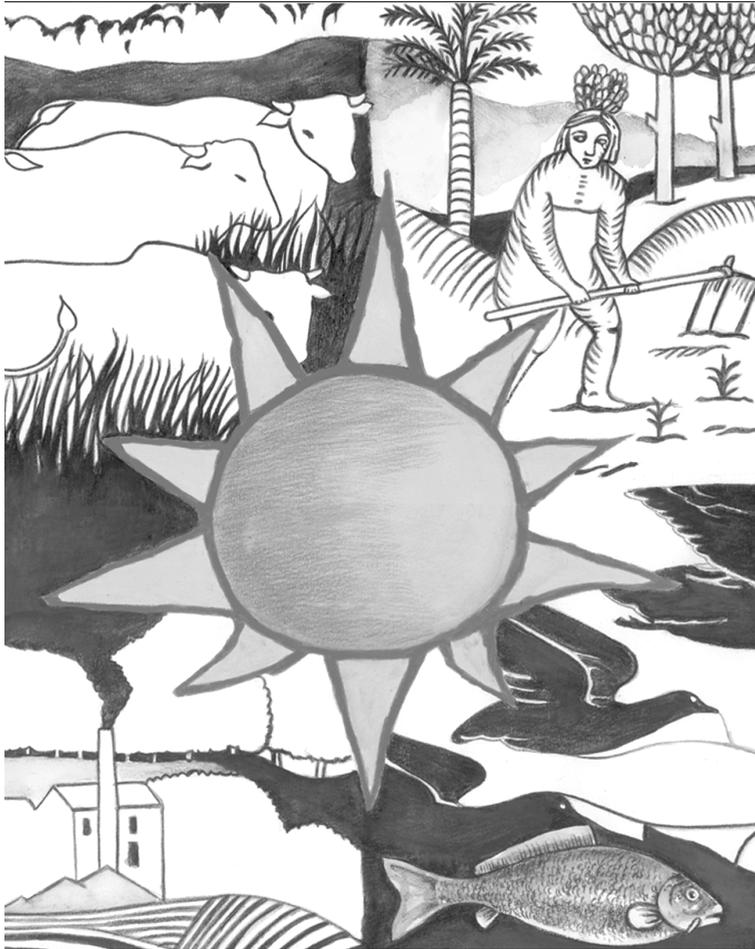


**CAMBIOS EN EL BALANCE HÍDRICO PROVOCADOS POR LA
FORESTACIÓN CON *Pinus radiata* D. Don EN EL SECANO
INTERIOR DEL CENTRO DE CHILE**

Changes in the water balance caused by forestation with *Pinus radiata*
D. Don in dry land in central Chile.

Anton Huber



Instituto de Geociencias. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile.
Valdivia, Chile. Correos electrónicos: ahuber@uach.cl

RESUMEN

Se estudió el efecto que tiene una plantación de *Pinus radiata* sobre el recurso hídrico en la zona del secano interior del centro de Chile. Con este fin se determinaron y compararon los componentes de la redistribución de las precipitaciones y del balance hídrico de un rodal joven de *Pinus radiata* y de un matorral de espino (*Acacia caven*). Las pérdidas de agua por intercepción del dosel en el rodal fueron equivalentes al 33 % de la precipitación anual; en el matorral estas mermas fueron despreciadas debido a la baja densidad y desarrollo de la cubierta vegetal. Durante la estación seca, la disminución del contenido de agua en el suelo por evapotranspiración se observó hasta los 2,5 m de profundidad en el rodal y 1,2 m en el matorral de espino. La cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración neta del matorral (37%) fue inferior que en el rodal (51%). Como consecuencia de aquello, la percolación (55%) superó ampliamente a la del bosque (15%). La plantación de *Pinus radiata* tuvo efecto negativo sobre la disponibilidad del recurso agua, porque redujo la cantidad de precipitaciones que alcanzaron el suelo e incrementó el consumo de agua por evapotranspiración.

Palabras claves: balance hídrico, *Pinus radiata*, matorral, secano interior.

ABSTRACT

The effects of forestation in dry land of central Chile were determined. Precipitation, throughfall, stemflow, interception losses, soil water content, net evapotranspiration and percolation in *Pinus radiata* stand and *Acacia caven* scrub, was calculated. Analysis indicated that interception losses of the canopy in the stand were to 33 % of the annual precipitation; in scrub interception losses were despised due to more low density and growth of this vegetal cover. During the dry months, the water content reduction in the ground by net evapotranspiration was observed until 2,5 m of depth in the stand and only 1,2 m in scrub. Net evapotranspiration of scrub (37%) was inferior that in the *Pinus radiata* stand (51%). As a result of that, percolation of the scrub (55%) was greater to the forest stand (15%). We conclude that *Pinus radiata* stand had a negative effect on the water resource, because it reduced the amount of precipitations that reached the ground and increased the net evapotranspiration.

Key words: Water balance, *Pinus radiata*, dry land Chile.

INTRODUCCIÓN

La forestación con especies exóticas de rápido crecimiento en Chile es un proceso que se inició a comienzos del siglo pasado. La necesidad de incorporar a la economía del país extensas superficies que presentaban elevados niveles de erosión y una política estatal que incentiva la forestación, generó un aumento considerable de las plantaciones forestales en los últimos 30 años en el país.

Existen importantes antecedentes en relación a los efectos que tiene la forestación sobre el recurso hídrico. Se ha evaluado positivamente el impacto de las plantaciones forestales en la reducción de la erosión de los suelos y en la consolidación de cauces (Maclaren 1996, Giller & Malmqvist 1998, Ellies 2000). Sin embargo, existen incertidumbres respecto a su real efecto sobre los componentes del ciclo hidrológico: pérdidas de agua por interceptación del dosel, evapotranspiración, percolación y escorrentía superficial. Esta situación se debe principalmente a la gran cantidad de variables que afectan a cada uno de estos componentes.

Muchos autores coinciden en que el principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre el balance hídrico se fundamenta en la cantidad de precipitaciones que es retenida por el dosel (pérdidas de agua por interceptación) y que, por lo tanto, deja de participar en la economía hídrica de estos ecosistemas (Feller 1981, Calder 1998, Huber & Trecaman 2000 a, Putuhena & Cordery 2000, Huber & Iroumé 2001).

Durante mucho tiempo se pensó que estas mermas de agua no deberían aumentar la evapotranspiración de una superficie. Sin embargo, en zonas con climas templado-húmedos se reconoce que al menos una parte de ella es un adicional a la evapotranspiración (Calder 1998, Huber & Iroumé 2001). Los principales factores que influyen en la cantidad de agua

interceptada son las características de las precipitaciones (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia) (Crockford & Richardson 2000), las características de la vegetación (densidad, cobertura de copas, estructura del dosel, ángulo de inserción de las ramas al fuste, características de los troncos y la cantidad de líquenes y musgos adheridos a ellos) y las condiciones meteorológicas existentes en el momento de las lluvias (Oyarzún et al. 1985, Crockford & Richardson 2000, Steinbuck 2002).

Del total de las precipitaciones que llegan al suelo del bosque (precipitación neta), una fracción lo hace atravesando el dosel o por goteo desde las hojas (precipitación directa). La parte restante utiliza como senda de fluidos el fuste de los árboles para alcanzar la superficie el suelo (escurrimiento fustal). Su valor relativo, con respecto a la cantidad total de precipitaciones no es relevante, pero puede ser importante porque llega a la base de los troncos, donde se concentra la mayor cantidad de raíces de los árboles (Huber & Trecaman 2000 b).

La forestación también modifica la cantidad de agua involucrada en la evaporación desde el suelo y la utilizada por los árboles (evapotranspiración neta). Este valor depende del total de agua disponible en el suelo, las características de las plantaciones y las condiciones meteorológicas (Novoa 1998, Putuhena & Cordery 2000).

La cantidad de percolación de un bosque está influido por la velocidad de infiltración, capacidad de almacenamiento de agua del suelo y de la residual entre las precipitaciones y la evapotranspiración (Farahani et al. 1998, Putuhena & Cordery 2000).

El secano interior del centro de Chile posee un clima templado con influencia mediterránea. Tiene un régimen pluvial que se caracteriza por presentar un período de hasta 8 meses con escasas precipitaciones que se ma-

nifiesta durante la época más cálida del año (Romero 1985). Esta superficie posee una extensión aproximada de 1,8 millones de hectáreas y ocupa la vertiente oriental (sotavento) de la cordillera de la Costa de Chile central. Presenta suelos de origen granítico y metamórfico, la mayor parte de ellos muy erosionados, y su cobertura vegetal más frecuente corresponde a la de un matorral de espino (*Acacia cavem* Mol.) muy degradado (Pozo & Del Canto 1999).

En el presente estudio se determinarán los diferentes componentes del balance hídrico de una plantación joven de *Pinus radiata* D. Don ubicada en la VII Región, Chile. Los resultados se confrontarán con los de un matorral de espino, para determinar el impacto que tiene la forestación sobre el recurso hídrico en la zona del secano interior del centro de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se seleccionó un rodal de *Pinus radiata* de 6 años con una densidad de 700 árboles/ha y un matorral de espino. El rodal está ubicado en el predio Cajones de la Empresa Forestal Celco S. A., localizado a 40 km al suroeste de la ciudad de Talca, en la depresión intermedia de la VII Región de Chile (35° 40' S, 71° 49' W). En el rodal se delimitó una parcela de 100x100 m donde se hicieron las mediciones. Las características morfométricas del rodal se presentan en la Tabla 1. El matorral de espino está conformado por una cubier-

ta arbustiva muy rala de *Acacia cavem* Mol y una herbácea con una cobertura cercana al 50%, compuesta principalmente por *Holcus lanatus* L., *Avena fatua* L y *Taraxacum officinale* Weber Ex Wiqq. Esta vegetación herbácea se seca completamente durante el estío.

La zona posee un clima templado cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada (Csb1). La precipitación promedio anual es de 667 mm, la que se concentra entre los meses de marzo y agosto. La temperatura media anual es de 14,7 °C y la amplitud térmica supera los 13 °C. Julio es el mes más frío con un promedio de 8,2 °C y enero el más cálido con 22,0 °C. La evaporación potencial anual es de 1.244 mm, con un curso anual que oscila entre los 250 mm/mes en verano y 40 mm/mes en invierno (MOP 1987).

El suelo corresponde a la serie Vaquería (alfilsols). Es un suelo moderadamente profundo, formado a partir de rocas graníticas. Poseen texturas franca arcillosa en todo el perfil, destacando la presencia de un horizonte superficial que presenta una mayor cantidad de materia orgánica (Pozo & Del Canto 1999).

La evapotranspiración neta se calculó con la fórmula del balance hídrico, basada en la metodología de continuidad de masas propuesta por Feller (1981):

$$Evtrn = Pp - Ic - \Delta W + A + N - Per$$

donde: Evtrn es la evapotranspiración neta (mm); Pp es la precipitación incidente (mm);

Año de plantación	Densidad (árboles/ha)	Dap (cm)	Altura (m)	Cobertura de dosel (%)
1995	1250	12,6	7,3	82

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DEL RODAL DE *Pinus radiata*.

Morphometric characteristics of the *Pinus radiata* stand.

Ic pérdidas de agua por intercepción; ΔW es la variación del contenido de agua del suelo (mm); A es el saldo de la escorrentía (mm); N es el aporte al agua subterránea (mm) y Per es la percolación (mm).

La precipitación incidente (Pp) se midió con dos pluviógrafos electrónicos ubicados en el matorral de espino. Las pérdidas de agua por intercepción (Ic) se calcularon de acuerdo al modelo y metodología presentada por Oyarzún et al. (1985):

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

donde: Ic es la pérdida de agua por intercepción (mm); Pp es la precipitación incidente (mm); Pd es la precipitación directa (mm) y Pf es el escurrimiento fustal (mm).

La precipitación directa se midió con una canaleta metálica en forma de V, de 15 cm de ancho y 25 m de largo, ubicada a 30 cm sobre el suelo. El escurrimiento fustal se midió con collarines de goma sellados alrededor del tronco de 10 árboles. El agua recogida para ambos casos fue conducida a un estanque provisto con un sistema de registro automático.

La variación temporal y espacial del contenido de agua del suelo (ΔW) se determinó con una sonda de neutrones (Troxler 4300). Estas mediciones se hicieron mensualmente en 5 tubos ubicados en el matorral de espino y 10 en el rodal. Para reducir los errores asociados a la desigual distribución de agua en el suelo bajo la cubierta forestal (Huber & Trecaman 2000 b), 5 de ellos se instalaron en las líneas de plantación y los restantes entre ellas.

La escorrentía superficial (E) y los aportes de agua subterránea (N) fueron despreciados. El primero porque las pendientes del terreno son inferiores al 2 % y el segundo, porque la profundidad el agua freática se encuentra fuera de la zona de influencia de los sistemas radiculares.

La percolación (Per) se consideró equivalente a la cantidad de agua que atravesó un nivel de referencia prefijado a 3 m de profundidad. Esta agua fue recogida con 4 bandejas de 30 x 30 cm, la que fue conducida por tubos de PVC a sus correspondientes recipientes ubicados bajo tierra. Mensualmente, con una bomba portátil, se extrajo el agua para su cuantificación.

Las mediciones se realizaron desde octubre 2001 a octubre de 2002.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación total del período fue de 1.054 mm (Tabla 2), este valor superó en más de un 35% al promedio para la zona. Su distribución temporal se caracterizó por presentar un verano muy seco, con dos meses sin precipitaciones, y un período de otoño – invierno excepcionalmente lluvioso.

Del total de la precipitación incidente, un 65% alcanzó el suelo como precipitación directa y un 1% lo hizo como escurrimiento fustal. El bajo valor del escurrimiento fustal se debió principalmente a la reducida área de copas que todavía tenían los árboles a esta edad, coincidiendo con lo observado por Steinbuck (2002).

Las pérdidas de agua por intercepción del rodal fueron equivalentes al 33% de la precipitación anual (Tabla 2). Este valor es el más alto registrado hasta ahora en Chile para plantaciones de *Pinus radiata* con características similares (Huber & Iroumé 2001). Las favorables condiciones climáticas de la zona, que propician la evaporación y las características de los eventos de lluvia que se distinguen por su baja cantidad e intensidad, explican este resultado. El porcentaje de precipitaciones interceptado por el dosel durante el estío fue mayor que durante los meses más lluviosos. Ello indica que la fracción de agua perdida por in-

		2001		2002										
		N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
Precipitación		4	3	0	0	64	190	206	111	273	141	30	32	1.054
Menor densidad	Pd	2	1	0	0	35	124	156	52	185	87	16	23	681
	Pf	0	0	0	0	2	2	3	2	4	2	0	1	16
	Ic	3	2	0	0	26	63	47	57	84	51	14	8	354

TABLA 2. COMPONENTES DE LA REDISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DEL RODAL DE *Pinus radiata* (mm/mes). Pd = precipitación directa, Pf = escurrimiento fustal y Ic = pérdida de agua por intercepción de dosel.

Components of the precipitation distribution in a stand of *Pinus radiata*.

tercepción está asociada a las características de los eventos de lluvia y a las condiciones ambientales que las acompañan. Por consiguiente, se puede inferir que en un año con una cantidad y distribución normal de las precipitaciones, la fracción interceptada debería ser aún mayor, porque el porcentaje de agua retenida por el dosel aumenta a medida que el monto de las precipitaciones disminuye (Huber & Iroumé 2001). Tendencias similares han sido descritas por Crockford & Richardson (2000) en *Pinus pinaster* Aiton y *Pinus sylvestris* L.

La variación temporal y espacial del contenido de agua del suelo para el rodal y el matorral se presentan en la Figura 1. Se observa un curso anual determinado por la variación temporal de las precipitaciones y la evapotranspiración (Tabla 1 y 2). Durante los primeros meses del estudio, que correspondieron al término de la primavera y al inicio del verano, el contenido de agua del suelo disminuyó rápidamente hasta aproximadamente los 2 m de profundidad en el rodal y, en forma más lenta, hasta 1,2 m en el matorral. Durante el verano, las reservas de agua de los primeros 3 metros del perfil continuaron decreciendo, alcanzando un mínimo a mediados de mar-

zo con un 12,2 y 13,8%/volumen, respectivamente.

Se registró una variación del contenido de agua en el rodal hasta los 2,5 m de profundidad y en el matorral hasta los 1,2 m. Esta diferencia es atribuible al distinto desarrollo en profundidad que tiene el sistema radicular de ambas cubiertas vegetales (Huber & Trecaman 2000 b). Al comenzar la temporada de invierno, que fue inusualmente lluviosa, los suelos se volvieron a saturar rápidamente (Fig. 1). La recarga fue más temprana en el matorral, debido a que éste recibió un mayor aporte de agua por precipitaciones al no registrar pérdidas por intercepción. A su vez, su consumo de agua por evapotranspiración estuvo restringido a los horizontes más superficiales debido al menor desarrollo de su sistema radicular. Al final del período de estudio, que correspondió a la primavera, la humedad del suelo volvió a disminuir.

La evapotranspiración neta de todo el período fue equivalente al 53 y 42% de la precipitación total para el rodal y el matorral, respectivamente (Tabla 3). A pesar que el matorral recibió una mayor cantidad de precipitación neta, el menor desarrollo en profundidad

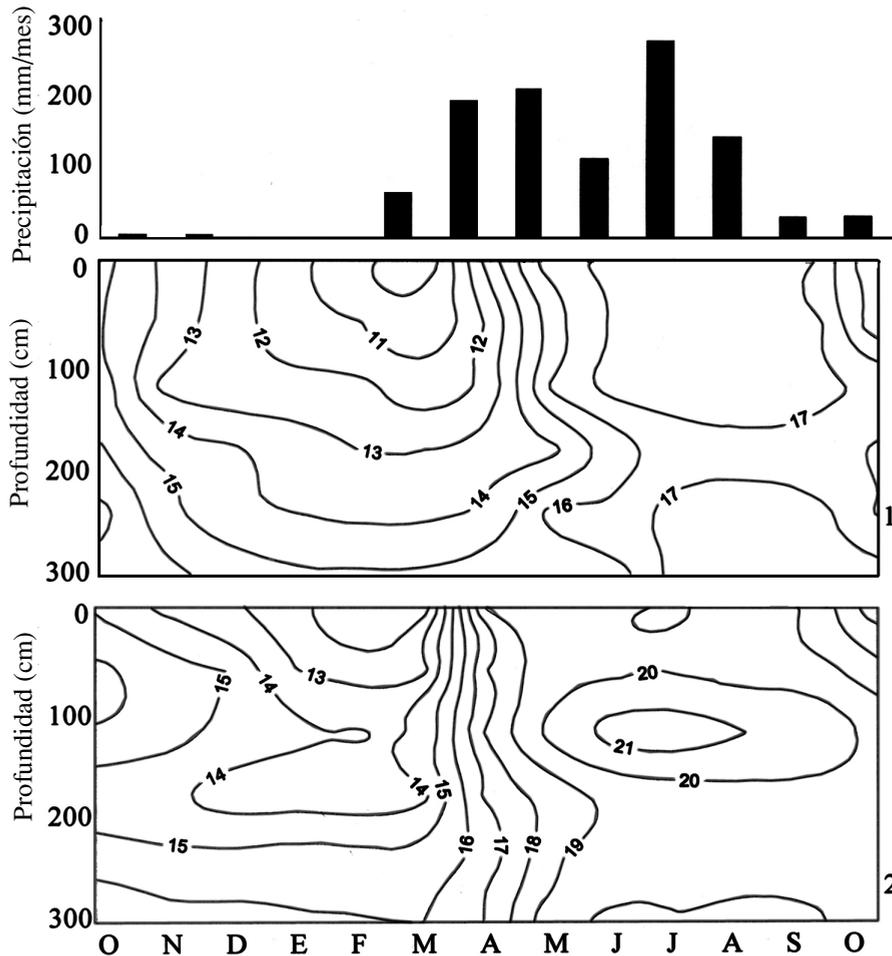


FIGURA 1. VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CONTENIDO DE AGUA (% VOLUMEN) DEL SUELO EN EL EL RODAL DE *Pinus radiata* (1) Y EN EL MATORRAL (2).

Precipitation, temporal and spatial variation of the edaphic water content (% volume) for the *Pinus radiata* stand and the scrubs (2).

de su sistema radicular le permitió acceder sólo al agua que estuvo disponible en los horizontes superficiales para la evapotranspiración (Fig. 1). En el caso del rodal, las pérdidas de agua por interceptación redujeron la cantidad de agua disponible para este proceso. Sin embargo, esta consecuencia fue parcialmente contrarrestada por los árboles que, al disponer de

un sistema radicular más profundo, tuvieron acceso a un mayor volumen de suelo para extraer agua.

El curso anual de la evapotranspiración neta se caracterizó por presentar dos máximos anuales: en otoño y primavera; y dos mínimos: en invierno y verano. Los máximos se explican por la mayor cantidad de agua que estuvo

		N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Total
<i>Pinus radiata</i>	Evtrn	30	26	20	10	39	76	82	14	77	78	17	73	543
	Per	0	0	0	0	0	0	0	39	99	16	0	0	154
Matorral	Evtrn	27	16	15	10	65	49	18	23	33	39	32	65	389
	Per	0	0	0	0	0	24	139	69	240	109	0	0	580

TABLA 3. EVAPOTRANSPIRACIÓN NETA Y PERCOLACIÓN DEL RODAL DE *Pinus radiata* Y DEL MATORRAL. Evtrn = evapotranspiración neta y Per = percolación.

Net evapotranspiration and percolation of *Pinus radiata* stand and scrubs.

disponible en el suelo durante estos períodos del año y las condiciones meteorológicas que todavía fueron favorables para la evapotranspiración. El mínimo de verano se debió a las escasas precipitaciones y a la disminuida cantidad de agua disponible en el suelo. Por su parte, el mínimo de invierno se explica por las desfavorables condiciones meteorológicas reguladoras de la evapotranspiración. Este curso anual bimodal ya había sido observado por Huber & Trecaman (2002) en plantaciones forestales ubicadas en la zona de los arenales de la VIII Región. Estas localidades, a pesar de registrar una mayor precipitación anual, están expuestas a un importante déficit hídrico estival por las escasas precipitaciones y la baja capacidad de retención de agua útil que tienen estos suelos.

La evapotranspiración neta registrada en los meses invernales fue superior a la determinada en plantaciones ubicadas en zonas más lluviosas en el sur de Chile pero con condiciones meteorológicas más desfavorables (Oyarzún & Huber 1999, Huber & Trecaman 2000 a).

Los montos de la evapotranspiración neta del matorral están dentro de los rangos estimados por López & Blanco (1976) para cu-

biertas vegetales similares. Sin embargo, llaman la atención las altas tasas de evapotranspiración durante los meses de invierno (Tabla 2). Esta situación debe atribuirse a la importante disponibilidad de agua en el suelo (Fig. 1) y a las condiciones meteorológicas que regulan evaporación (MOP 1987).

La cantidad de agua percolada en el matorral (55%) fue superior a la del rodal (15%). Ello se explica por la mayor evapotranspiración neta y, especialmente, por las superiores pérdidas de agua por interceptación en el rodal (Tabla 2). Estas disimilitudes no sólo redujeron el monto de la percolación sino también influyeron en la fecha de inicio y término de ella.

A pesar que las precipitaciones del período de estudio fueron similares a las que se registran en localidades ubicadas más hacia el sur, la percolación fue menor (Huber & Trecaman 2000 a). Esta situación es atribuible a las mayores pérdidas de agua por interceptación y, en menor medida, a la superior cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración neta durante los meses de otoño (Tabla 3, Fig. 1). De acuerdo a ello, y coincidiendo con otros estudios (Putuhena & Cordery 2000, Huber & Trecaman 2000 a), la

cantidad de agua que percoló tuvo una relación directa con la cantidad de agua que efectivamente llegó al suelo y una inversa con la que pudo ser almacenada en él.

Debido a que el año de mediciones registró una temporada otoño–invierno extremadamente lluviosa, se puede inferir que la cantidad de agua que percoló fue superior a la habitual. Por consiguiente, en un año que tenga una distribución y cantidad normal de las precipitaciones, la percolación debe ser menor.

CONCLUSIONES

La forestación con *Pinus radiata* de un matorral de espino ubicado en la zona del secano interior de la VII Región afectó negativamente el recurso agua, debido a las mayores pérdidas de agua por intercepción del dosel y a la superior cantidad de agua evapotranspirada. Este fenómeno provoca un acortamiento del período de percolación y una disminución de la cantidad de agua que recarga la napa subterránea.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue realizado en el marco del Proyecto FONDECYT 1010713 “Efectos de la cubierta forestal sobre la dinámica hidrológica en suelos de secano del centro de Chile”, y contó con la importante colaboración de Forestal Celco S.A.

LITERATURA CITADA

CALDER I (1998) Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiology* 18: 625-631.
CROCKFORD R & D RICHARDSON (2000) Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14: 2903-2920.

ELLIES A (2000) Soil erosion and its control in Chile. *Acta Geológica Hispánica* 35(3-4): 279-284.
FARAHANI H, D PETERSON, L WESTFALL & L AHUJA (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. obliqua*, y *Pinus radiata* forest in Victoria. *Australian Forestry* 44 (3): 153-161.
GILLER P & B MALMQVIST (1998) *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press. 282 pp.
HUBER A & A IROUMÉ (2001) Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248: 78-92.
HUBER A & R TRECAMAN (2000 a) Efecto de la forestación de suelos rojo arcillosos sobre el recurso hídrico en la zona de Collipulli, IX Región, Chile. *Terra Australis* 45: 49-60.
HUBER A & R TRECAMAN (2000 b) El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. *Bosque* 21 (1): 37-44.
HUBER A & R TRECAMAN (2002) Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre el desarrollo de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la zona de los arenales VIII Región, Chile. *Bosque* 23 (2): 43-49.
LÓPEZ & M BLANCO (1976) *Hidrología Forestal*. Primera Parte. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Sección de Publicaciones. Madrid, España. 387 pp.
MACLAREN J (1996) Environmental effects of planted forest in New Zealand. *FRI Bulletin*. 180 pp.
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS MOP (1987) *Balance Hídrico de Chile*. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile. 12 pp.
NOVOA P (1998) Estimación de la evapotranspiración actual en bosques: teoría. *Bosque* 19 (1): 111-121.
OYARZÚN C, A HUBER & S VÁSQUEZ (1985) *Balance Hídrico en tres plantaciones de Pinus radiata*. I: Redistribución de las precipitaciones. *Bosque* 6 (1): 3-13.
OYARZÚN C & A HUBER (1999) *Balance hídrico en plantaciones jóvenes de Eucalyptus*

- globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. Terra 17: 35-44.
- POZO C & P DEL CANTO (1999) Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII Regiones. INIA, Chillán, Chile. 116 pp.
- PUTUHENA W & I CORDERY (2000) Some hydrological of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. Agricultural and Forest Meteorology 100: 59-72.
- ROMERO H (1985) Geografía de los Climas. Colección Geografía de los Climas. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 240 pp.
- STEINBUCK E (2002) The influence of tree morphology on stemflow in a redwood region second-growth forest. Thesis Master of Science in Geosciences. Faculty of California State University. 64 pp.