

# Efecto de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua del suelo\*

Effect of a *Pinus radiata* plantation on the spatial distribution of soil water content

ANTON HUBER, RAMIRO TRECAMAN

Instituto de Geociencias, Facultad de Ciencia, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

## SUMMARY

The effect of a 15-year-old *Pinus radiata* plantation, with a density of 460 trees/ha, on spatial and temporal soil water content was determined in the area of Collipulli, IX Region of Chile. Precipitation, interception loss, temporal and spatial variation of the soil-water-content and the spatial distribution of active roots up to a depth of three meters were measured. The results were compared with those from a natural *Agrostis-Holcus* meadow in the same area. The total amount of active roots was 37.2 t/ha of dry matter for *Pinus radiata* and 9.5 t/ha for the meadow. Most roots were found in the first 50 cm of soil for both sites. Horizontal distribution of the roots was more homogeneous in the meadow, whereas in the forest a higher concentration of roots was found near the trees. The maximum depth reached by roots in the forest was 2.5 m, whereas in the meadow they reached only 1.1 m. In the forest plantation, the horizontal distribution of the soil water content was more uneven, as a result of the canopy interception and the heterogeneous distribution of the roots. The evapotranspiration effect on the soil water content exceeded 3 m of depth under the forest, but in contrast, was up to 150 cm in the meadow.

*Key words:* soil water, roots, *Pinus radiata* stands.

## RESUMEN

Se determinó el efecto que tiene una plantación de *Pinus radiata* de 15 años y 460 árboles/ha sobre la distribución espacial y temporal del contenido de agua en suelos rojos arcillosos (ultisoles) de Collipulli, IX Región. Para este objetivo se midieron los aportes de agua por precipitación, las pérdidas por interceptación, la variación temporal y espacial del contenido de agua del suelo y la distribución de las raíces activas hasta los 3 m de profundidad. Los resultados se compararon con los de una pradera natural de la zona. La cantidad de raíces activas fue de 37,2 t/ha para el rodal y de 9,5 t/ha para la pradera. En los primeros 50 cm de profundidad se encontró la mayor abundancia de raíces para ambas cubiertas vegetales (31 > 8 t/ha). La distribución horizontal de la cantidad de raíces fue homogénea en la pradera, mientras que en el rodal la mayor concentración de ellas se presentó cerca de los árboles. La profundidad máxima que alcanzaron las raíces en el bosque fue de 2,5 m y en la pradera llegaron hasta 1,1 m. En el rodal, la distribución horizontal del contenido de agua del suelo fue más heterogénea. Ello se debió a la influencia que tuvo el dosel del bosque en la repartición de la cantidad de precipitación que alcanza el suelo y a la irregular distribución espacial de las raíces, consecuencia del esquema de espaciamiento de la plantación forestal. El efecto de la evapotranspiración en el contenido de agua del suelo bajo la plantación forestal sobrepasó los 3 m de profundidad, en la pradera en cambio sólo alcanzó los 150 cm.

*Palabras clave:* agua del suelo, raíces, plantaciones, *Pinus radiata*.

---

\* Estudio financiado por el proyecto FONDECYT 1951166 y 1980991.

## INTRODUCCION

La proporción de las precipitaciones que llegan al suelo y la cantidad de agua del suelo disponible para las plantas dependen del régimen de las precipitaciones, de las características del suelo y de la configuración de la cubierta vegetal.

Es así que cuando se foresta una cubierta herbácea, se modifican el balance hídrico y la distribución espacial y temporal del contenido de agua del suelo (Huber *et al.* 1985, Loustau *et al.* 1992, Huber y López 1993, Neary y Gityn, 1994, Zwolinski *et al.* 1995, Huber *et al.* 1998). Estas consecuencias se hacen más relevantes cuando las plantaciones forestales tienen una alta densidad y están constituidas por especies arbóreas de rápido crecimiento (Huber *et al.* 1998).

Del total de las precipitaciones que llegan a una cubierta vegetal, una fracción no alcanza el suelo, ya que es interceptada por la vegetación y devuelta a la atmósfera por evaporación (pérdidas de agua por intercepción) (Crockford y Richardson 1990, Loustau *et al.* 1992, Viville *et al.* 1993). Una particularidad que diferencia una cubierta forestal de otra herbácea es la mayor cantidad de agua que pierde por intercepción. Además, según el tamaño y la arquitectura de la copa de los árboles, un monto variable de las precipitaciones alcanza el suelo, usando como senda de fluidos el tronco (escurrimiento fustal). Como este aporte de agua se concentra alrededor de la base del tronco de los árboles, el suelo de esta zona puede registrar un incremento de su contenido de humedad después de una lluvia importante. En la pradera no ocurre esta situación, al menos no tan concentrada.

La extensión y profundidad que alcanza el sistema radicular de los árboles le permite acceder a un mayor volumen de suelo y, en consecuencia, a una mayor cantidad de agua que la mayoría de las hierbas. Esta situación influye en la cantidad de agua utilizada en la transpiración y el volumen del suelo involucrado. En efecto, los mayores consumos de agua ocurren bajo cubiertas vegetales que tienen un sistema radicular más profundo y mejor desarrollado (Kramer 1974, Lee 1980). También es necesario conocer las características de las especies que conforman las respectivas cubiertas vegetales y el distanciamiento entre los individuos para comprender el ordenamiento espacial de las raíces en el suelo. La distribución de las raíces activas incide en el contenido espacial y temporal del agua del suelo (Lee 1980). Por consiguiente,

la forestación de una pradera con *Pinus radiata* debiera reducir la cantidad de las precipitaciones que alcanzan el suelo y así modificar la cantidad y distribución del agua que infiltra en éste.

En el presente trabajo se compara la distribución espacial y temporal del contenido de agua del suelo de una plantación de *Pinus radiata* y una pradera natural, ubicadas en un suelo rojo arcilloso de la zona de Collipulli, IX Región de Chile. Además, se analiza el efecto de la distribución de las precipitaciones que alcanzan el suelo sobre las características del sistema radicular de los árboles.

## MATERIAL Y METODOS

El estudio se realizó en el Fundo Porvenir, de la Empresa Forestal Mininco, ubicado a 15 km al nordeste de la ciudad de Collipulli (latitud 37° 54' S, longitud 72° 22' W, altitud 250 msnm). El predio se caracteriza por tener una topografía plana, con pendientes inferiores al 5%. La zona tiene un clima templado cálido con estación seca y lluviosa semejantes (Csb<sub>2</sub>) (Fuenzalida 1971). La precipitación promedio anual es de 1.400 mm, con una estacionalidad pronunciada.

El suelo de la zona es clasificado como serie Collipulli (= ultisol), originado de cenizas volcánicas y de avanzado estado de evolución. Según Bonelli (1994), son suelos muy plásticos, con altos contenidos de humedad y que tienen una densidad aparente media a alta. La capacidad de campo y el agua aprovechable posee una relación directa con la profundidad de la capa derivada de cenizas volcánicas, que yace sobre un conglomerado de baja permeabilidad (cuadro 1).

Para el estudio se seleccionó una plantación de *Pinus radiata* de 15 años con una densidad de 460 árboles/ha, DAP promedio de 26 cm, altura media de 21 m y una cobertura del dosel del 66%. Las hileras de plantación tuvieron una orientación este-oeste, con una equidistancia de 5 m. El suelo mantuvo una cubierta herbácea rala, de poco desarrollo, similar a la de una pradera que se utilizó como superficie testigo. Esta pradera colindaba con la plantación y estuvo conformada principalmente por *Agrostis capillaris* y *Holcus lanatus*. Durante el estío los pastos se secaron completamente.

Con dos pluviógrafos instalados en la pradera, se determinó el aporte de agua por precipitación. La precipitación que atravesó el dosel (precipitación directa) se recogió en una canaleta metálica

CUADRO 1

Capacidad de campo del suelo para la plantación de *Pinus radiata* y la pradera (*Agrostis-Holcus*). Suelo Collipulli (ultisol).  
Soil field capacity for a *Pinus radiata* plantation and an *Agrostis-Holcus* meadow, Collipulli soil series (ultisol).

Profundidad (cm)	Plantación (%/vol)	Pradera (%/vol)
0/50	43	38
51/100	45	45
101/150	47	47
151/200	51	52
201/250	55	55
251/300	56	55

en forma de V, de 15 cm de ancho y 25 m de largo, ubicada a nivel del suelo. La cantidad de agua que alcanzó la superficie del bosque usando como senda de fluidos el tronco de los árboles (escurrimiento fustal), fue recogida con espirales de plástico ajustados y sellados alrededor de 15 troncos (Ford y Deans 1978). La pérdida de agua por intercepción del dosel se obtuvo por simple diferencia entre la precipitación registrada en los pluviómetros y la que alcanzó la superficie del rodal (precipitación neta). Con un dispositivo emisor de neutrones (Troxler 4300) se determinó la variación temporal y espacial de contenido de agua del suelo. Para ello se enterraron en el rodal 15 y en la pradera 5 tubos de acero de 45 mm de diámetro y 300 cm de profundidad respectivamente. Para que estuviesen consideradas las distintas situaciones que se pudieran presentar en el suelo del bosque, los tubos se enterraron siempre entre las hileras de plantación, a 0,25, 1,5 y 2,5 m de los árboles respectivamente. La calibración de la sonda de neutrones se hizo en terreno, de acuerdo a lo recomendado por Brechtel (1983). El período de medición se extendió entre mayo 1997 y abril 1998.

Para determinar la distribución espacial de las raíces en el suelo se hicieron 4 calicatas de tres metros de profundidad. La orientación de estas excavaciones fue perpendicular a las hileras de plantación y tuvieron siempre una longitud que abarcó toda la extensión entre dos hileras. Para cada tramo de 50 cm, y para cada 10 cm de pro-

fundidad del perfil, se extrajo una muestra de suelo con cilindro. Igual metodología se usó en la pradera, pero en este caso se hizo una sola calicata, de tres metros de largo y dos de profundidad. Para determinar la cantidad de raíces por unidad de volumen, se consideraron sólo las raíces activas (inferiores a 2 mm de diámetro, Steubing y Fangmeier 1992). Las raíces fueron secadas a 60° C por 48 horas y su importe se expresa en peso de material anhidro por unidad de volumen.

## DISCUSION DE RESULTADOS

La distribución de la cantidad de raíces activas en la plantación de pino y la pradera se presenta en el cuadro 2. La biomasa anhidra de las raíces del rodal cuadruplicó a la de la pradera. Para ambas situaciones, la mayor abundancia de raíces se encontró en los primeros 50 cm, con una cantidad cercana a las 8 t/ha para la pradera y de 30.8 t/ha para el rodal. A profundidades mayores, la congregación de raíces disminuyó fuertemente, este descenso fue más acentuado en la pradera. Si la cantidad de raíces de la cubierta herbácea del rodal se supone semejante a la de la pradera, se puede inferir que las raíces de los árboles participan con un 75% en la masa total de raíces.

CUADRO 2

Distribución vertical de las raíces (kg/ha) en una pradera de *Agrostis-Holcus* y una plantación de *Pinus radiata*, suelo Collipulli (ultisol).

Vertical distribution of the roots (kg/ha) in an *Agrostis-Holcus* meadow and a *Pinus radiata* plantation, Collipulli soil series (ultisol).

Profundidad (cm)	Pradera (kg/ha)	Rodal (kg/ha)
0-50	8.040	30.860
51-100	1.267	3.312
101-150	150	1.217
151-200	0	1.300
201-250	0	475
251-300	0	0
Total	9.457	37.164

En la figura 1 A y B se presenta la distribución espacial promedio de la cantidad de raíces activas entre las hileras de la plantación de pino y para la pradera respectivamente. Esta distribución indica que los árboles poseen un sistema radicular exten-

dido en superficie y con un importante desarrollo en profundidad cerca del tronco. Esta característica de los árboles le permite acceder a una mayor cantidad de agua, lo que los favorece durante los períodos deficitarios en precipitaciones.

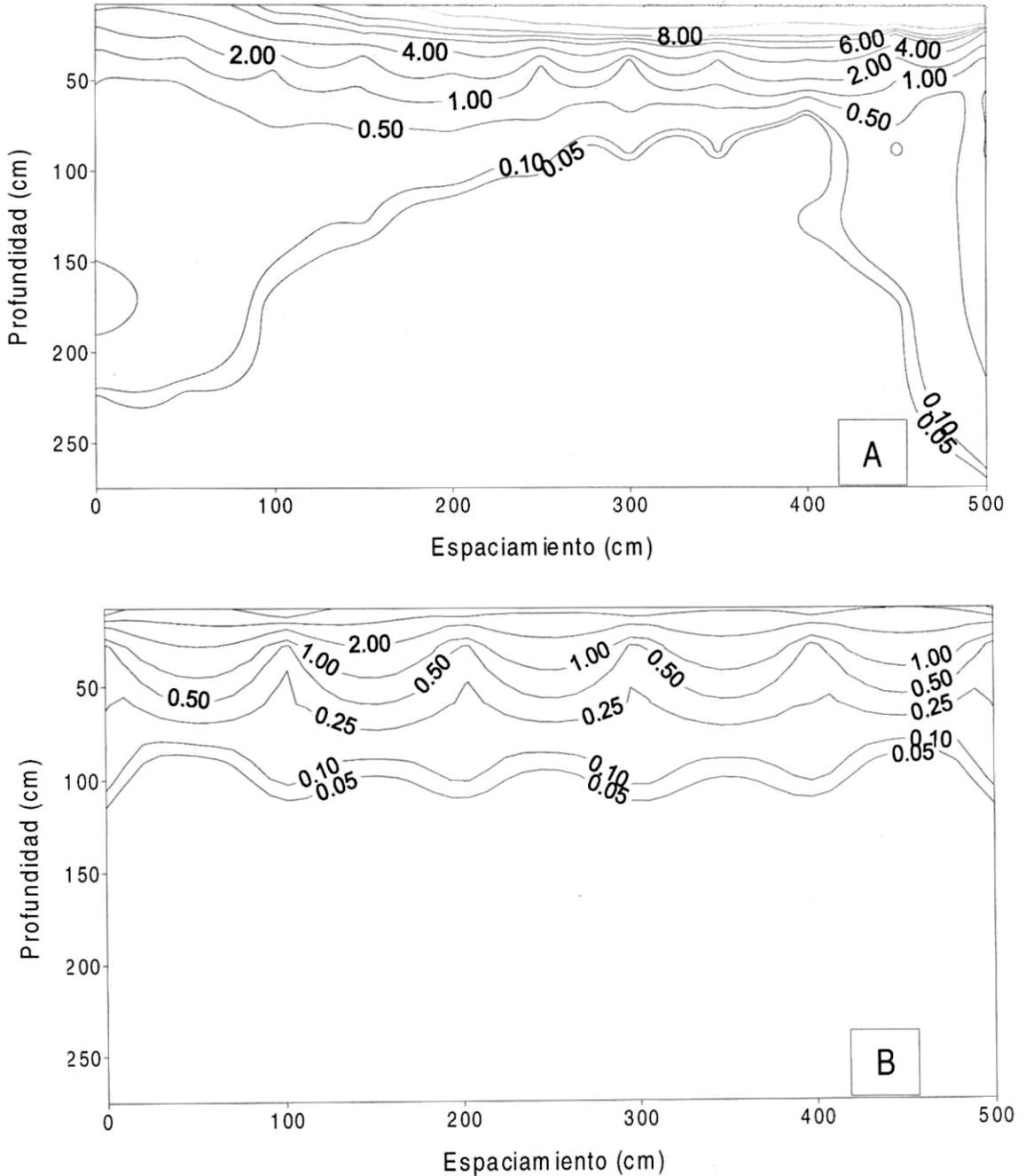


Figura 1. Distribución espacial del contenido de raíces ( $\text{kg/m}^3$ ) entre las hileras de *Pinus radiata* (A) y en la pradera de *Agrostis-Holcus* (B), suelo Collipulli (ultisol).

Spatial distribution of the content of roots ( $\text{kg/m}^3$ ) in between the lines of pines (A) and in the *Agrostis-Holcus* meadow (B), Collipulli soil series (ultisol).

La partición horizontal de la cantidad de raíces en la pradera fue más homogénea. A profundidades superiores a 30 cm, la presencia de raíces disminuyó fuertemente y desaparecieron a los 110 cm (figura 1 B). En la plantación de pino, esta distribución entre las hileras de los árboles fue más dispareja (figura 1A). En los primeros 30 cm de profundidad, en la zona aledaña al sur de la base de los árboles, se registró una menor concentración de raíces. Probablemente, esta situación se debió a condiciones microclimáticas, generadas por la orientación de las hileras de plantación. A distancia media entre las hileras, las raíces desaparecieron entre 70-130 cm de profundidad. Esta condición cambió en la proximidad a los árboles, donde alcanzaron entre 230-260 cm.

Los aportes de agua por precipitación (mm) y la distribución espacial del contenido de agua del suelo (% volumen) de ambas cubiertas vegetales, para todo el periodo, se presentan en la figura 2 A y B. En la plantación de pino, el contenido de agua hasta los tres metros de profundidad oscilo entre 1 458 y 1 130 mm, mientras que en la pradera estos valores fluctuaron entre 1 540 y 3 285 mm. Esta diferencia entre ambas cubiertas vegetales es consecuencia de la distinta cantidad de agua que alcanzó la superficie del suelo (cuadro 3) y al consumo por evapotranspiración de ambas cubiertas vegetales (Huber *et al.* 1998). La variación del contenido del agua del suelo bajo la plantación por consumo por evapotranspiración se registró en todo el perfil considerado, mientras que en la pradera

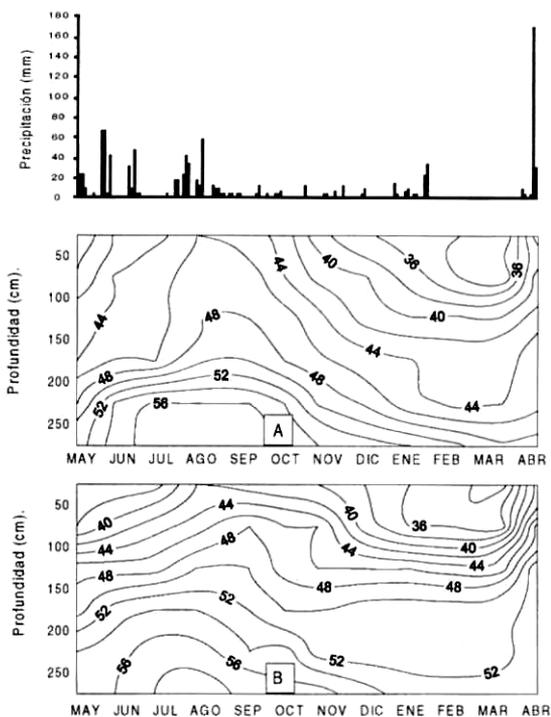


Figura 2. Aportes de agua por precipitación (mm) y variación espacial del contenido de agua del suelo (% volumen) en una plantación de *Pinus radiata* (A) y en la pradera de *Agrostis-Holcus* (B), suelo Collipulli (ultisol).

Water supplies by precipitation (mm) and spatial variation of the soil water content (volume %) in the *Pinus radiata* plantation (A) and the *Agrostis-Holcus* meadow (B), Collipulli soil series (ultisol).

CUADRO 3

Variación temporal de los componentes de la redistribución de las precipitaciones en la plantación de *Pinus radiata*  
 Temporal variations of the components of the redistribution of rainfall in a *Pinus radiata* plantation.

	Fecha de medición												
	1997								1998				Total
	26-May	23-Jun	22-Jul	22-Ago	30-Sep	26-Oct	20-Nov	24-Dic	26-Ene	29-Feb	4-Abr	30-Abr	
Precipitación (mm)	97,2	219,2	99,4	168,4	123,2	29,4	11,2	35,0	32,8	61,0	0,0	227,0	1.003,8
Intercepción (mm)	28,8	64,2	28,9	42,4	38,4	17,4	3,7	17,9	15,4	18,7	0,0	50,7	326,5
Escorrentamiento fustal (mm)	2,0	6,3	2,5	5,6	3,5	0,3	0,3	0,4	0,7	1,7	0,0	6,3	29,6
Escorrentamiento fustal (1/árbol)	43,5	137,0	54,3	121,7	76,1	6,5	6,5	8,7	15,2	17,0	0,0	137,0	643,5
Precipitación neta (mm)	68,4	155,0	70,5	126,0	84,8	12,0	7,6	17,1	17,4	42,3	0,0	176,3	777,4

dera alcanzó los 150 cm. Ello se explica por la distinta profundidad que alcanzaron ambos sistemas radiculares, lo que concuerda con los resultados de Kramer (1974) y Lee (1980), quienes señalan que los mayores consumos de agua ocurren bajo cubiertas vegetales que tienen un sistema radicular más desarrollado. Huber y López (1993) llegaron a conclusiones similares, al comparar la disponibilidad de agua del suelo de una plantación de *Pinus radiata* de 24 años y una densidad de 733 árboles/ha y una pradera natural *Agrostis-Holcus* en la zona de Valdivia.

En la pradera, la capacidad de campo (cuadro 1) en todo el perfil se alcanzó a fines de mayo 1996, mientras que en el bosque esta condición se registró a fines de junio. Este retardo se debió a la disminuida cantidad de precipitación que llegó al suelo debido a la intercepción del dosel (cuadro 3). A su vez, el agua del suelo bajo la plantación de pino requirió de un mayor tiempo para su reposición, por el mayor consumo previo de los árboles y cubierta herbácea en conjunto.

A partir de octubre, se registró una reducción del contenido de agua del suelo, especialmente en los horizontes superficiales. Este descenso se interrumpió a mediados de abril 1997, cuando se registraron intensas precipitaciones, inusuales para esta época del año (figura 2).

Consecuencia de la mayor densidad de plantas y a la homogénea distribución horizontal de las raíces en la pradera, el contenido de agua edáfica a igual profundidad fue parejo. Este aspecto no se repitió en el rodal, por efecto doble de: la heterogénea distribución de la precipitación que alcanzó el suelo y la dispar disposición espacial de las raíces.

Las distribución espacial del contenido de agua del suelo entre las hileras de plantación, para algunas situaciones durante el período de estudio, se presentan en la figura 3 A, B, C, D y E.

La figura 3 A muestra la variación del contenido de agua edáfica para el 21 agosto. Durante las dos semanas previas a esta fecha precipitaron 168 mm. La distribución horizontal de la cantidad de agua en el suelo entre las hileras de plantación no fue pareja. El perfil adyacente a los árboles registró un 50% de volumen de agua en la superficie y 57% a 300 cm de profundidad. Para el perfil ubicado a la distancia media entre las hileras de plantación, el contenido de agua para las correspondientes profundidades fue de 45% y 57% respectivamente. La mayor reserva de agua edáfica en

los horizontes superficiales, aledaños a los árboles, se debió al recibido adicional por escurrimiento fustal (cuadro 3). A profundidades superiores a 170 cm desaparecieron estas diferencias.

La figura 3 B representa la distribución del agua edáfica para el 25 de octubre. Esta fecha fue precedida por un período durante el cual el suelo disminuyó su reserva de agua (figura 2). La cantidad de agua entre las hileras de plantación fue de un 42% en superficie y 56% a 300 cm de profundidad. En el perfil contiguo a los árboles, estos valores fueron de un 41% y 56% respectivamente. En los primeros 70 cm del suelo, en la zona más cercana a los árboles, se registró el mayor consumo de agua. Esta situación refleja el efecto de los dos factores: redistribución de las precipitaciones y distribución de las raíces en el contenido de agua en el suelo.

En la figura 3 C se aprecia el contenido de agua del suelo para el 23 de diciembre. Esta fecha fue antecedida por una temporada con precipitaciones intermitentes, que no aportaron mayor cantidad de agua al suelo (cuadro 3). Durante este período se registró un fuerte descenso del contenido de agua, especialmente en los primeros dos metros. Entre las hileras de árboles, el contenido de humedad del horizonte superficial fue de 37% y a 300 cm de profundidad de 53% respectivamente. En el perfil contiguo a las hileras, estos valores oscilaron entre un 33% y 51% de volumen. Se registró un mayor descenso del contenido de agua cerca de los árboles, debido a la mayor concentración de raíces de esta zona y al escaso aporte de agua por escurrimiento fustal en el período previo.

Un período de 56 días sin precipitación precedió la medición del 2 de abril 1997 (figura 3 D). El perfil entre y sobre las hileras de árboles tuvo un 32% de agua volumétrica en superficie y 47% en profundidad respectivamente. Se registró un descenso intenso y progresivo del contenido de agua en todo el perfil. Esta condición también debió generar una gradiente de tensión en el suelo a 3 metros de profundidad. Como consecuencia de ello, una cantidad no determinada de agua debió ascender por capilaridad desde una profundidad mayor y quedar disponible para los árboles.

El contenido de agua del suelo se recuperó considerablemente entre el 2 al 24 de abril, debido a 214 mm de precipitaciones (cuadro 3), de los cuales 199 mm se registraron durante los últimos 3 días. Esta agua recuperó niveles en los primeros horizontes y continuó su recorrido descendente.

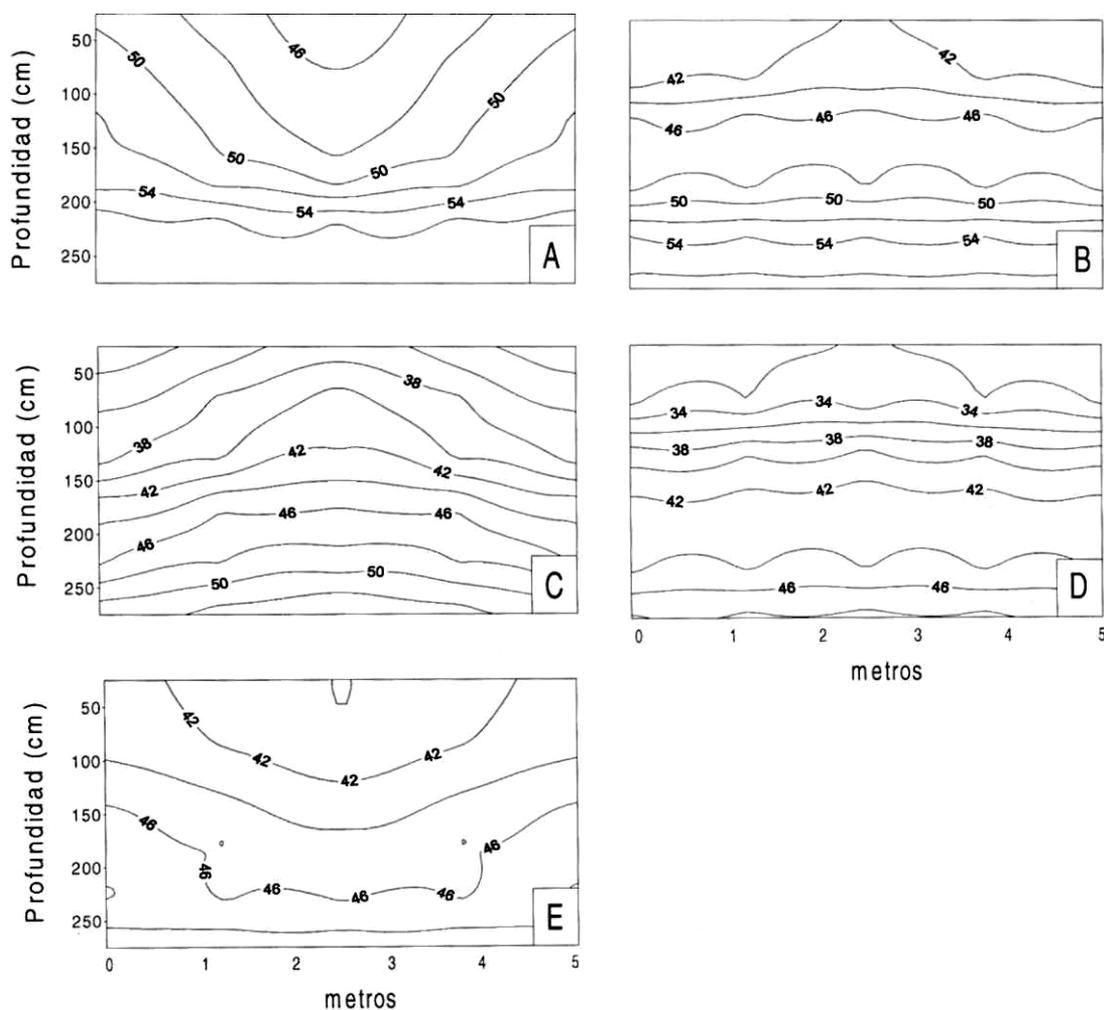


Figura 3. Variación espacial del contenido de agua del suelo (% volumen) entre las hileras de una plantación de *Pinus radiata* para el 21-07 (A), 25-10 (B), 23-12 (C), 02-04 (D) y 24-04 (E).

Spatial variation of the soil water content (volume %) in between the lines of the *Pinus radiata* plantation for the 21-07 (A), 25-10 (B), 23-12 (C), 02-04 (D) and 24-04 (E).

El perfil cercano a las hileras de árboles registró nuevamente una mayor cantidad de agua, debido al aporte por escurrimiento fustal. También se produjo una recuperación progresiva del agua edáfica a mayor profundidad (figura 3 E). Las precipitaciones posteriores a esta fecha volvieron a recuperar los niveles de capacidad de campo del suelo.

## CONCLUSIONES

El efecto de la plantación de *Pinus radiata* (15 años) de un espaciamiento de 5 x 4,5 m en Collipulli (37° 54' S) fue de reducir en un 30% las

precipitaciones que alcanzaron el suelo por intercepción.

El escurrimiento fustal aportó puntualmente un 2,7%, dirigido a la base de cada árbol, monto muy inferior a lo medido en Valdivia.

En comparación a una pradera, la precipitación neta bajo *Pinus radiata* presentó mucho mayor heterogeneidad de distribución.

La irregular distribución del agua de infiltración en la plantación de pino y su heterogénea repartición de raíces, fueron decisivas en la repartición del agua en el suelo.

El agua del suelo bajo la plantación se consumió en forma irregular y hasta los 3 m de profun-

didad. Bajo la pradera, en cambio, el consumo fue más homogéneo y se detectó hasta los 1,5 m

Es necesario considerar el esquema de espaciamiento de las plantaciones forestales cuando éstas se establecen donde la disponibilidad de agua es una limitación esporádica o habitual, como es el caso de zonas con influencia climática mediterránea. Para tal efecto se deberán tener presente los objetivos, la optimización de la producción de madera, o del agua excedente o de un equilibrio entre ambos.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Forestal Mininco S.A. por las facilidades y cooperación proporcionadas para el desarrollo del estudio.

#### BIBLIOGRAFIA

- BONELLI, C. L. 1994. Variación en las características morfológicas y físicas de los suelos rojos arcillosos de la serie Collipulli. Tesis, Fac. Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 107 p.
- BRECHTEL, H. M. 1983. Probleme beim Einsatz von Neutronenonde im Rahmen Hydrologischer Messprogramme. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Verlag Paul Parey, 301 p.
- CROCKFORD, R. H., D. P. RICHARDSON. 1990. "Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in Southeastern Australia: IV. The relationship of interception and canopy storage capacity, the interception of these forest, and the effect on interception of thinning the pine plantation" *Hydrological Processes* 4(2): 169-198.
- FELLER, M. C. 1981. "Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. obliqua*, and *Pinus radiata* forest in Victoria", *Australian Forestry* 44(3): 153-161.
- FORD, E., J. DEANS. 1978. "The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation", *J. of Appl. Ecology* 15: 905-17.
- FUENZALIDA, H. 1971. Climatología de Chile. Departamento de Geofísica y Geografía Universidad de Chile. Santiago, Chile, 69 p.
- HUBER, A., C. OYARZUN, A. ELLIES. 1985. "Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. II: Humedad del suelo y evapotranspiración", *Bosque* 6(2): 74-82.
- HUBER, A., D. LOPEZ. 1993. "Cambios en el balance hídrico provocados por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, Chile", *Bosque* 14(2): 11-18.
- HUBER, A., P. BARRIGA, R. TRECAMAN. 1998. "Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región (Chile)", *Bosque* 19: 61-69.
- KRAMER, P. J. 1974. *Relaciones hídricas del suelo y plantas. Una síntesis moderna*. Centro regional de ayuda técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D). México/ Buenos Aires: 538 p.
- LEE, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York, 349 p.
- LOUSTAU, D., P. BERBIGIER, A. GRANIER, F. EL HADJ MOUSSA. 1992. "Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I: Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy", *Journal of Hydrology* 138: 449-467.
- NEARY, A. J., W. I. GITYN. 1994. Throughfall and stemflow chemistry under deciduous and coniferous canopies in south-center Ontario", *Canadian Journal of Forest Research* 24: 1089-1100.
- STEUBING, L., A. FANGMEIER. 1992. *Pflanzen-ökologisches Praktikum*. Stuttgart: Ulmer, UTB für Wissenschaft: Grosse Reihe .20 p.
- VIVILLE, D., P. BIRON, A. GRANIER, E. DAMBRINE, A. PROBST. 1993. "Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France)", *Journal of Hydrology* 144: 273-282.
- ZWOLINSKI, J. B., D. G. DONALD, A. VAN LAAR, J. VANDER MERWE. 1995. "Water retention in cultivated forest soils of the Southern Cape", *South African Forestry Journal* 174: 1-8.