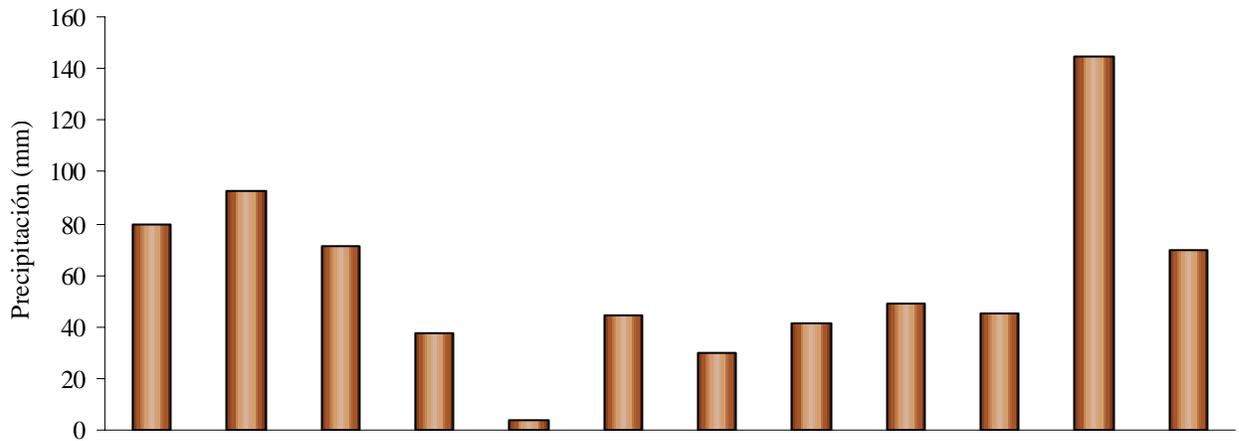
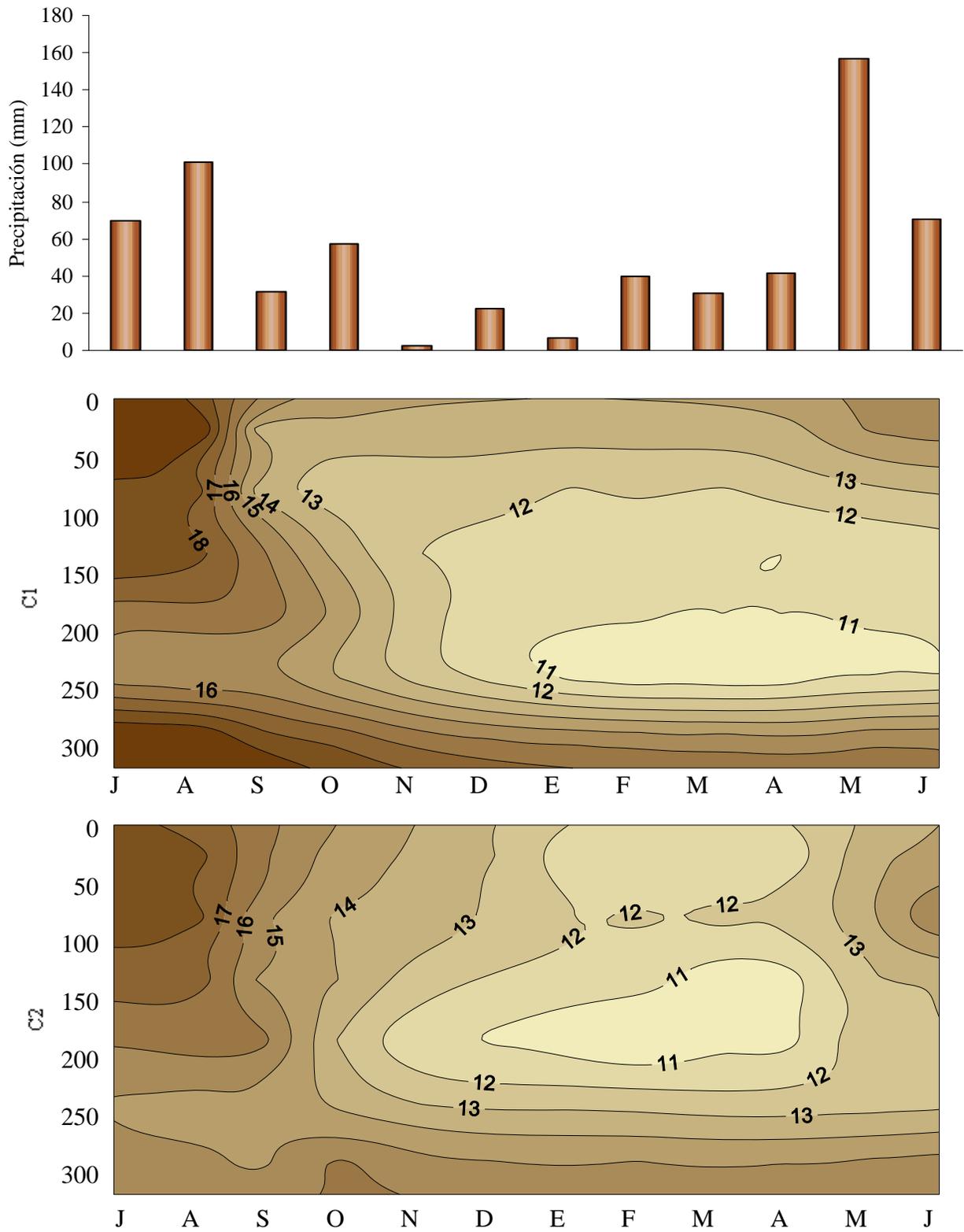


Figura 11. Precipitación mensual (mm), variación temporal y espacial del contenido de agua en el suelo (% volumen) de las parcelas C1 y C2.



4.4 Percolación

Debido a que durante el periodo en que se realizó este estudio no ocurrió este fenómeno, los valores de esta variable son cero, por lo que no se encuentra necesario presentar datos, cuadros ni figuras mostrando dicho valor.

La causa que ocasionó este hecho fue que las precipitaciones no fueron suficientes como para saturar suficientemente el suelo y provocar este fenómeno. De esta manera esta variable es cero tanto en el predio El Carmen (EC1 y EC2) como en el predio Cajones (C1 y C2).

4.5 Consumo de agua por evapotranspiración

El cuadro 6 muestra la distribución mensual del consumo por evapotranspiración (mm) durante el período de estudio y total, además del porcentaje (%) respecto al consumo total por evapotranspiración, para cada rodal estudiado.

Aquí se ve que la evapotranspiración determinada para el período de estudio fue de 602,3 mm para EC1 y 611,4 mm para EC2, lo que significa que el 84,8% y 86,1% de agua que ingresa al sistema producto de la precipitación sale por esta vía.

Cuadro 6. Variación mensual del consumo por evapotranspiración en milímetros y su porcentaje con respecto del total anual.

Rodal	Períodos de medición												TOTAL
	2002						2003						
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
EC1 (mm)	43,1	66,2	97,6	92,7	46,6	49,7	24,1	28,1	34,9	32,6	54,6	32,0	602,3
EC1 %	7,1	11,0	16,2	15,4	7,7	8,3	4,0	4,7	5,8	5,4	9,1	5,3	100
EC2 (mm)	66,1	68,6	96,6	48,8	35,9	47,0	59,2	37,9	36,3	38,5	48,8	27,8	611,4
EC2 %	10,8	11,2	15,8	8,0	5,9	7,7	9,7	6,2	5,9	6,3	8,0	4,5	100
C1 (mm)	44,7	56,7	94,2	73,8	33,9	23,7	13,9	22,2	14,7	20,4	74,6	31,5	504,4
C1 %	8,9	11,2	18,7	14,6	6,7	4,7	2,8	4,4	2,9	4,0	14,8	6,2	100
C2 (mm)	52,2	76,1	63,1	87,0	29,2	29,4	17,5	30,5	21,9	30,4	61,7	24,7	524
C2 %	10,0	14,4	12,4	17,0	5,8	5,7	3,4	5,7	4,1	5,7	10,8	4,9	100

Así también se puede señalar que los meses en que existen los mayores aumentos de agua evapotranspirada son para EC1 principalmente septiembre y octubre con 97,6 mm y 92,7 mm respectivamente. Algo similar ocurre en EC2 donde los meses en que hay una mayor evapotranspiración son agosto y septiembre con 68,6 mm y 96,6 mm de agua respectivamente (ver cuadro 6).

Si bien la cantidad de agua, en los meses de mayor consumo, es menor en EC2 que en EC1, el monto total del año advierte un mayor consumo de agua por parte de EC2. Esto es explicado por la menor cobertura y mayor superficie que se encuentra expuesta, lo que provocó el mayor ingreso de agua por precipitación directa (10%

más que en EC1), lo que provocaría un aumento en la evaporación de agua en la superficie del suelo.

Punto importante a destacar es lo que ocurre en los meses de enero y febrero en EC1, donde a pesar de que las temperaturas medias sobrepasan la de los meses de primavera y que los montos de agua precipitada son mayores, la cantidad de agua evapotranspirada disminuye considerablemente en estos meses del año llegando a los 24,1 mm y 28,1 mm respectivamente.

Respecto a lo anterior Vásquez (1983) señala que el mayor consumo evapotranspirativo debe corresponder a la época de verano, ya que aumenta la temperatura y disminuye la humedad relativa del aire. Sin embargo esta tendencia no se hace presente en este estudio, ya que en este periodo del año hay una mayor cantidad de agua que se evapora antes de ser utilizada por las plantas y que se pierde al momento de ser interceptada por la copa de los árboles, explicando que el consumo evapotranspirativo disminuya, en especial en la parcela EC1.

El hecho señalado anteriormente se hace menos evidente en EC2, debido a las menores pérdidas por intercepción y mayor cantidad de agua que ingresa por precipitación directa en esta parcela. Esta situación evidenciaría el positivo efecto del raleo sobre los montos de agua que ingresan al sistema.

En cuanto al consumo por evapotranspiración de las parcelas C1 y C2, estos fueron de 504,4 mm para la primera y de 524,0 mm para la segunda, lo que significa un 79.9% y 83,1% de agua que ingresa al sistema por precipitación sale por esta vía. De estos montos, los meses que participan con un mayor consumo por evapotranspiración para la parcela C1 son principalmente septiembre y octubre con 94,2 mm y 73,8 mm, respectivamente y los meses de agosto con 76,1 mm y octubre con 87,0 mm para C2. Lo contrario ocurre en los meses de enero y marzo los cuales presentan los montos más bajos, tanto para la parcela C1 como para la parcela C2, donde la primera tuvo un consumo de 13,9 mm y 14,7 mm respectivamente y la segunda un consumo de 17,5 mm y 21,9 mm respectivamente.

Las diferencias que muestran entre si estas parcelas (C1 y C2) se deben al igual que para las parcelas EC1 y EC2 a la menor cobertura boscosa, lo que permitió la mayor entrada de luz haciendo aumentar la temperatura y provocando la evaporación del agua superficial del suelo.

Finalmente es importante señalar que, a pesar de que se observa una diferencia cuantitativa entre las parcelas con y sin manejo, no se obtuvieron diferencias significativas para esta variable entre las parcelas estudiadas (ver Anexo 2). Esto sugiere, que al ser mayores los montos evapotranspirativos de las parcelas con menores densidades (EC2 y C2), en dichas parcelas habría mayor evaporación y menor transpiración.

5. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se puede concluir que las precipitaciones que se registraron durante el periodo de estudio se mantuvieron en montos normales de agua caída y que su redistribución se vio alterada por la disminución en la densidad del bosque. Dicha alteración explica el aumento de la precipitación directa entre un 10 y 12%, que disminuyera el escurrimiento fustal entre un 2 y 1% al igual que las pérdidas de agua por intercepción en un 8 y 15% en las parcelas EC2 y C2 respectivamente, las cuales presentan una menor densidad.

Si bien la variación de la humedad del suelo estuvo influenciada por las precipitaciones, la disminución en densidad de las plantaciones causó que dicha influencia fuese más notoria, ya que permitió un mayor ingreso de agua, lo que explicaría la mayor humedad del suelo. Así se observaron cambios notorios entre las parcelas EC1 y EC2, al igual que en lo que respecta a las parcelas C1 y C2, sin embargo fueron sólo estas últimas las que mostraron diferencias estadísticamente significativas.

La inexistencia de percolación, fue debido a la falta de un abastecimiento adecuado de agua lluvia que causara una saturación suficiente del suelo, junto con las condiciones topográficas del área de estudio.

Existe una relación directa entre densidad y evapotranspiración, lo que explica la disminución de la evapotranspiración en las parcelas con menores densidades. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las parcelas estudiadas, esto a pesar de que se observa una diferencia cuantitativa entre los montos evapotranspirados entre las parcelas con y sin manejo.

Finalmente se puede decir que el manejo de las plantaciones estudiadas provocó un cambio en la participación relativa de los distintos componentes del balance hídrico, generando un cambio positivo en cuanto a los montos de agua que pueden ser utilizados por las plantas.

6. RESUMEN

Se evaluó el efecto del manejo sobre el balance hídrico en dos rodales de *Pinus radiata* D. Don de distinta edad que se encuentran en la zona correspondiente al secano interior de la VII Región.

Para tal efecto se determinaron las precipitaciones y su redistribución en cuatro parcelas experimentales (EC1, EC2, C1 y C2). Se evaluó temporal y espacialmente el contenido de agua del suelo, se cuantificó el agua involucrada en la percolación y se determinó la evapotranspiración neta.

Los resultados mostraron que de los 710,2 mm de precipitación total registrada en las parcelas EC1 y EC2; 463,3 y 532,0 mm corresponden a precipitación directa, lo que representa un 65,0% y 75,0% respectivamente; 18,4 y 10,4 mm a escurrimiento fustal, representando un 3,0% y 1,0% respectivamente; y 228,4 y 167,7 mm a pérdidas por interceptación, que representan un 32,0% y 24,0% para las parcelas EC1 y EC2 respectivamente.

De los 630,8 mm de precipitación total registrada en las parcelas C1 y C2; 319,4 y 424,4 mm corresponden a precipitación directa, lo que representa un 51,0% y 67,0% respectivamente; 19,0 y 13,2 mm a escurrimiento fustal, representando un 3,0% y 2,0% respectivamente; y 292,5 y 193,3 mm a pérdidas por interceptación, que representan un 46,0 y 31,0% para C1 y C2 respectivamente.

Las variaciones en el contenido de agua del suelo oscilan en EC1 entre los 336,0 mm y 524,0 mm, mientras que en EC2 esta variación es entre los 366,0 mm y 522,0 mm de agua. En cambio en C1 y C2 las oscilaciones de humedad del suelo van entre los 366,0 mm y 555,0 mm en el primer caso y entre 359,0 mm y 508,0 mm de agua en el segundo.

La percolación para ambos rodales fue cero, al no presentarse precipitaciones suficientes para saturar adecuadamente el suelo.

La evapotranspiración determinada fue de 602,3 mm para EC1 y 611,4 mm para la EC2, lo que significa que el 84,8 y 86,1% de agua que ingresa al sistema producto de la precipitación, sale por esta vía. En cuanto a las parcelas C1 y C2, estas evapotranspiraron 504,4 y 524,0 mm respectivamente, lo que significa que 79,9 y 83,1% de agua que ingresa al sistema por precipitación sale por esta vía.

Finalmente hay que destacar que el manejo efectuado a las plantaciones estudiadas explica el cambio en la participación relativa de los distintos componentes del balance hídrico. Influencia que si bien no fue estadísticamente significativa en todas las variables estudiadas, si genera un cambio positivo en cuanto al aumento de la cantidad de agua que puede ser utilizada por las plantas al disminuir la densidad de las plantaciones.

Palabras Clave: Balance hídrico, Redistribución, Evapotranspiración.

7. SUMMARY

The effect of the handling was evaluated on the hydric balance in two rodales of radiata Pinus D. Don of different age that is in the zone corresponding to the inner dry land of VII the Region.

For such effect the precipitations and their redistribution in four experimental plots (EC1 were determined, EC2, C1 and C2). Weather was evaluated space and the water content of the ground, the water involved in the percolation was quantified and the net evapotranspiration was determined.

The results showed that of 710.2 mm of registered total precipitation in plots EC1 and EC2; 463,3 and 532.0 mm correspond to throughfall, what represents a 65.0% and 75.0% respectively; 18,4 and 10.4 mm to stemflow, representing a 3.0% and 1.0% respectively; and 228.4 and 167.7 mm to interception loss, that they represent a 32.0% and 24.0% for plots EC1 and EC2 respectively.

Of 630.8 mm of registered total precipitation in the plots C1 and C2; 319,4 and 424.4 mm correspond to direct precipitation, what represents a 51.0% and 67.0% respectively; 19,0 and 13.2 mm to stemflow, representing a 3.0% and 2.0% respectively; and 292.5 and 193.3 mm to interception loss, that they represent 46.0 and 31.0% for C1 and C2 respectively.

The variations in the soil water content ranged in EC1 between 336.0 mm and 524.0 mm, whereas in EC2 this variation is between 366.0 mm and 522.0 mm of water. However in C1 and C2 the humidity oscillations of the ground go between 366.0 mm and 555.0 mm in the first case and between 359.0 mm and 508.0 mm of water in the second.

The percolation for both rodales was zero, when not appearing precipitations sufficient to saturate the ground suitably.

The certain evapotranspiration was of 602.3 mm for EC1 and 611.4 mm for the EC2, what means that 84.8 and 86.1% of water that enters to the system product of the precipitation, it leaves by this route. As far as the plots C1 and C2, these evapotranspirate 504.4 and 524.0 mm respectively, what means that 79,9 and 83.1% of water that enters to the system by precipitation it leaves by this route.

Finally it is necessary to emphasize that the handling conducted to the studied plantations explains the change in the relative participation of the different components from the hydric balance. Influence that although was not statistically significant in all the studied variables, if it generates a positive change as far as the increase of the amount of water that can be used by the plants when diminishing the density of the plantations.

Key words: Hydric balance, Redistribution, Evapotranspiration

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, M. 2000. Efecto de la densidad en una plantación de *Pinus radiata* de 16 años de edad sobre el balance hídrico en suelos de Arenales, VIII Región. Tesis: Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 77 p
- Aparicio, M. 2001. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, México. 303 p
- Aussenac, G.; Boulangeat, C. 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Annales des Sciences Dotesrières 37 (2): 91-107
- Armson, A. 1977. Forest soil; Properties and Processes. Toronto (Canadá). University of Toronto Press. 390 p
- Barnes, B.; Zak, D.; Denten, S.; Spurr, S. 1998. Forest Ecology. 4° ed. New York., Wiley and Sons, Inc.
- Benecke, P. 1976. Soil water relations and water exchange of forest ecosystem. In: Lange, O. Kappen, L. & Schulze E. (eds) Waterland plant life. Ecological Studies. Berlin (Germany), Springer-Verlag. 536 p
- Bréda, N.; Granier, A.; Aussenac, G. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) Tree Physiology (15): 295-306
- 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 Ver Burton, L. 2000. Introduction to Forestry Science. New York (USA). Delmar. 498 p.
- Donoso, C. 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina; Variación, Estructura y Dinámica. Santiago, Editorial Universitaria. 438 p
- Domínguez, A. 1996. Fertirrigación. Madrid (España), Mundi-Prensa. 233 p
- Farahani, H.; Peterson, D.; Wesfall, L.; Ahuja, L. 1998. Soil water dryland cropping systems: The significance of cropping intensification. Soil Science Society of America Journal 62: 984-991
- Feller, M. 1981. Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. oblicua*, and *Pinus radiata* forest in Victoria. Australian Forestry 43 (3): 153-161

- Fuenzalida, H. 1971. Climatología de Chile. Departamento de Geofísica y Geografía. Santiago, Universidad de Chile. 69 p
- Grimm, U.; Fassbender, H. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela III: Ciclo hidrológico y traslocación de elementos químicos con el agua. Turrialba. 31(2): 89-99
- Gutiérrez, J. 2000. El potencial forestal del seco interior. Lignum 57: 24-26
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1983. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata*. Bosque (Chile) 5(1): 13-21
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1984. Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata*. Bosque (Chile) 5(2): 59-64
- Huber, A.; Oyarzún, C; Ellies, A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera, humedad del suelo y evapotranspiración. Bosque 6(2): 74-82
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1990. Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don. Turrialba 40(4): 503-508
- Huber, A.; Oyarzún, C. 1992. Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile. Turrialba 42(2): 192-199
- Huber, A.; Trecaman, R. 2000. El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. Bosque (Chile) 21(1): 37-44
- Huber, A.; López, D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* D. Don. Bosque (Chile) 14(2): 11-18
- INIA, CORFO. 1994. Manual de riego para el sur de Chile. Temuco (Chile). 151 p. (Serie Carillanca, 39)
- IREN. 1964 Suelos, Descripciones proyecto aerofotogrametrico CHILE/OEA/BID. Ministerio de Agricultura. 178p.
- Jara, J. 1999. Influencia de las características de un rodal de *Pinus radiata* D. Don sobre la eficiencia en el uso del agua, en la zona de Collipulli, IX Región. Tesis: Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 84 p
- Jeldres, D. 2000. Manejo y conservación de suelos y aguas en microcuencas hidrográficas. 2. **In:** Pérez, C. Propositiones tecnológicas para un desarrollo sustentable del seco interior. Chillán (Chile). Boletín INIA N° 42. pp. 43-75

- Kimmins, J. 1997. Forest Ecology; A foundation for sustainable management. 2^a ed. Prentice Hill. Upper Saddle River. 596 p.
- Lee, R. 1980. Forest Hydrology. New York, Columbia University Press. 349 p.
- Lebart, L.; Morineau, A.; Fenelon, J. 1985. Tratamiento estadístico de datos, métodos y programas. Barcelona (España). Boixareu . 435 p.
- Lehmann, E.; D'Abbrera, H. 1998. Nonparametrics; statistical methods based on ranks. San Francisco, Mc Graw-Hill. 433 p.
- Likens, G.; Bormann, F.; Pierce, R.; Eaton, J.; Johnson, N. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. New York. Springer-Verlag. 146 p.
- Lira, I. 1999. Efectos del manejo de una plantación de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden sobre la productividad del agua en un suelo rojo arcilloso de la zona de Collipulli. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 81 p.
- López, C.; Blanco, C. 1978. Hidrología forestal. 1^a parte. Madrid (España). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 134 p.
- Martínez, A.; Navarro, J. 1996. Hidrología forestal, El ciclo hidrológico. Valladolid, (España). Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valladolid. 286 p.
- Myers, B. 1992. Effluent loading rates for irrigated plantations-a water balance model. Australian Forestry (55): 39-47
- Moya, I. 2001. Balance hídrico en una plantación adulta de *Pinus radiata* D. Don, con distintos esquemas de manejo, en la zona de Valdivia, Décima Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 94 p.
- Novoa, P. 1998. Estimación de la evapotranspiración actual en bosques: teoría. Bosque (Chile) 19 (1): 111-121
- Putuhena, W.; Cordery, I. 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. Agricultural and Forest Meteorology 100: 59-72
- Pozo, C.; Del Canto, P. 1999. Áreas agroclimáticas y sistema productivos en la VII y VIII regiones. Chillan, Chile. INIA. 116 p.
- Spurr, S.; Barnes, B. 1980. Forest Ecology. 3^o ed, John Wiley & Sons, Inc.

- Ulloa, C. 2000. Influencia del manejo sobre el balance hídrico en plantaciones de 14 años de edad en *Pinus radiata* D. Don en Los Angeles, VII Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 73 p.
- Vásquez, 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. 114 p.
- Viville, D.; Biron, P.; Granier, A.; Dambrine, E.; Probst, A. 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology* 144: 273-282
- Volkheimer, W. sf. Centro Regional de investigaciones científicas y tecnológicas. INTERNET: <http://cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Ciclohidrol.htm> (Abril 23, 2003)
- Zinke, P. 1967. Forest interception studies in the United States of America. *In*: Sooper, W. and Lull, H. (Ed), *Forest hidrology*. pp. 137-161. Pergamon Press Ltd., Belfast, Great Britain. 813 p.

ANEXOS

Anexo 1

Variación humedad del suelo (mm)

Cuadro 1.Variación humedad del suelo (mm), para EC1.

Profundidad (cm)	Periodo											
	2002						2003					
25	80	81	77	71	52	48	49	48	48	49	47	54
75	76	80	76	72	54	51	52	51	51	51	51	75
125	88	88	87	72	63	61	59	59	57	57	57	68
175	91	92	92	84	74	61	57	57	57	57	57	62
225	91	93	94	87	86	75	59	60	60	60	59	62
275	99	99	97	95	89	75	75	69	68	66	66	73
Humedad (mm)	524	532	522	479	416	370	350	342	339	339	336	393

Cuadro 2.Variación humedad del suelo (mm), para EC2.

Profundidad (cm)	Periodo											
	2002						2003					
25	87	87	85	70	62	53	52	46	46	51	50	61
75	87	89	87	71	68	61	59	52	52	51	50	66
125	88	89	86	85	79	71	65	59	57	58	56	80
175	83	83	84	79	77	74	70	67	66	66	67	73
225	89	87	87	80	80	71	69	70	70	70	69	72
275	88	88	88	87	88	88	88	76	75	74	74	81
Humedad (mm)	522	522	517	470	452	418	402	368	366	369	366	433

Cuadro .Variación humedad del suelo (mm), para C1.

Profundidad (cm)	Periodo											
	2002						2003					
25	112	101	102	68	69	68	68	67	68	68	68	76
75	102	93	92	68	63	64	63	60	61	60	62	64
125	94	95	92	82	68	60	59	57	56	56	55	57
175	79	82	84	84	74	62	59	57	56	55	55	57
225	72	77	76	77	70	63	58	54	52	52	52	55
275	98	101	100	92	88	82	80	78	77	77	76	78
Humedad (mm)	555	548	545	470	431	397	385	372	370	366	367	386

Cuadro 4.Variación humedad del suelo (mm), para C2.

Profundidad (cm)	Periodo											
	2002						2003					
25	93	93	92	82	73	69	65	57	56	57	56	69
75	94	92	92	77	69	68	64	60	61	61	61	69
125	90	87	88	75	70	63	60	58	58	52	52	65
175	81	81	82	83	64	56	55	54	51	55	53	64
225	73	75	74	75	69	65	64	64	63	62	62	63
275	78	77	77	74	81	76	76	75	76	75	75	76
Humedad (mm)	508	503	503	464	426	397	383	367	363	361	359	405

Anexo 2
Resultados Estadísticos

Se determinó que el estadístico a utilizar en el análisis de los datos sea la prueba no paramétrica W (Wilcoxon), que compara rangos promedios de los dos muestreos con datos combinados.

Para todos los análisis $n = 12$

$H_0 =$; medianas son iguales (p_1)

$H_1 >$; mediana1 > mediana2 (p_2)

$H_2 <$; mediana1 < mediana2 (p_3)

Cuadro 1. Resultados para Precipitación directa

Parcelas	EC2	C1	C2
	W=88	W=50	W=57
EC1	p1=0,370843	p1=0,214493	p1=0,402502
	p2=0,814579	p2=0,107247	p2=0,201251
	p3=0,185421	p3=0,892753	p3=0,798749
EC2		W=39	W=52
		p1=0,0606016	p1=0,260235
		p2=0,0303008	p2=0,130118
C1		p3=0,969699	p3=0,869882
			W=85
			p1=0,470484
			p2=0,764758
			p3=0,235242

Cuadro 2. Resultados para Escurrimiento fustal

Parcelas	EC2	C1	C2
	W=31,5	W=66	W=45
EC1	p1=0,02081	p1=0,750723	p1=0,125857
	p2=0,010405	p2=0,375362	p2=0,062928
	p3=0,989595	p3=0,624638	p3=0,937071
EC2		W=91	W=77,5
		p1=0,28537	p1=0,77273
		p2=0,857315	p2=0,613635
C1		p3=0,42685	p3=0,386365
			W=61,5
			p1=0,563612
			p2=0,281808
			p3=0,718192

Cuadro 3. Resultados para Pérdidas por intercepción

Parcelas	EC2	C1	C2
EC1	W=47	W=82	W=59
	p1=0,157212	p1=0,583358	p1=0,470484
	p2=0,078606	p2=0,708321	p2=0,235242
	p3=0,921394	p3=0,291679	p3=0,764758
EC2		W=95	W=80
		p1=0,19393	p1=0,665002
		p2=0,903035	p2=0,667499
		p3=0,096965	p3=0,332501
C1			W=54
			p1=0,31232
			p2=0,15616
			p3=0,84384

Cuadro 4. Resultados para Evapotranspiración

Parcelas	EC2	C1	C2
EC1	W=79	W=66	W=72
	p1=0,70745	p1=0,750828	p1=0,976965
	p2=0,646275	p2=0,375414	p2=0,511518
	p3=0,353725	p3=0,624586	p3=0,488482
EC2		W=61	W=59
		p1=0,544367	p1=0,470484
		p2=0,272184	p2=0,235242
		p3=0,27816	p3=0,764758
C1			W=75
			p1=0,885229
			p2=0,557386
			p3=0,442614

Cuadro 5. Resultados para Humedad del suelo

Parcelas	EC2	C1	C2
EC1	W=74,5	W=69	W=105,2
	p1=0,908028	p1=0,885204	p1=0,0566389
	p2=0,545986	p2=0,442602	p2=0,971681
	p3=0,454014	p3=0,557398	p3=0,0283194
EC2		W=68	W=104
		p1=0,839787	p1=0,0688433
		p2=0,419893	Pp20,965578
		p3=0,580107	Pp3=0,0344216
C1			W=113
			p1=0,0193732
			p2=0,990313
			p3=0,00968661