

## Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* sobre el recurso agua en Chile

ANTON HUBER<sup>1</sup> & ANDRÉS IROUMÉ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociencias, Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile, Independencia 567, Valdivia, Chile  
[ahuber@uach.cl](mailto:ahuber@uach.cl)

<sup>2</sup> Instituto de Manejo, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Independencia 567, Valdivia, Chile

**Resumen** Se determinó el efecto que tienen las plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) sobre el recurso hídrico para algunas regiones de Chile con diferentes características edafoclimáticas. Para ello se determinaron los distintos componentes del balance hídrico de plantaciones de *Pinus radiata* entre 12 y 17 años y una densidad entre los 700 y 800 árboles ha<sup>-1</sup>. Los resultados fueron comparados con los de cubiertas herbáceas o arbustivas habituales adyacentes a las plantaciones. Las pérdidas relativas de agua por intercepción del dosel con respecto a las precipitaciones aumentaron de sur a norte (15–40%). La misma distribución tuvo la evapotranspiración neta (32–55%). La percolación fue mínima en el norte y mayor en el sur (5–53%). Las plantaciones de *Pinus radiata* registraron una mayor pérdida de agua por intercepción, un superior consumo por evapotranspiración y una menor percolación en comparación con las demás cubiertas vegetales.

**Palabras claves** efecto plantaciones; *Pinus radiata*; recurso agua; Chile

### The effect of *Pinus radiata* plantations on water resources in Chile

**Abstract** The effect of *Pinus radiata* (D. Don) plantations on water resources at some Chilean sites having different edapho-climatic characteristics was determined. The different components of the water balance were measured at each site where the *Pinus radiata* plantations were 12 to 17 years old and between 700 and 830 trees ha<sup>-1</sup> dense. The results were compared with those obtained from areas covered with perennial grasses and shrubs at the same sites. Annual interception losses (as a percentage of incoming precipitation) increased from south to north (from 15 to 40%). The same occurred with annual net evapotranspiration, which was 32% of incoming precipitation for the southernmost site and 55% for the one located in the lower latitude. Annual percolation registered its minimum value in the northern site (5% of incoming precipitation) and its maxima in the southern one (53%). Compared with the shrub or grass covers, sites under *Pinus radiata* plantations registered higher water consumption by evapotranspiration and reduced percolation.

**Key words** interception; evaporation; forest hydrology; percolation; water balance; water resources, Chile

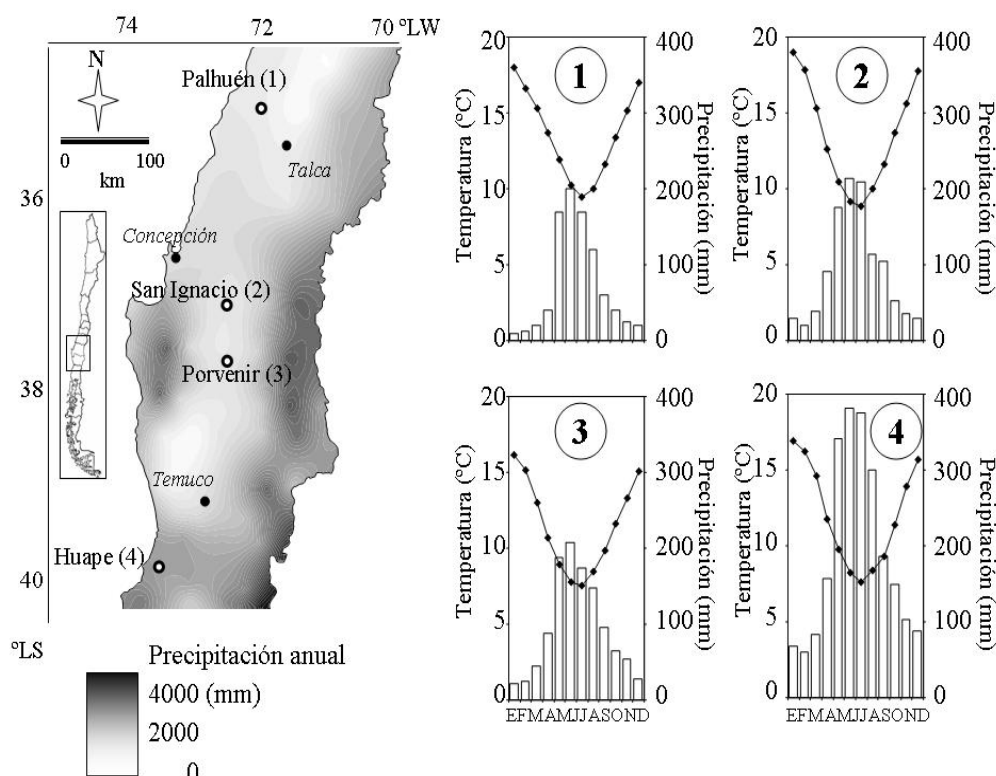
### INTRODUCCIÓN

El reemplazo de cubiertas herbáceas o arbustivas por plantaciones forestales produce modificaciones en el balance hídrico, porque se aumentan las pérdidas de agua por intercepción del dosel (Calder, 1998; Xiao *et al.*, 2000; Huber & Iroumé, 2001; Iroumé & Huber, 2002), incrementa la evapotranspiración y reduce la percolación (Duncan, 1995; Calder *et al.*, 1997; Oyarzún & Huber, 1999; Putuhena & Cordery, 2000; Bronstert *et al.*, 2002; Huber & Trecaman, 2003).

La cantidad de agua consumida por las plantaciones está influida principalmente por las características de la cubierta forestal, condiciones climáticas y la capacidad de retención de agua útil de los suelos (Iroumé & Huber, 2000; Putuhena & Cordery, 2000; Sun *et al.*, 2002; Huber & Trecaman, 2002; Huber & Trecaman, 2003)

Las plantaciones forestales en Chile se ubican preferentemente en ambas vertientes de la Cordillera de la Costa y en la Depresión Intermedia del país, entre los 30 y 41° latitud sur. Esta zona posee condiciones edafoclimáticas muy diversas, que tienen incidencia en el desarrollo de las plantaciones forestales y en el balance hídrico.

El objetivo del presente estudio es determinar el efecto que tienen las plantaciones de *Pinus radiata* sobre el recurso hídrico en Chile. Para ello se establecerán las pérdidas de agua por intercepción del dosel y la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y percolación de plantaciones de *Pinus radiata* de aproximadamente 15 años y una densidad cercana de 750 árboles/ha. Los resultados serán comparados con los de cubiertas herbáceas o arbustivas habituales colindantes a las mismas plantaciones.



**Fig. 1** Ubicación y características termoplumiométricas de cada una de las localidades.

**Tabla 1** Temperatura ( $T^{\circ}$ ) y precipitación promedio anual (Pp), tipo de suelo con su correspondiente capacidad de retención de agua útil (CRA) y características de las cubiertas vegetales colindantes a cada una de las plantaciones de *Pinus radiata* según localidad.

Localidad	Pp anual (mm)	$T^{\circ}$ media ( $^{\circ}\text{C}$ )	Suelo Tipo	CRA (%)	Vegetación
Palhuén	1000	15	Alfísoles	11	<i>Avena barbata</i> , <i>Nesella chilensis</i> y <i>Agrostis capillaris</i>
San Ignacio	1100	14	Etísoles	5	<i>Avena barbata</i> y <i>Nesella chilensis</i>
Porvenir	1200	11	Alfísoles	28	<i>Agrostis capillaris</i> y <i>Holcus lanatus</i>
Huape	2100	12	Ultísoles	26	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Holcus lanatus</i> , <i>Taraxacum officinalis</i> , <i>Aristotelia chilensis</i> y <i>Rubus constrictus</i>

## MATERIAL Y MÉTODOS

La ubicación de las plantaciones de *Pinus radiata* consideradas en el estudio y las características edafoclimáticas de las mismas se presentan en la Fig. 1 y Tabla 1.

Las precipitaciones disminuyen de sur a norte, y la distribución oeste-este está influida por la topografía. Las mayores precipitaciones se registran al lado barlovento (oeste) de la Cordillera de la Costa y de la Cordillera de los Andes, mientras que las menores en la Depresión Intermedia, al lado sotavento de la Cordillera de la Costa.

Para hacer posible la comparación de los resultados entre las distintas localidades, se utilizaron sólo plantaciones de *Pinus radiata* con edades cercanas a los 15 años y una densidad próxima a los 750 árboles/ha.

La evapotranspiración neta ( $EvTrn$  = agua extraída exclusivamente del suelo (1)) y la total ( $EvTrt$  = evapotranspiración neta más las pérdidas de agua por interceptación (2)) se determinaron con la metodología del balance hídrico, basada en la ecuación de continuidad de Feller (1981).

$$EvTrn = Pp - (Ic - \Delta W + A + Per) \quad (1)$$

$$EvTrt = Pp - (A - \Delta W + Per) \quad (2)$$

donde  $EvTrn$  es la evapotranspiración neta (mm),  $EvTrt$  la evapotranspiración total (mm),  $Pp$  la precipitación incidente (mm),  $Ic$  las pérdidas de agua por interceptación del dosel (mm),  $\Delta W$  variación del contenido de agua del suelo (mm),  $A$  la escorrentía superficial (mm) y  $Per$  la percolación (mm). Los distintos componentes del balance hídrico fueron determinados según la metodología propuesta por Huber (Huber & Trecaman, 2003).

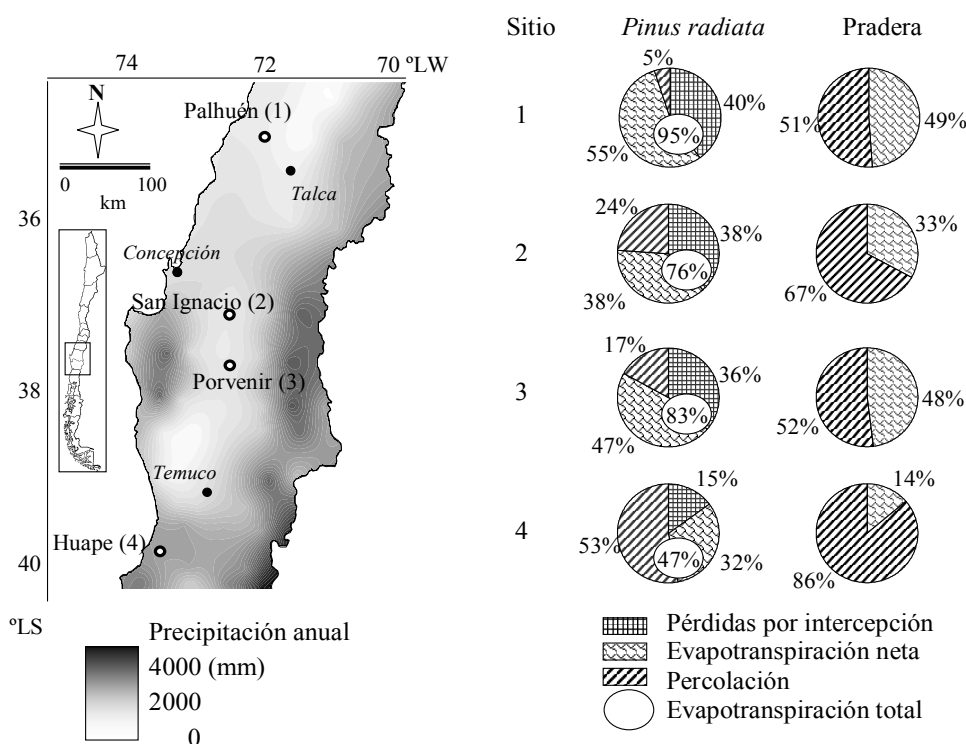
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance hídrico de las plantaciones de *Pinus radiata* y de las demás cubiertas vegetales para las distintas localidades se presenta en la Fig. 2.

El porcentaje de agua interceptado por el dosel con respecto a las precipitaciones aumentó de sur a norte y varió entre un 15 y 40%. La distribución latitudinal de estos valores son atribuibles al régimen anual y a las características de las precipitaciones como también a las condiciones climatológicas que regulan la evaporación (Crockford & Richardson, 2000). Por consiguiente, la forestación reduce la fracción de las precipitaciones que alcanza el suelo. Especial importancia tiene este efecto en las zonas menos lluviosas. A su vez, Calder (1998) y Crockford & Richardson (2000) señalan que las características del dosel aumentan su influencia sobre el monto de agua que es interceptada cuando las precipitaciones disminuyen.

Las pérdidas de agua por interceptación de las cubiertas herbáceas y arbustivas en es estudio fueron despreciadas debido a su baja densidad y reducido desarrollo (Martínez & Navarro, 1996; Schlosser *et al.*, 1997).

La evapotranspiración neta de las distintas plantaciones osciló entre los 694 y 401 mm año<sup>-1</sup> y no tuvo un ordenamiento latitudinal. Distinta fue la distribución espacial cuando se utilizaron los valores relativos con respecto a la precipitación anual. En este caso aumentaron de sur a norte (32% Huape y 55% Palhuén). La excepción se registró en los arenales (38%), debido a la baja capacidad de retención de agua útil que tienen estos suelos. Las lluvias saturan rápidamente estas superficies dando paso a la percolación. En consecuencia, la evapotranspiración neta estuvo influida por la distribución anual de las precipitaciones y la capacidad de retención de agua de los suelos.



**Fig. 2** Componentes del balance hídrico de cada una de las plantaciones de *Pinus radiata* y la de sus correspondientes cubiertas herbáceas/arbustivas colindantes.

Cuando a los valores de la evapotranspiración neta se le adicionaron las correspondientes pérdidas de agua por interceptación, la evapotranspiración total anual aumentó al 47% en Huape y 95% en Palhuén.

En Palhuén, en un año con un régimen pluviométrico similar al promedio, la sumatoria de las pérdidas de agua por interceptación con la evapotranspiración neta es similar a la precipitación anual; en consecuencia, durante estos períodos no se produce percolación.

Debido al incremento relativo que tuvo la evapotranspiración en el balance hídrico de sur a norte, la percolación registró una distribución latitudinal inversa (Fig. 2).

En la zona de los arenales, debido a la baja capacidad de retención de agua de sus suelos, la percolación se registró por más tiempo y fue más intensa que en zonas cercanas con precipitaciones similares pero con suelos arcillosos. En consecuencia, las plantaciones en los arenales tuvieron un menor impacto sobre el recurso agua que las establecidas en suelos arcillosos.

La evapotranspiración neta determinada para las demás cubiertas vegetales también se presentadas en la Fig. 2. Su distribución latitudinal fue semejante a la de las plantaciones forestales y sus montos bastante similares a éstas. La excepción se registró en Huape donde el régimen anual de precipitaciones permite que casi siempre haya suficiente cantidad de agua en el suelo para satisfacer los requerimientos de los árboles. Bajo estas condiciones, la plantación forestal pudo mostrar su mayor potencial de transpiración, la que a su vez fue aumentada por la presencia de una cubierta arbustiva-herbácea permanente.

En las localidades ubicadas más hacia el norte, donde las precipitaciones son menores, la evapotranspiración neta de las plantaciones y de las demás cubiertas vegetales fueron bastante similares. Ello se explica parcialmente por la menor cantidad de precipitaciones que alcanzó el suelo de las plantaciones debido a las mayores pérdidas por interceptación. Por consiguiente, las cubiertas herbáceas dispusieron de una superior cantidad de agua para la evapotranspiración. Esta disimilitud es más trascendente para los períodos con menores precipitaciones. Además, como estos suelos poseen de una rala cubierta vegetal y de poco desarrollo, los dejan más expuestos a las condiciones medioambientales que favorecen la evaporación. Estos resultados concuerdan con los de Huber & Trecaman (2001) y Sternberg *et al.* (2001), quienes indican que al final del período estival los primeros 50 cm de un suelo con una cubierta herbácea rala registró un menor contenido de agua que otro forestado con *Pinus radiata*.

La percolación disminuyó de sur a norte (Fig. 2) porque ella está determinada principalmente por el diferencial entre las precipitaciones y evapotranspiración.

La plantación en Palhuén registró la menor percolación, fue equivalente al 5% de la precipitación anual (Fig. 2). Para la misma localidad, en el matorral de espino, este valor alcanzó el 53%, valor ampliamente superior al de la plantación. Por consiguiente, en esta zona el cambio de uso del suelo afecta considerablemente la recarga del agua subterránea.

## CONCLUSIONES

Existen diferencias importantes entre los valores de los componentes del balance hídrico de las cubiertas herbáceas o arbustivas ralas y las plantaciones de *Pinus radiata*. El mayor efecto de las plantaciones sobre el recurso agua en las zonas menos lluviosas se debe principalmente a la superior importancia que adquiere la interceptación del dosel.

El superior impacto que tienen las plantaciones de *Pinus radiata* sobre el recurso agua en Chile se produce principalmente en las zonas con menores precipitaciones.

**Agradecimientos** Este trabajo forma parte del Proyecto FONDECYT 1010713 y contó con el apoyo de la Forestal Mininco S.A., Forestal Celco S.A., Forestal Copihue S.A. y el Centro Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

## REFERENCIAS

- Bronstert, A., Niehoff, D. & Bürger, G. (2002) Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modeling capabilities. *Hydrol. Processes* **16**, 509–529.
- Calder, I. R. (1998) Water use by forest, limits and control. *Tree Physiology* **18**, 625–631.

- Calder, I. R., Rosier, P., Prasanna, K. & Parameswarappa, S. (1997) Eucalyptus water use greater than rainfall input—a possible explanation from southern India. *Hydrol. Earth System Sci.* **1**(2), 249–256.
- Carrasco, P., Millán, J. & Peña, L. (1993) Suelos de la cuenca del río Biobío. Características y problemas de uso. Gestión de recursos hídricos de la cuenca del río Biobío y del área marina costera adyacente. *Serie análisis territorial*. Editorial Universidad de Concepción, Chile.
- Crockford, R. H. & Richardson, D. P. (2000) Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrol. Processes* **14**, 2903–2920.
- Duncan, M. J. (1995) Hydrological impacts of converting pasture and gorse to pine plantation, and forest harvesting, Nelson, *New Zealand. J. Hydrol. NZ* **34**(1), 15–41.
- Feller, M. (1981) Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. obliqua*, and *Pinus radiata* forest in Victoria. *Australian Forestry* **44**(3), 153–161.
- Huber, A. (1970) *Diez años de observaciones climatológicas en la Estación Teja-Valdivia (Chile) 1960–1969*. Instituto de Geología y Geografía, Universidad Austral de Chile.
- Huber, A. & Iroumé, A. (2001) Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *J. Hydrol.* **248**, 78–92.
- 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* **21**(1), 37–44.
- Huber, A. & Trecaman, R. (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.
- Huber, A. & Trecaman, R. (2003) Modificaciones del recurso hídrico por plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en dos tipos de suelo de la cuenca del río Biobío. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* **48**, 15–24.
- Iroumé, A. & Huber, A. (2002) Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. *Hydrol. Processes* **16**, 2347–2361.
- Martínez, A. & Navarro J. (1996) Hidrología forestal, El Ciclo Hidrológico. *Secretariado de publicaciones. Universidad de Valladolid. España*.
- Oyarzún, C. & Huber, A. (1999) Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra* **17**, 35–44.
- Peña, L., Carrasco, O., Figueroa, M., Oyarzún, C. & Lo Cascio, B. (1993) Pérdidas por erosión hídrica en suelos agrícolas y forestales de la cuenca del río Biobío. pp 47–59. In: Elementos cognoscitivos sobre el recurso suelo y consideraciones generales sobre ordenamiento agroforestal. Gestión de recursos hídricos de la cuenca del río Biobío y del área marina costera adyacente. *Serie propuestas de ordenamiento* (4). Editorial Universidad de Concepción, Chile.
- Putuhena, W.M. & Cordery, I. (2000) Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agric. Forest Met.* **100**, 59–72.
- Sternberg, M., Danin, A. & Noy-Meir, I. (2001) Effects of clearing and herbicide treatments on coniferous seedling establishment and growth in newly planted Mediterranean forests. *Forest Ecol. Manage.* **148**, 179–184.
- Sun, G., McNulty, S. G., Amayta, D. M., Skaggas, R. W., Swift Jr., L. W., Shepard, J. P. & Riekerk, H. (2002) A comparison of the watershed hydrological of coastal forested wetlands and the mountainous uplands in the Southern US. *J. Hydrol.* **263**, 92–104.
- Xiao, Q., McPherson, E. G., Ustin, S. L., Grismer, M. E. & Simpson, J. R. (2000) Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrol. Process* **14**, 763–784.