

# Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región (Chile)\*

Density effect of *Eucalyptus nitens* plantations on the hydric balance in the zone of Collipulli, IX Región (Chile)

ANTON HUBER, PABLO BARRIGA, RAMIRO TRECAMAN

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

## SUMMARY

The density effect of *Eucalyptus nitens* on hydric balance was determined for a plantation located in the intermediate depression, in the north of the IX Region. Soil was red clay of the Collipulli type. Three, 0.25 ha plots were selected from an 8-year-old stand. The plots were thinned with different intensities so that they had 1560, 850 and 663 trees/ha. The different components of precipitation distribution, and temporal and spatial variation of edaphic water content were determined down to 3 meters.

Evapotranspiration in the tree stands, including water loss by interception, was equivalent to 861, 836 and 776 mm for the high, intermediate and low density stands respectively. Water loss due to interception was an important component of evapotranspiration. The amount of percolated water was in inverse relation with density. In the stand with highest density, percolation was 151 mm. This value increased in the intermediate and low density stands, reaching 216 and 282 mm, respectively.

*Key words:* hydric balance, eucalyptus stands.

## RESUMEN

Se determinó el efecto que tiene la densidad de una plantación de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico. La plantación estaba ubicada en la depresión intermedia, en el norte de la IX Región, sobre un suelo rojo arcilloso de la serie Collipulli. En un rodal de 8 años de edad se delimitaron 3 parcelas de 0.25 ha, las cuales fueron raleadas con distinta intensidad, para quedar con 1.560, 850 y 663 árboles/ha. En el estudio se determinaron los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones y la variación temporal y espacial del contenido de agua edáfica hasta los tres metros de profundidad.

La evapotranspiración de los tres rodales, incluidas las pérdidas de agua por intercepción, fue equivalente a 861, 836 y 776 mm para los rodales de alta, mediana y baja densidad respectivamente. La pérdida de agua por intercepción fue un componente importante en la evapotranspiración. En el rodal de mayor densidad la percolación fue de 151 mm. Este valor se incrementó en el rodal de mediana y baja densidad, alcanzando los 216 y 282 mm respectivamente.

*Palabras claves:* balance hídrico, plantaciones eucalipto.

## INTRODUCCION

El ciclo del agua es un factor vital en el funcionamiento de los bosques, sobre todo en las regiones que tienen un déficit hídrico, o donde la disponibilidad de agua es una limitante esporádica o

habitual, como es el caso de zonas con influencia climática mediterránea (Pearce y Rowe 1979, Santa Regina *et al.* 1989, Honeysett, *et al.* 1992).

La reserva de agua edáfica en una plantación forestal se puede ver alterada cuando se modifican sus características (Huber, *et al.* 1985, Eastham *et al.* 1988, Lostau *et al.* 1992). Esta situación hace necesario conocer con más detalle el efec-

\* Trabajo financiado por el proyecto FONDECYT 1951166.

to que tiene el manejo silvicultural sobre el balance hídrico de este tipo de cubierta forestal.

La cantidad total de precipitación y la distribución temporal de la misma no pueden ser controladas en forma directa por el hombre. Sin embargo, el consumo de agua por el bosque puede ser modificado mediante algunos tratamientos silviculturales (FAO 1962, Huber, *et al.* 1985, Crockford y Richardson 1990).

Según el INFOR (1996), en Chile hay más de 1.8 millones de hectáreas plantadas con especies exóticas de rápido crecimiento, de las cuales 300.000 hectáreas corresponden a eucalipto.

En la depresión intermedia, en el norte de la IX Región de Chile, existen extensas superficies reforestadas con *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden, que están ubicadas en suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli. Estos suelos tuvieron un intensivo uso agrícola hasta comienzos del presente siglo. El empleo de métodos inadecuados de labranza erosionó y degradó fuertemente estos suelos (Millán y Carrasco 1993). Actualmente, gran parte de estas superficies son praderas naturales de baja productividad.

El reemplazo de estas cubiertas herbáceas por plantaciones de eucalipto debe producir cambios en el recurso hídrico local, porque los bosques tienen una mayor biomasa aérea y también por la considerable profundidad que alcanza su sistema radicular. Las características de esta nueva cubierta vegetal aumentarán las pérdidas de agua por intercepción y les permitirán acceder a una mayor cantidad de agua edáfica.

En el presente estudio se determinarán la variación temporal y espacial del contenido de agua edáfica y la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y percolación de tres rodales de *Eucalyptus nitens*, con distintas densidades, ubicados en suelos rojo arcillosos de la zona de Collipulli.

## MATERIAL Y METODOS

El estudio se realizó durante el período mayo 1996-abril 1997, 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, 250 m snm). La topografía del área es pareja, con pendientes suaves inferior-

res al 5%. Según la clasificación de Koeppen, el clima de la zona corresponde al tipo Templado Cálido con estación seca y lluviosa semejante (Csb<sub>2</sub>) (COREO 1965). La precipitación promedio anual es de 1.400 mm y tiene una distribución estacional bien pronunciada. La mayor precipitación mensual ocurre en mayo con 370 mm, mientras que durante el estío este valor no sobrepasa los 30 mm/mes.

Para el estudio se seleccionó un rodal de *Eucalyptus nitens* de 8 años. La plantación se había hecho en hileras con un espaciamiento de 5 metros y la distancia entre árboles de 1 m. En el rodal se delimitaron tres parcelas de 0.25 ha, las cuales fueron raleadas con distinta intensidad. La primera parcela mantuvo su densidad de 1.560 árboles/ha, la segunda quedó con 850 árboles/ha y en la última la densidad se redujo a 633 árboles/ha. Las principales características dasométricas de ellas están presentadas en el cuadro 1. En ninguna de las tres parcelas hubo vegetación arbustiva y la escasa herbácea fue muy reducida. La cantidad de desechos de raleo, que cubría el suelo de cada una de las parcelas, está en relación con la intensidad de su manejo.

El suelo del rodal corresponde a los suelos de la serie Collipulli, los cuales se desarrollaron a partir de cenizas volcánicas antiguas (Tosso 1985). Estos horizontes descansan sobre un sustrato constituido por un conglomerado volcánico de composición petrográfica mixta y muy meteorizado, que no guarda relación genética con el desarrollo del perfil. Alcanzan alturas de 120 a 400 m snm y ocupan aproximadamente 186.000 ha. Su textura es fina a muy fina, de colores pardo rojizo a rojizo, son moderadamente profundos a profundos, donde los primeros horizontes son friables en húmedo y duros en seco, y a mayor profundidad cambian a firmes en húmedo y continúan duros en seco (Tosso 1985). Según Bonelli y Schlatter (1994), son suelos muy plásticos, con altos contenidos de humedad y una densidad aparente media a alta. Presentan una baja estabilidad en su estructura, especialmente en los horizontes inferiores; el horizonte A es el único que presenta buena estabilidad debido principalmente a la materia orgánica presente.

La precipitación total que llegó a cada una de las parcelas se consideró equivalente a la registrada en dos pluviógrafos, ubicados a 150 y 300 m

de las parcelas. La precipitación que atravesó el dosel (precipitación directa) se recogió en 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 agua recibida de esta forma se condujo a un registrador especialmente diseñado para esta finalidad. La precipitación que alcanzó la superficie del bosque, usando como vía el tronco de los árboles (escurrimiento fustal), se recogió con collarines plásticos ajustados y sellados en espiral alrededor de los troncos. La precipitación que se recolectó de esta manera fue conducida mediante tubos de PVC a otro registrador. Las pérdidas de agua por intercepción del dosel (Ic) se calcularon a partir de la relación:

$$Ic = N - (Nd + Nf)$$

donde:

Ic = pérdidas de agua por intercepción del dosel, N = precipitación incidente, Nd = precipitación directa y Nf = escurrimiento fustal.

La cantidad total de agua que alcanzó la superficie (No = precipitación neta) se calculó de la siguiente forma:

$$No = Nd + Nf$$

según la definición de los términos anteriormente indicada.

La variación temporal y espacial de contenido de agua edáfica se determinó con un dispositivo emisor de neutrones (Troxler 4300). En cada parcela se enterraron 15 tubos de acero de 45 mm de diámetro y 300 cm de largo. Para que las mediciones contemplaran todas las situaciones, un número igual de tubos se instaló sobre y entre las hileras de la plantación. La calibración de la sonda de neutrones se hizo en terreno, de acuerdo a las recomendaciones de Brechtel (1983).

Para calcular la evapotranspiración de cada una de las parcelas se supuso que cuando un suelo deja de estar saturado y comienza a disminuir su contenido de agua, la percolación es nula o insignificante, por lo que toda disminución del agua edáfica es producto de la evapotranspiración (Hibbert 1976).

Según Hibbert (1976), esta situación se logra cuando el agua retenida por las fuerzas opuestas del suelo se encuentra en equilibrio con el movimiento descendente de ella. La tensión de hume-

dad equivalente a dicha condición corresponde a la capacidad de campo del suelo.

En los períodos durante los cuales el suelo a tres metros de profundidad tenía un contenido de agua inferior a la capacidad de campo la evapotranspiración se calculó analíticamente, mediante la ecuación general de continuidad del balance hídrico (Feller 1981).

$$EVTP = N \pm \Delta W - A$$

donde:

EVTP = evapotranspiración, N = precipitación,  $\Delta W$  = variaciones del contenido del agua del suelo. A = escorrentía superficial. Como el relieve de las parcelas es casi plano, se asumió que no hay escorrentía superficial. Los aportes de agua por capilaridad desde el agua subterránea tampoco fueron considerados, porque ésta se encuentra a mayor profundidad.

En los períodos en que el suelo a tres metros de profundidad tenía un contenido de agua superior a la de su capacidad de campo, se suponía que había percolación. Pero como esta pérdida de agua no fue posible de medir, la evapotranspiración (EVTP) se consideró equivalente a la sumatoria de las pérdidas de agua por intercepción (Ic) más la de la evaporación potencial (EVP):

$$EVTP = Ic + EVP$$

según la definición de los términos señalada con antelación.

La evaporación potencial se midió en una bandeja evaporimétrica, instalada junto a uno de los pluviógrafos.

La cantidad de agua involucrada en la percolación se estimó sólo para los meses en los cuales el suelo, a tres metros de profundidad, tenía un contenido de agua igual o superior al de su capacidad de campo, con la siguiente fórmula:

$$P = N - Ic - EVP \pm \Delta W$$

donde:

P = percolación, N = precipitación incidente, Ic = pérdidas de agua por intercepción, EVP = evaporación potencial,  $\Delta W$  = variación del contenido de agua edáfica.

## RESULTADOS

Durante el período de mediciones (mayo 1996-abril de 1997) se registró una precipitación de 1.090 mm. Esta cantidad fue un 24.6% inferior a la promedio. La precipitación máxima mensual se produjo en agosto con 253 mm, y el mes más seco fue marzo sin precipitación. Durante los tres primeros trimestres del período hubo un déficit de precipitaciones que fue equivalente al 30, 17 y 62% en promedio, respectivamente. En el último trimestre esta situación se revirtió, ya que las lluvias sobrepasaron en más de un 60% la promedio.

Durante el período de medición se presentó una temporada excepcionalmente seca, que comenzó a mediados de febrero y se prolongó por casi dos meses. Sin embargo, las fuertes precipitaciones que se produjeron a mediados de abril, que superaron en más de un 100% a la promedio mensual, compensaron en parte el déficit.

En el cuadro 2 se muestra la variación temporal del contenido promedio del agua edáfica (% volumen), para las 3 parcelas. En la parcela de mayor densidad la cantidad de agua del perfil osciló entre los 1.130 mm y 1.459 mm. La primera situación se registró en marzo, mientras que la segunda se produjo en agosto, coincidiendo de esta forma con los períodos más secos y lluviosos respectivamente. Los valores extremos para la parcela 2 fueron de 1.158 mm y 1.526 y para la parcela de menor densidad 1.173 mm y 1.559 mm, respectivamente. Estos resultados indican que hay una relación inversa entre el agotamiento de las reservas de agua edáfica y la densidad de las plantaciones. Mientras más densos los rodales, mayores son las pérdidas de agua por intercepción y transpiración. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Honeysett, Beadle y Turnbull (1992), quienes también determinaron una relación inversa entre la densidad de plantaciones coetáneas de eucalipto y el contenido de agua edáfica.

La variación temporal de la reserva de agua edáfica en las tres parcelas se manifestó más intensamente en los primeros 50 cm de profundidad, donde se concentra la mayor cantidad de raíces. Esta oscilación temporal disminuyó con la profundidad, pero se pudo observar en todo el perfil.

La distribución espacial y temporal del contenido de humedad del suelo (% volumen) de las tres parcelas y los aportes de agua por precipitación se presentan en las figuras 1, 2 y 3. El contenido de agua en el suelo tuvo un curso anual definido por la variación temporal de las precipitaciones y el consumo de agua por evapotranspiración.

La saturación del suelo en las parcelas 2 y 3 se produjo en el transcurso del mes de mayo (figuras 2 y 3), mientras que en la parcela 1 (figura 1) esta situación sucedió durante el mes de junio. Este retardo se debió a que el rodal con más cobertura de copas registró una mayor pérdida de agua por intercepción, lo que redujo la cantidad de agua que alcanzó el suelo (Crockford y Richardson 1990, Loustau *et al.* 1992). A su vez, la recuperación total de la reserva de agua edáfica, que fue mayor en la parcela 1, requirió de más tiempo para lograrlo.

A partir del mes de septiembre se observa una disminución del contenido de agua edáfica, porque los consumos por evapotranspiración sobrepasaron los aportes por precipitación. Según Price (1982) y Pereira de Almeida y Riekerk (1990), el efecto en conjunto de altas tasas de evapotranspiración y pérdidas de agua por intercepción constituyen los factores más importantes en el agotamiento del agua edáfica. Este consumo se interrumpió a mediados de abril, cuando se registraron intensas precipitaciones, inusuales para esta época del año.

El aprovechamiento del agua edáfica se produjo más allá de los tres metros de profundidad. Ello se explica porque el sistema radicular de los árboles penetró más de 2.5 m en el suelo, situación que les permitió acceder a una mayor cantidad de agua edáfica. Lee (1980) señala que los mayores consumos de agua ocurren bajo cubiertas vegetales que tienen las raíces más profundas y mejor desarrolladas, mientras que Kramer (1974) afirma que la eficiencia de las raíces en la absorción de agua depende principalmente de su extensión. Greenwood *et al.* (1985) y Huber y López (1993) también llegan a conclusiones similares, al comparar la evapotranspiración entre rodales de eucalipto y pradera, y una plantación de *Pinus radiata* y una cubierta herbácea, respectivamente. El aprovechamiento del agua hasta esta profundidad genera una gradiente de tensión que activa el ascenso por capilaridad del agua edáfica ubicada a más de tres metros de profundidad.

La cantidad mensual y anual de la precipitación, precipitación neta, pérdidas de agua por intercepción, percolación y evapotranspiración de las tres parcelas, se presentan en el cuadro 3. La evapotranspiración anual, incluida la pérdida de agua por intercepción, para los rodales de alta, mediana y baja densidad, fueron equivalentes a 861 mm, 836 mm y 776 mm, lo que corresponde al 79, 77 y 71% de la precipitación total, respectivamente.

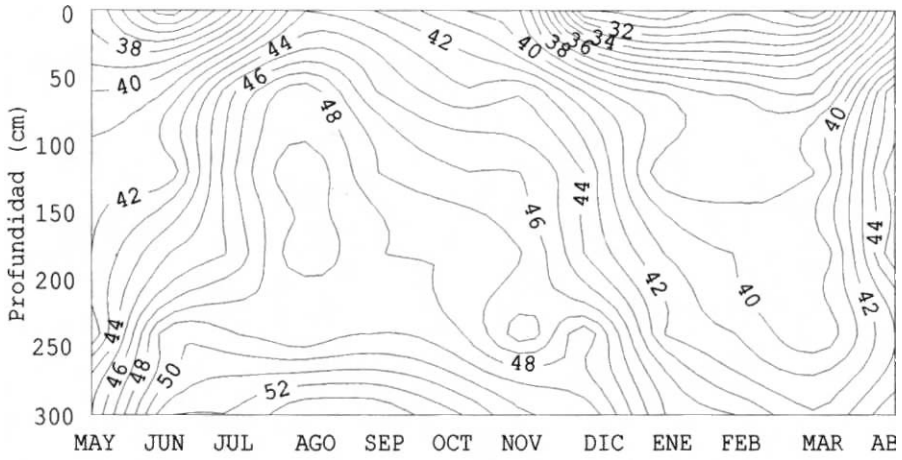


Figura 1. Variación temporal del contenido de agua edáfica (% volumen) para la Parcela 1.  
Temporal and spatial variation of edaphic water content (vol %) in plot 1.

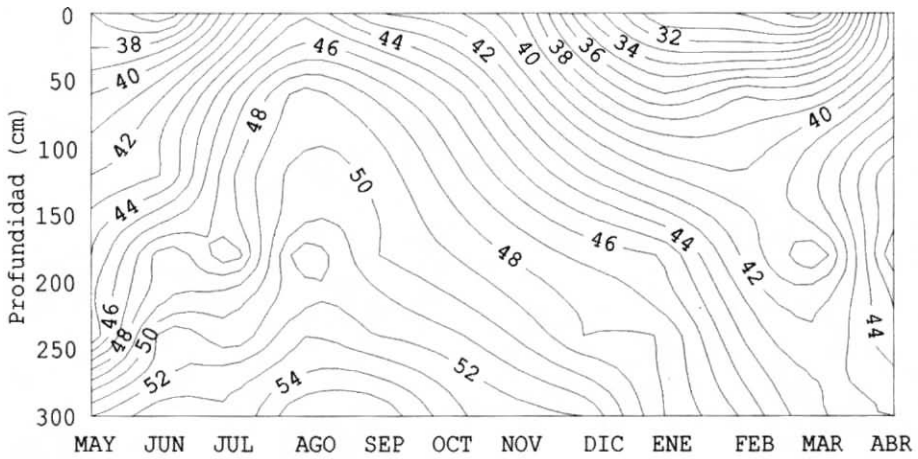


Figura 2. Variación temporal del contenido de agua edáfica (% volumen) para la Parcela 2.  
Temporal and spatial variation of edaphic water content (vol %) in plot 2.

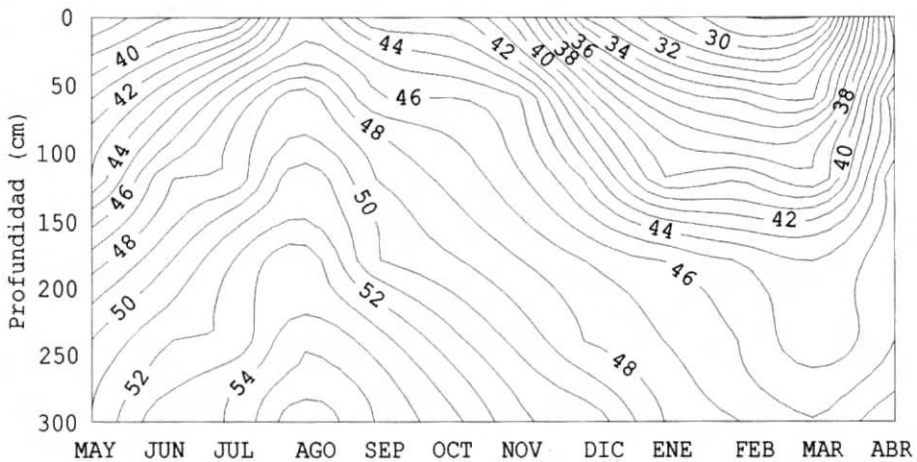


Figura 3. Variación temporal del contenido de agua edáfica (% volumen) para la Parcela 3.  
Temporal and spatial variation of edaphic water content (vol %) in plot 3.

CUADRO 1

Características dasométricas de las tres parcelas de *Eucalyptus nitens* al inicio del ensayo.  
 Dasometric characteristics of the three *Eucalyptus nitens* plots.

Parámetros	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Edad (años)	8	8	8
Densidad (árboles/ha)	1.560	850	633
Altura (m)	14.7	15.9	16.0
Area basal (m <sup>2</sup> /ha)	29.7	19.5	16.7
Cobertura del dosel (%)		65	56
Diámetro altura de pecho (cm)	15.2	17.6	19.2
Area promedio de copa (m <sup>2</sup> )	8	13	30

De la precipitación total, un porcentaje importante se perdió por intercepción. Dicha cantidad fue de 328, 292 y 260 mm para las parcelas 1, 2 y 3, respectivamente, lo que significa que un 30%, 26.8% y 23.9% de la precipitación total no quedó disponible para estos rodales. Este alto porcentaje concuerda con lo señalado por Pearce y Rowe (1979) y Viville *et al.* (1993), que dicen que la pérdida de agua por intercepción es una de las principales componentes de la evapotranspiración.

Si se hace una relación entre la precipitación neta y la evapotranspiración, se puede concluir que durante el período de estudio la reserva de agua en el suelo fue agotada en un 13 y 4% en la parcela 1 y 2; esta situación no se repitió en la parcela 3.

CUADRO 2

Variación temporal del contenido de agua edáfica (% volumen) para cada 50 cm de profundidad y equivalente en mm para todo el perfil.  
 Temporal variation of edaphic water content (volume %) for each 50 cm of depth and equivalent in mm for all the profile.

Profundidad (cm)	PARCELA 1											
	1996						1997					
	25/05	22/06	21/07	21/08	29/09	25/10	19/11	23/12	25/01	28/02	02/04	24/04
0-50	31	33	37	43	42	40	40	30	29	31	29	38
50-100	40	41	46	49	45	43	44	41	39	38	38	44
100-150	41	41	47	50	47	46	46	44	38	39	39	46
150-200	42	45	46	50	48	48	47	44	41	40	39	46
200-250	45	50	49	48	49	48	45	49	42	41	39	43
250-300	49	52	52	54	54	52	50	50	45	44	42	45
Pomedio (%)	41	44	46	49	47	46	45	43	39	38	38	43
Total (mm)	1.243	1.320	1.375	1.459	1.424	1.387	1.353	1.290	1.168	1.151	1.130	1.300
Profundidad (cm)	PARCELA 2											
	1996						1997					
	25/05	22/06	21/07	21/08	29/09	25/10	19/11	23/12	25/01	28/02	02/04	24/04
0-50	37	35	41	44	42	41	39	34	30	30	28	40
50-100	40	42	46	50	45	45	45	43	36	38	38	42
100-150	42	44	48	51	47	47	47	43	41	40	40	46
150-200	44	49	47	53	50	49	48	46	46	42	39	47
200-250	44	52	50	53	52	51	51	48	48	44	42	45
250-300	52	54	53	56	56	53	52	51	48	46	43	43
Pomedio	43	46	48	51	49	47	47	44	41	40	39	44
Total (mm)	1.292	1.387	1.432	1.526	1.461	1.420	1.403	1.327	1.236	1.209	1.158	1.312
Profundidad (cm)	PARCELA 3											
	1996						1997					
	25/05	22/06	21/07	21/08	29/09	25/10	19/11	23/12	25/01	28/02	02/04	24/04
0-50	37	39	39	46	42	42	39	33	30	28	28	42
50-100	41	44	47	50	46	46	45	40	36	35	34	45
100-150	43	48	48	52	49	46	46	44	39	40	38	46
150-200	46	50	50	54	50	48	48	47	46	45	44	46
200-250	47	52	52	55	51	51	51	48	47	46	44	46
250-300	51	54	54	57	55	53	51	51	48	47	46	48
Pomedio	44	48	49	52	49	47	47	44	41	40	39	45
Total (mm)	1.336	1.436	1.461	1.559	1.466	1.424	1.407	1.322	1.238	1.210	1.173	1.355

CUADRO 3

Variación temporal de los aportes de agua por precipitación (mm), pérdidas por intercepción (mm), percolación (mm) y evapotranspiración (mm) para las parcelas 1, 2 y 3.

Temporal variation of the contribution of water by precipitation (mm), interception loss (mm), percolation (mm), and evapotranspiration (mm) for the lots 1, 2 and 3.

	1996								1997				Total
	25/05	22/06	21/07	21/08	29/09	25/10	19/11	23/12	25/01	28/02	02/04	24/04	
PARCELA 1													
Precipitación	100,6	215,8	99,4	172,9	118,7	29,4	11,3	35,0	32,0	61,0	0,0	213,5	1.089,6
Intercepción	43,7	66,3	24,5	55,3	45,0	20,4	3,1	18,6	13,1	14,3	0,0	23,5	327,8
Precipitación neta	56,9	149,5	74,9	117,6	73,7	9,0	8,2	16,4	18,9	46,7	0,0	190,0	761,8
Evapotranspiración	86,6	76,8	33,5	75,3	84,9	64,3	45,3	98,0	154,0	78,0	21,0	43,5	861,2
Percolación	0,0	61,0	10,9	14,6	60,7	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	151,3
PARCELA 2													
Intercepción	39,1	61,7	22,1	50,7	40,3	18,1	2,6	16,4	9,6	13,0	0,0	18,5	292,1
Precipitación neta	61,5	154,1	77,3	122,2	78,4	11,3	8,7	18,6	22,4	48,0	0,0	195,0	797,5
Evapotranspiración	59,0	72,2	31,1	70,7	80,3	62,1	28,3	111,0	123,0	88,0	51,0	59,5	836,2
Percolación	31,2	48,6	23,3	8,2	96,4	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	216,0
PARCELA 3													
Intercepción	39,1	58,7	19,9	41,5	35,4	16,2	1,9	15,1	7,9	11,9	0,0	12,5	260,1
Precipitación neta	61,5	157,1	79,5	131,4	83,3	13,2	9,4	19,9	24,1	49,1	0,0	201,0	829,5
Evapotranspiración	59,1	69,2	28,9	61,5	75,4	60,2	28,3	120	116	89	37	31,5	776,1
Percolación	37,1	45,6	45,5	13,4	129,3	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	282,1

Estos resultados indican que hay una relación inversa entre la cantidad de agua consumida por evapotranspiración y la densidad de los rodales. Esta tendencia se explica por una mayor pérdida de agua por intercepción y un superior consumo por transpiración a medida que aumenta la densidad de los rodales (Kramer 1974). Los resultados también coinciden con los obtenidos por Feller (1981) en Australia, quien determinó una evapotranspiración equivalente al 68% de la precipitación total en un rodal de *Eucalyptus regnans* con una densidad de 550 árboles/ha y 79% para 830 árboles/ha. Pesson (1975) y Eastham *et al.* (1988) también encontraron una relación directa entre la evapotranspiración y la densidad de rodales de *Eucalyptus nitens*.

La mayor evapotranspiración se registró durante el período diciembre-febrero (cuadro 3), que fue equivalentes a 330, 322 y 325 mm, lo que significa un 38,3, 38,5 y 41,9% de la evapotranspiración anual para las parcelas 1, 2 y 3, respectivamente. Estos valores habrían sido superiores si

hubiese existido una mayor disponibilidad de agua edáfica, especialmente en los primeros 50 cm de profundidad. Durante el período 28 febrero-2 abril la evapotranspiración del rodal 1 fue inferior a la esperada y la menor de las tres parcelas. Esta situación es producto de la carencia absoluta de precipitaciones para este período y al mayor agotamiento a la que fue expuesta la reserva de agua edáfica de los horizontes superiores de esta parcela.

La percolación total para el período fue equivalente a 151, 216 y 282 mm para las parcelas 1, 2 y 3, lo que representa el 13,6, 19,5 y 25,4% de la precipitación total, respectivamente. Se puede observar un aumento de la percolación a medida que la densidad de las plantaciones disminuye. Ello se debe a que en los rodales de menor densidad la precipitación neta aumentó y el agotamiento del agua edáfica por evapotranspiración disminuyó. Eastham *et al.* (1988) reafirman estos resultados, cuando determinan una relación inversa entre los montos de percolación y la densidad de tres rodales de *Eucalyptus grandis*.

La percolación continuó durante todo el invierno, porque los aportes de agua por precipitación fueron superiores a las pérdidas por evapotranspiración. Durante el mes de octubre la percolación comienza a disminuir y a principios de noviembre cesa completamente. Desde noviembre y hasta el término del período de estudio el contenido de humedad del suelo a los 3 m de profundidad se mantuvo por debajo de la capacidad de campo en las tres parcelas, lo que impidió que se produjera percolación en este nivel de referencia.

La saturación del suelo en los tres rodales duró aproximadamente seis meses. En un año con una distribución normal de las precipitaciones la duración de la percolación se habría extendido por un período mayor.

## CONCLUSIONES

La densidad de un rodal de *Eucalyptus nitens* afecta el balance hídrico y la distribución espacial y temporal del agua edáfica. Existe una relación directa entre la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y la densidad del rodal. La mayor biomasa aérea que tienen los rodales más densos aumenta las pérdidas de agua por intercepción, además ejercen una mayor demanda sobre el agua edáfica por transpiración. En el rodal de 1.560 árboles/ha la evapotranspiración, incluidas las pérdidas de agua por intercepción, fue equivalente al 79% de la precipitación anual, que fue de 1.090 mm. Para los rodales con 850 y 663 árboles/ha este valor disminuyó a un 77 y 71%, respectivamente.

La percolación tuvo una relación inversa a la densidad. Este parámetro, para las parcelas de mediana y baja densidad, fue un 43 y 87% mayor que el calculado para la parcela de mayor densidad.

El manejo afectó el balance hídrico de la plantación, porque se alteró la cantidad de agua que alcanzó el suelo, la cuantía del agua utilizada por transpiración y, por lo tanto, la distribución espacial y temporal de la disponibilidad del agua edáfica.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Forestal Mininco S.A. por las facilidades y colaboración prestadas para el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- BONELLI, C.L., J. SCHLATTER. 1995. "Caracterización de suelos rojo arcillosos de la zona Centro-Sur de Chile". *Bosque* 16 (2): 21-37.
- BRECHTEL, H.M. 1983. *Probleme beim Einsatz von Neutronensonde 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.
- CORFO. 1965. *Geografía económica de Chile*. Editorial Universitaria. Santiago, Chile, 885 pp.
- EASTHAM, J., C.W. ROSE, D.M. CAMERON, S.J. RANCE, T. TALSMA. 1988. "The effect of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment", *Agricultural and Forest Meteorology* 42 (4): 355-368.
- FAO. 1962. La influencia de los montes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia, 335 p.
- FELLER, M.C. 1981. "Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. obliqua*, and *Pinus radiata* forest in Victoria", *Australian Forestry* 44 (3): 153-161.
- GREENWOOD, E. A. N., L. KLEIN, J.D. BERESFORD, G.D. WATSON. 1985. "Differences in annual evaporation between grazed pasture and *Eucalyptus* species in plantation on a saline fern catchments", *Journal of Hydrology* 78 (3/8): 261-278.
- HIBBERT, A.R. 1976. Percolation and streamflow in range and forest lands. Watershed management on Range and Forest Lands. Proceedings of the Fifth Workshop of the United States/Australia Rangelands Panel Boise, Idaho, June 15-22, 1975. Utah Water Research Laboratory. Utah State University. Logan, Utah. pp. 61-72.
- HONEYSETT, J., C. BEADLE, C. TURNBULL. 1992. "Evapotranspiration and growth of two contrasting species of *Eucalyptus* under non-limiting and limiting water availability", *Forest Ecology and Management* 50: 203-216.
- 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.
- INFOR, CORFO. 1996. Estadísticas forestales 1996. Boletín Estadístico N° 50. Santiago. Chile, 119 pp.
- 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 pp.
- LEE, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York. 349 pp.
- 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.
- MILLAN, J., P. CARRASCO. 1993. La forestación en la VII Región. En: Elementos cognoscitivos sobre el recurso suelo y consideraciones generales sobre el ordenamiento agroforestal. EULA. Universidad de Concepción, pp. 75-84.
- PEARCE, A., L.K. ROWE. 1979. "Forest management effects on interception, evaporation and water yield", *Journal of Hydrology* 18 (2): 73-87.



- PEREIRA DE ALMEIDA, A., H. RIEKERK. 1990. "Water balance of *Eucalyptus globulus* and *Quercus suber* forest stand in south Portugal", *Forest Ecology and Management* 38: 55-64.
- PRICE, N. W. 1982. "A comparisons of water balance components in a natural and plantation forest in El Salvador, Central America", *Turrialba* 32 (4): 399-416.
- PESSON, P. 1975. *Ecología Forestal. El bosque: clima, suelo, árboles, fauna*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 393 pp.
- SANTA REGINA, I., J.F. GALLARDO, C. SAN MIGUEL, A. MOYANO. 1989. "Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España)", *Bosque* 10 (1): 19-27.
- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile, 723 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.