

INVESTIGACIÓN

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN Y LA HUMEDAD DEL SUELO EN TRES SITIOS FORESTALES DE LA VIII REGIÓN DE CHILE¹

Spatial and temporal distribution of precipitation and soil water content
at three forest sites of the VIII Region of Chile¹

Carlos A. Bonilla², Claudia Bonomelli^{2*} y Gonzalo Urrutia²

ABSTRACT

In Chile there are around two million hectares with forest plantations, the VIII Region being noteworthy, for its favorable climatic conditions. Considering the importance that the hydric regime has on these species, the objective of this study was to characterize the precipitation and soil water content in three sites representative of the Coastal Dry Land, Central Valley and Andean Foothills of the region. The selected sites were located between 37°00 and 37°45' S. lat. and 72°00 and 73°10' W. long. The temperature, rainfall and soil water content were recorded from September 1993 to August 1996. The results indicate that the monthly rainfall in the Andean Foothill site was not statistically different from that registered in the Central Valley and the Coastal Dry Land. The same situation was observed with the mean temperatures. Nevertheless, although temperatures and rainfall were the same in all sites, significant differences were found when comparing the soil water contents. The soil water content in the Andean Foothill site was on average 420 and 440% greater than those observed in the Central Valley and the Coastal Dry Land, respectively. The higher organic matter level in the Andean Foothill site would be the main cause of this phenomenon. This higher water availability was translated into higher rates of growth in the forestry plantation. The results obtained demonstrate the utility of characterizing forest sites through available soil water instead of rainfall.

Key words: *Eucalyptus* spp., forest hydrology, hydric balance, soil water availability.

RESUMEN

En Chile existen alrededor de dos millones de hectáreas con plantaciones forestales, destacándose la VIII Región por sus favorables condiciones climáticas. Considerando la importancia que tiene el régimen hídrico sobre estas especies, el objetivo de este estudio fue caracterizar las precipitaciones y humedad del suelo en tres sitios representativos de las condiciones de Secano Costero, Valle Central y Precordillera de la región. Los sitios empleados se ubican entre los 37°00' y 37°45' lat. Sur y 72°00' y 73°10' long. Oeste. Desde septiembre de 1993 y hasta agosto de 1996 se registraron las temperaturas, precipitación y contenido de humedad del suelo en cada sitio. Los resultados indican que la precipitación mensual en el sitio de Precordillera no fue estadísticamente distinta a la registrada en los sitios del Secano Costero y Valle Central. La misma situación se observó con las temperaturas medias. Sin embargo, aunque las temperaturas y precipitaciones fueron iguales en todos los sitios, se encontraron diferencias significativas al comparar los niveles de humedad

¹Recepción de originales: 29 de octubre de 2001.

²Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Casilla 306, Correo 22, Santiago, Chile. E-mail: cbonilla@puc.cl; cbonomel@puc.cl *Autor para correspondencia.

disponible en el suelo. Los valores registrados en el sitio de Precordillera fueron en promedio 420 y 440% superiores a los observados en el Valle Central y Secano Costero, respectivamente. El elevado contenido de materia orgánica en el sitio de Precordillera sería la principal causa de este fenómeno. Esta mayor disponibilidad de agua se tradujo en mayores tasas de crecimiento en la plantación forestal. Los resultados obtenidos demuestran la conveniencia de caracterizar el sitio forestal mediante la humedad disponible en el suelo en vez del agua caída.

Palabras clave: *Eucalyptus* spp., hidrología forestal, balance hídrico, disponibilidad de agua en el suelo.

INTRODUCCIÓN

En Chile existen alrededor de dos millones de hectáreas con plantaciones forestales (INFOR, 1999). La principal especie corresponde a *Pinus radiata* (D. Don), con 75% de la superficie nacional plantada, seguida por especies del género *Eucalyptus*, con 15%. Algunas plantaciones se encuentran ubicadas en sectores que presentan una marcada distribución estacional de las precipitaciones, siendo la falta de agua durante el verano uno de los factores que limita el desarrollo de estas especies.

Debido a sus favorables características climáticas, la VIII Región de Chile es la que presenta la mayor superficie plantada con pino y eucalipto en el país. Si bien a lo largo de la región las plantaciones se distribuyen en un área con un régimen de lluvias similar, es posible observar notorias diferencias en las propiedades físicas de los suelos (Prado y Barros, 1989). Entre las distintas propiedades físicas, destaca la notoria variación observada en las capacidades de retención de humedad. Esta característica adquiere mayor relevancia si se considera que a igual cantidad de agua caída y régimen climático, la disponibilidad de agua para las distintas especies vegetales está determinada en gran medida por la retención de agua que experimentan los suelos durante la estación de lluvias.

Sin bien existen algunos trabajos en los cuales se ha estudiado el contenido de humedad de los suelos en determinados sitios forestales de Chile (Huber y Oyarzún 1985; Fuentes *et al.*, 1994;

Huber *et al.*, 1998), y se ha logrado determinar la disponibilidad efectiva de agua en ellos, habitualmente en la caracterización hídrica del sitio sólo se emplea la cantidad promedio de agua caída. Esto hace que en algunos casos la estimación de la potencialidad de un sitio, o la comparación entre dos o más, se realice en forma poco precisa.

Debido a esto, este trabajo tuvo como objetivo principal estudiar la relación entre el agua caída, las propiedades del suelo y la humedad disponible. Con este fin se seleccionaron tres sectores de la VIII Región de Chile, similares en términos climáticos, pero con propiedades edáficas distintas. A partir de las mediciones realizadas durante tres años consecutivos, se caracterizó la distribución espacial y temporal de las lluvias en cada uno, comparándola luego con los niveles de humedad registrados en el suelo. Los resultados obtenidos y las implicancias asociadas a ellos se discuten a lo largo del trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionaron tres sectores representativos de las condiciones de Secano Costero, Valle Central y Precordillera de la VIII Región de Chile, y se realizaron periódicas mediciones entre los meses de septiembre de 1993 y agosto de 1996. El sitio seleccionado en el Secano Costero se encuentra cercano a la localidad de Colcura, aproximadamente en los 37°00' latitud sur y 73°10' longitud oeste (Figura 1), y entre los 50 y 150 msnm. El sitio seleccionado en el Valle Central, cercano a la localidad de Colli-

pulli, se encuentra aproximadamente en las coordenadas 37°45' latitud sur y 72°20' longitud oeste, y entre los 150 y 250 msnm. El tercer sitio, asociado a la condición de Precordillera, se encuentra cercano a la localidad de Santa Bárbara, aproximadamente en las coordenadas 37°35' latitud sur y 72°00' longitud oeste, y cotas que fluctúan entre los 350 y 450 msnm.

El suelo del sitio Secano Costero, un Ultisol de la serie Curanipe, ocupa posiciones onduladas a quebradas en la Cordillera de la Costa. El suelo del sitio de Valle Central, un Ultisol de la serie Collipulli, se encuentra en posiciones de lomajes en la depresión intermedia. El suelo de Precordillera, un Andisol de la serie Santa Bárbara, ocupa los sectores más elevados del piedmont de la región. El suelo de cada sitio fue descrito mediante la realización de calicatas. Las principales características de cada uno se resumen en el Cuadro 1. En el cuadro se observa que el contenido de materia orgánica es la principal diferencia entre los suelos empleados. El sitio de Precordi-

llera tiene en el primer horizonte 14,3% de materia orgánica, valor superior al encontrado en los otros dos suelos, condición que tiene un efecto directo en la humedad aprovechable.

En cada sitio se registraron diariamente las precipitaciones y las temperaturas máximas y mínimas. El contenido de humedad del suelo se midió tomando dos muestras por estrata, cada tres meses durante el primer año, y mensualmente durante los dos restantes. A cada muestra se le determinó su peso húmedo, y luego de permanecer en estufa a 105 °C por 24 h, su peso seco. Por diferencia entre estos dos valores se calculó el contenido de humedad. Luego, utilizando el valor del contenido de humedad y las propiedades de retención, densidad aparente (método del cilindro) y profundidad de cada estrata, se estimó la humedad disponible en cada fecha, expresada como lámina de agua. La humedad disponible se definió como la cantidad de agua almacenada en el suelo entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

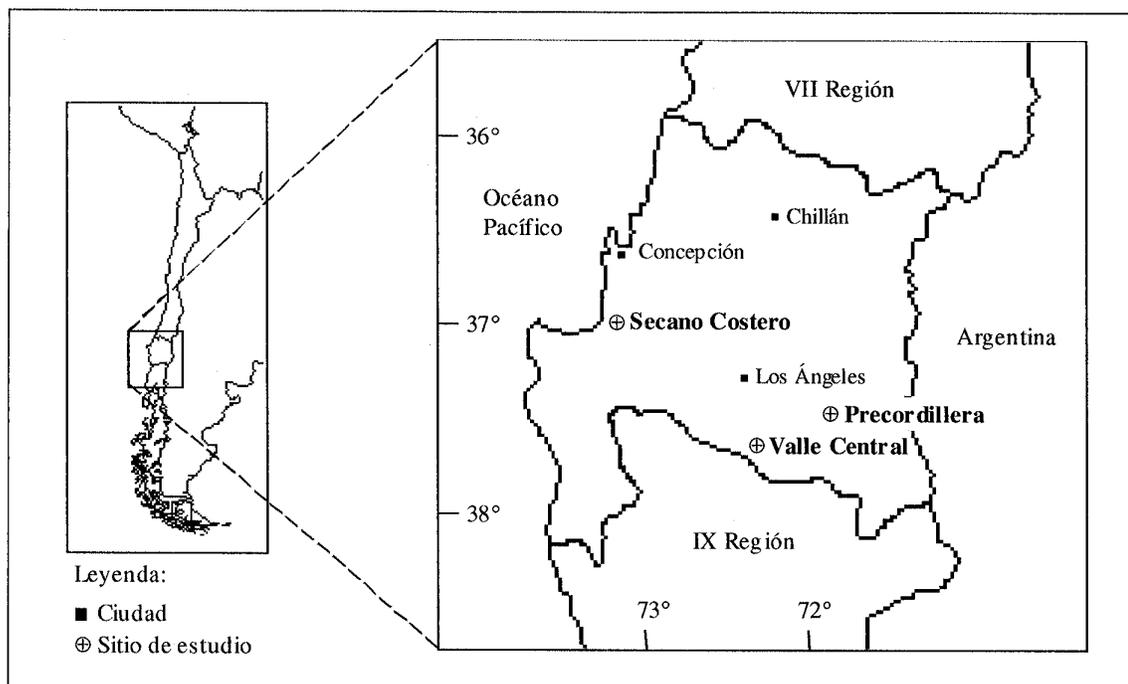


Figura 1. Sitios de estudio (VIII Región, Chile).
Figure 1. Study sites (VIII Region, Chile).

Cuadro 1. Propiedades físicas de los suelos en los sitios seleccionados
Table 1. Physical properties of the soils at the selected sites

Sitio estrata (cm)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Capacidad de campo ¹ (cm ³ cm ⁻³)	Punto de marchitez permanente ¹ (cm ³ cm ⁻³)	Humedad aprove- chable (cm ³ cm ⁻³)
Secano Costero					
0-15	6,7	1,1	0,38	0,22	0,16
15-38	2,7	1,2	0,40	0,29	0,11
38-72	0,9	1,1	0,47	0,37	0,10
72-107	0,8	1,2	0,45	0,36	0,09
107-132	0,7	1,2	0,41	0,32	0,09
Valle Central					
0-20	5,5	1,1	0,50	0,30	0,20
20-40	2,2	1,2	0,48	0,34	0,14
40-65	1,5	1,3	0,44	0,31	0,13
65-90	1,1	1,2	0,45	0,33	0,12
90-120	1,0	1,2	0,42	0,30	0,12
Precordillera					
0-18	14,3	0,7	0,67	0,33	0,34
18-37	6,2	0,6	0,37	0,17	0,20
37-72	4,3	0,5	0,32	0,13	0,19
72-105	2,6	0,5	0,28	0,10	0,18
105-150	1,1	0,6	0,24	0,07	0,17

¹Determinado de acuerdo al método de Rawls *et al.* (1982).

En cada sitio se plantó eucalipto a una densidad de 1.428 árboles por hectárea (3,5 x 2,0 m) durante la primavera de 1993. Los suelos se mantuvieron libres de malezas mediante control con herbicidas, y se realizó una aplicación de fertilizantes al establecimiento, mediante una formulación general completa por planta de 50 g de N, 50 g de P₂O₅, 20 g de MgO, 24 g de S, 50 g de K₂O y 3,3 g de B, mediante una combinación de nitrato de amonio neutralizado, superfosfato triple, sulphomag, KCl y Bórax. La misma aplicación se repitió al segundo y tercer año.

Para efectos de análisis, el estudio se dividió en tres períodos o años de estudio. El año 1 abarcó el período comprendido entre septiembre de 1993 y agosto de 1994. El año 2 se extiende desde septiembre de 1994 hasta agosto de 1995, y el año 3 entre septiembre de 1995 y agosto de 1996. El

análisis estadístico de las variables estudiadas se realizó mediante análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento climático

En términos climáticos, el análisis de las temperaturas registradas en los tres sectores analizados exhiben una marcada fluctuación debido a la predominancia del anticiclón subtropical durante el verano, y al avance de masas de aire polar durante el invierno. Esto hace que, tal como se observa en el Cuadro 2, la temperatura media más alta se registre en el mes de enero, y la del mes más frío, en julio. El sector de Secano Costero presentó una menor variación térmica debido al efecto regulador que impone el océano. Durante el estudio, la temperatura media en enero fue de

16,6 °C y de 9,0 °C en julio, con una oscilación de 7,6 °C. Hacia el interior, la cordillera de Nahuelbuta atenúa el efecto moderador del océano y se hace más evidente la continentalidad. Producto de esto, en el sector del Valle Central hay una fluctuación térmica más pronunciada, de 10,9 °C. En el otro extremo, el sector situado en Precordillera mostró el mayor grado de continentalidad, con una oscilación de 11,3 °C.

Cuadro 2. Temperaturas medias registradas durante el período de estudio, 1993-1996

Table 2. Mean temperatures recorded during the study period, 1993-1996

Mes	Secano costero	Valle central	Precordillera
Septiembre	11,0	10,3	11,1
Octubre	12,1	12,6	12,5
Noviembre	13,7	14,7	14,6
Diciembre	15,7	17,9	18,2
Enero	16,6	19,0	19,3
Febrero	16,1	18,9	18,8
Marzo	15,2	16,6	16,9
Abril	13,0	13,5	13,0
Mayo	11,7	11,0	11,2
Junio	9,8	8,8	8,6
Julio	9,0	8,1	8,0
Agosto	9,1	8,8	8,4
Media anual	12,75	13,36	13,38

Debido a que los procesos de evaporación y evapotranspiración están directamente relacionados con la temperatura ambiental, y con el objetivo de descartar el posible efecto de esta variable en el contenido de humedad de los suelos, los registros de temperatura se sometieron a un análisis de varianza. Tal como se puede observar en el Cuadro 3, en ninguno de los tres años analizados hubo diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas medias registradas en los sitios, confirmando de esta forma la homogeneidad de los tres sectores estudiados en términos de las temperaturas medias.

Del análisis en conjunto de las temperaturas y las precipitaciones registradas en cada sitio es posible diferenciar dos períodos a lo largo del año. Entre los meses de octubre y marzo (primavera-verano), los sitios se caracterizan por estar bajo un régimen cálido y seco, a diferencia de lo observado entre los meses de abril y septiembre (otoño-invierno), donde se observa un régimen frío y lluvioso. En forma gráfica, en la Figura 2 se presenta el análisis de las temperaturas medias y las precipitaciones de acuerdo al índice de aridez de Gaussen-Bagnouls (Peña y Schneider, 1982). Según este índice, un mes se considera seco cuando el doble de la temperatura media mensual supera la precipitación caída en el mes, y se considera húmedo, si el doble de la tempe-

Cuadro 3. Análisis de varianza de las temperaturas medias mensuales registradas durante el período de estudio ($\alpha = 0,05$)

Table 3. Analysis of variance of mean monthly temperatures recorded during the study period ($\alpha = 0.05$)

Año	Sector	Promedio (°C)	F	Valor P	F crítico
1	Secano Costero	12,7	0,23	0,80	3,28
	Valle Central	13,6			
	Precordillera	13,5			
2	Secano Costero	12,9	0,05	0,95	3,28
	Valle Central	12,9			
	Precordillera	13,3			
3	Secano Costero	12,7	0,17	0,84	3,28
	Valle Central	13,6			
	Precordillera	13,3			

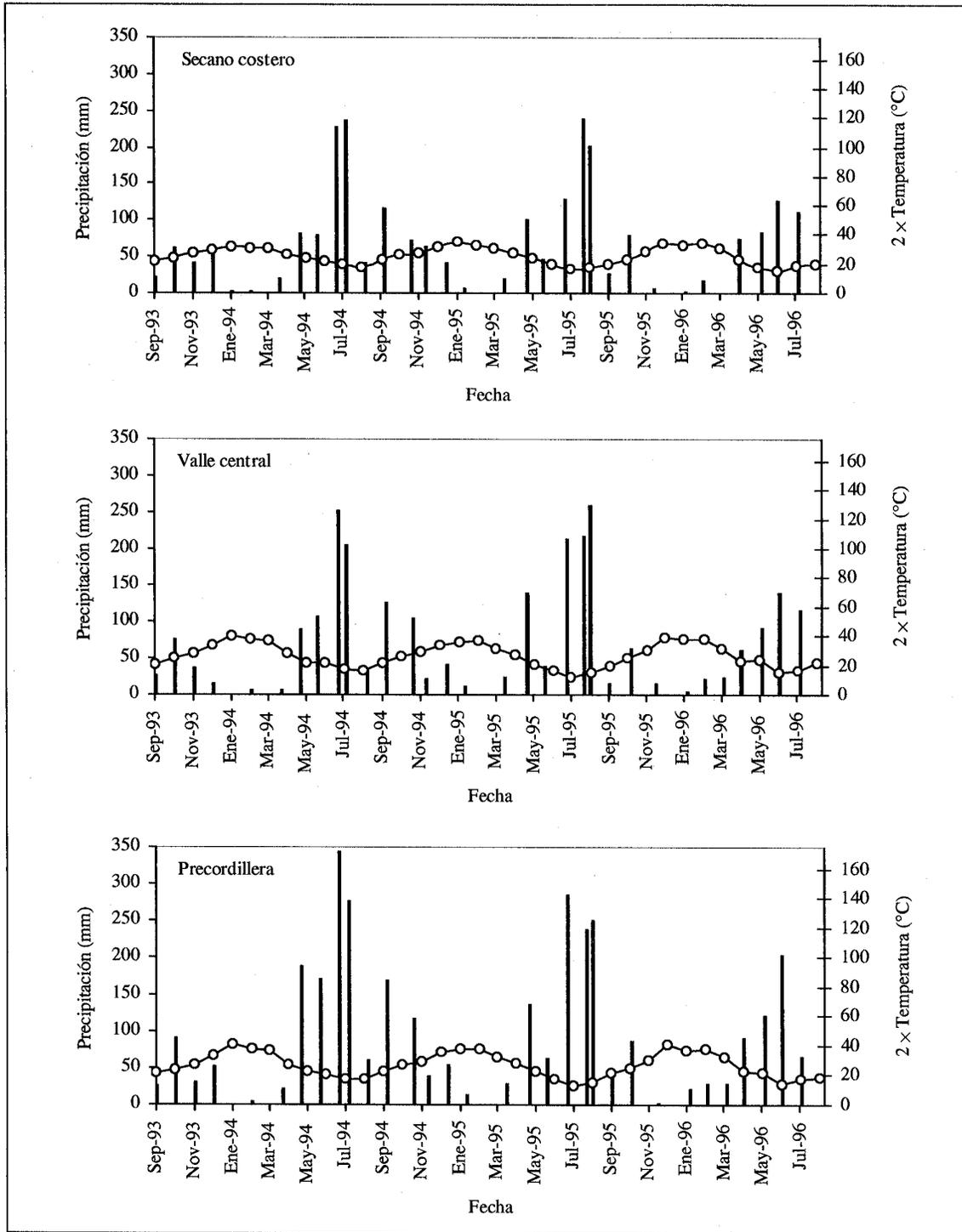


Figura 2. Comparación entre precipitación mensual y temperatura media de acuerdo al índice de Gausse-Bagnouls.

Figure 2. Comparison of monthly precipitation and mean temperature according to Gausse-Bagnouls index.

ratura media mensual es inferior a la precipitación caída en el mes. De esta forma, si en la figura la columna supera en magnitud a la línea en una fecha dada, el mes es húmedo, de lo contrario es seco. A partir de los datos analizados, se observa que el período seco tuvo una duración de cinco meses por año en los tres sitios. En particular, si bien entre enero y marzo los niveles de agua caída son mayores en el interior de la región, las temperaturas medias también lo son, lo cual atenúa el efecto de las precipitaciones.

Análisis en función del agua caída

En términos de las precipitaciones, en el Cuadro 4 se indican los valores promedio mensuales registrados en cada sitio y en el Cuadro 5, se presenta el promedio de días con lluvia y la magnitud

del agua caída a escala diaria. El análisis de los resultados indica que si bien los montos anuales mostraron una alta variación entre los tres años de estudio, la distribución temporal de las precipitaciones se mantuvo prácticamente constante. En las estaciones de otoño e invierno se registró alrededor del 80% del monto anual de agua caída, mientras que las estaciones de primavera y verano sólo el 20% restante. Esta marcada concentración de las lluvias es una de las principales características del clima de la región.

En este caso en particular, y debido a la sequía que afectó a gran parte del país, en los tres sitios se observaron precipitaciones anuales inferiores a la normal, con un déficit pluviométrico que bordeó el 25% durante el primer año, el 10% en el segundo año y alrededor del 40% el tercer año.

Cuadro 4. Precipitación (mm) promedio mensual y anual registrada durante el período de estudio, 1993-1996

Table 4. Monthly and annual mean precipitation (mm) recorded during the study period, 1993-1996

	Mes												Total anual
	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	
Secano Costero													
Año 1	22	60	42	55	2	3	20	80	78	227	236	41	866
Año 2	116	71	63	41	7	0	19	101	46	129	238	201	1.031
Año 3	26	79	7	1	1	18	0	75	84	126	111	194	722
Promedio	55	50	37	32	3	7	13	85	69	161	195	145	873
Normal ¹	87	65	42	30	21	14	25	58	181	216	222	152	1.111
Valle Central													
Año 1	27	76	36	15	0	6	7	90	107	253	204	35	855
Año 2	125	105	21	41	11	0	25	139	40	212	218	258	1.195
Año 3	15	62	15	0	5	22	25	60	92	140	114	141	691
Promedio	55	81	24	19	6	9	19	97	79	202	179	145	914
Normal ¹	111	87	58	42	37	20	32	82	229	209	200	134	1.239
Precordillera													
Año 1	25	91	30	52	0	4	22	187	172	344	276	60	1.262
Año 2	169	118	38	53	13	1	28	135	63	286	238	251	1.392
Año 3	48	87	2	0	22	29	28	91	121	204	64	222	915
Promedio	81	98	23	35	12	11	26	138	118	278	193	177	1.190
Normal ¹	126	106	73	64	46	32	39	92	254	259	241	198	1.529

¹Los valores normales de precipitación se obtuvieron a partir de registros de la Dirección Meteorológica de Chile (1993).

Cuadro 5. Promedio de días con lluvia y agua caída en días con lluvia durante el período de estudio, 1993-1996**Table 5. Mean rainy days and rainfall on rainy days during the study period, 1993-1996**

Mes	Promedio de días con lluvia por mes			Promedio de agua caída en días de lluvia		
	Secano costero	Valle central	Precordillera	Secano costero	Valle central	Precordillera
Septiembre	7,0	10,0	9,7	7,83	5,54	8,35
Octubre	12,0	13,0	10,7	5,85	6,25	9,23
Noviembre	6,0	6,7	4,7	6,23	3,63	4,97
Diciembre	4,0	4,7	4,7	8,08	4,03	7,52
Enero	1,7	2,7	1,3	1,98	2,06	8,63
Febrero	2,3	2,3	1,7	3,04	3,90	6,66
Marzo	5,0	3,7	3,0	2,62	5,13	8,60
Abril	10,3	9,3	16,3	8,26	10,34	8,43
Mayo	7,7	9,3	18,7	9,01	8,51	6,34
Junio	16,0	15,3	20,0	10,04	13,15	13,90
Julio	15,7	15,0	17,7	12,43	11,91	10,91
Agosto	13,3	12,0	18,7	10,87	12,05	9,50
Total	101,0	104,0	127,0			

En todo el período de estudio, el déficit pluviométrico promedio respecto de un año normal alcanzó valores de 21; 26; y 22%, en los sectores del Secano Costero, Valle Central y Precordillera, respectivamente.

En un año normal en el sector del Valle Central, mayo es el mes más lluvioso con 229 mm y el más seco es febrero con 20 mm (Cuadro 4). Durante el período de estudio, junio fue en promedio el mes más lluvioso con 202 mm y el más seco fue enero con 6 mm. En el caso del sector ubicado en el Secano Costero, en un año normal, julio y febrero son los meses más y menos lluviosos, con 222 y 14 mm, respectivamente. En los tres años, en promedio julio presentó una mayor pluviometría con 195 mm, y enero la menor, con 3 mm. Finalmente, en el sitio de Precordillera en un año normal, junio y febrero son los meses más y menos lluviosos, con 259 y 32 mm, respectivamente. En este caso coincidieron los meses de mayor y menor registro, con 278 y 11 mm, respectivamente.

Al comparar los tres sectores estudiados en términos de la cantidad de agua caída durante el período de estudio, es posible señalar que la precipitación promedio anual en el sitio de Precordillera fue de 1.190 mm, seguida por el Valle Central con 914 mm, y el Secano Costero con 873 mm. Según esto, el sector de Precordillera acumuló 30 y 36% más agua caída que los sectores del Valle Central y del Secano Costero, respectivamente. La principal causa del incremento en el agua caída en el sitio Precordillera se debe al llamado efecto de aproximación debido a la presencia de la cordillera de Los Andes. Sin embargo, pese a la diferencia observada en las cifras promedio, no se observaron diferencias significativas entre ellos de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 6), es decir, los tres sitios estudiados también resultan estadísticamente homogéneos en términos de las precipitaciones.

De acuerdo a estos resultados, si la evaluación hídrica de los sitios se realiza exclusivamente en función del agua caída, aun cuando se observa

Cuadro 6. Análisis de varianza de la precipitación media mensual registrada durante el período de estudio ($\alpha = 0,05$)**Table 6. Analysis of variance of monthly mean precipitation recorded during the study period ($\alpha = 0.05$)**

Año	Sector	Promedio (mm mes ⁻¹)	F	Valor P	F crítico
1	Secano Costero	72,2	0,52	0,60	3,28
	Valle Central	71,3			
	Precordillera	105,2			
2	Secano Costero	85,9	0,34	0,71	3,28
	Valle Central	99,6			
	Precordillera	116,0			
3	Secano Costero	60,2	0,31	0,74	3,28
	Valle Central	57,6			
	Precordillera	76,3			

que el sector de Precordillera aparentemente dispondría de entre un 30 y un 36% más de agua que los sectores ubicados en el Valle Central y el Secano Costero, en términos estadísticos, los tres sitios resultaron ser equivalentes en términos de la cantidad de agua aportada en cada uno por la atmósfera. A su vez, dado que los tres sitios presentaron prácticamente la misma duración del período de sequía, la cual coincide con la época de mayor crecimiento vegetativo (noviembre a marzo), las características de los suelos en cada sitio, en particular las relacionadas a su capacidad de retención de humedad, puede resultar fundamental en el crecimiento de los árboles, al determinar en gran medida el agua disponible para ese período.

Análisis en función del contenido de humedad del suelo

La distribución estacional de las precipitaciones se vio claramente reflejada en los contenidos de humedad medidos en el suelo. En la Figura 3 se presenta el nivel de humedad registrado en cada sector, en función de la profundidad del suelo y la fecha de medición. En la figura se aprecia claramente que desde el mes de octubre en adelante, y en forma cíclica, se observó una marcada disminución del contenido de humedad. En los sitios del Secano Costero y del Valle Central, la

caída en los contenidos de humedad es notoria y se proyecta en profundidad durante los meses de verano, sin embargo, en el suelo del sitio de Precordillera, la caída en los contenidos de humedad es menos abrupta, se observa un menor lapso de tiempo con bajos niveles de humedad y el avance en profundidad del frente de secado se ve limitado. La principal causa de la disminución en los contenidos de humedad durante los meses de primavera y verano se debe a que los consumos por evapotranspiración sobrepasan los aportes de las lluvias (CIREN, 1990). El notorio aumento de la evapotranspiración en las estaciones de primavera y verano en la zona es originado por el ascenso de las temperaturas, el aumento de la velocidad del viento, la disminución de la humedad relativa del aire y la máxima actividad fisiológica de los árboles (Donoso, 1981; Peña y Schneider, 1982). Por otra parte, es necesario considerar la demanda hídrica, producto de la evapotranspiración de las plantas de eucalipto, ya que se ha demostrado que el elevado consumo de agua de estas especies de rápido crecimiento, puede llegar a ser la principal causa en la disminución de las reservas de agua en el suelo (Calder, 1986).

Como era de esperar, los niveles máximos de humedad en el suelo se registraron durante los meses de invierno, con valores promedio iguales

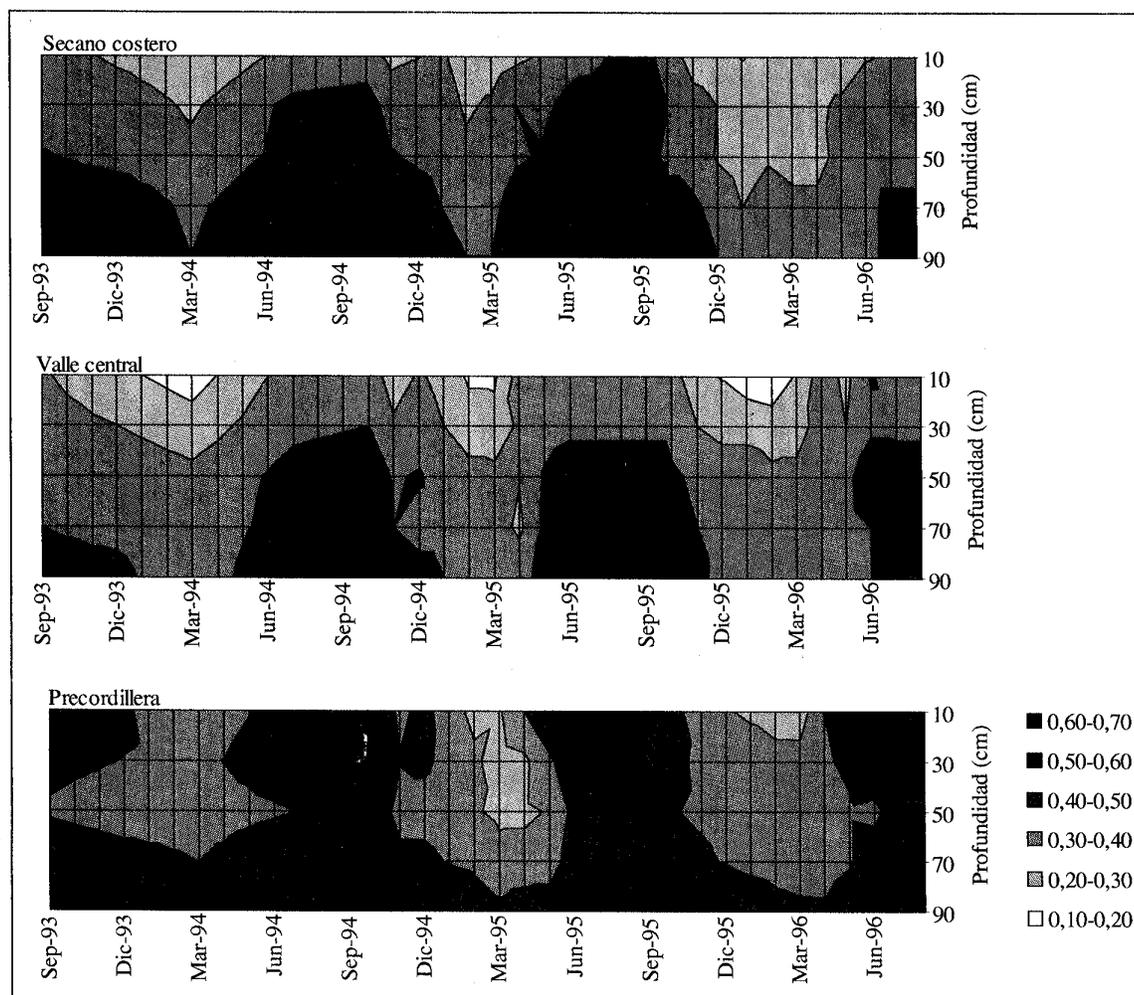


Figura 3. Variación temporal y espacial del contenido de agua en el suelo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) en los tres sitios estudiados.
Figure 3. Temporal and spatial variation of soil water content ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) at the three study sites.

a 47; 44; y 50%, en los sitios del Secano Costero, Valle Central y Precordillera, respectivamente. El déficit pluviométrico observado durante el tercer año, el cual bordeó el 40% en los tres sitios, hizo que se registraran los niveles de humedad más bajos de todo el período de estudio, sin embargo, tal como se observa en la Figura 3, el sitio de Precordillera muestra en forma permanente, mayores contenidos de humedad, con niveles siempre superiores al 40% durante el invierno.

Debido a que no toda el agua presente en un suelo está energéticamente disponible para las plantas, se calculó el contenido de humedad disponible, el cual es función del contenido de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente. De acuerdo a esto, la Figura 4 muestra la variación en el contenido de humedad disponible a lo largo de todo el período de estudio, en mm de agua por metro de suelo. La figura hace evidente la estrecha relación que existe entre las precipitaciones (en barras) y la humedad disponible en el suelo.

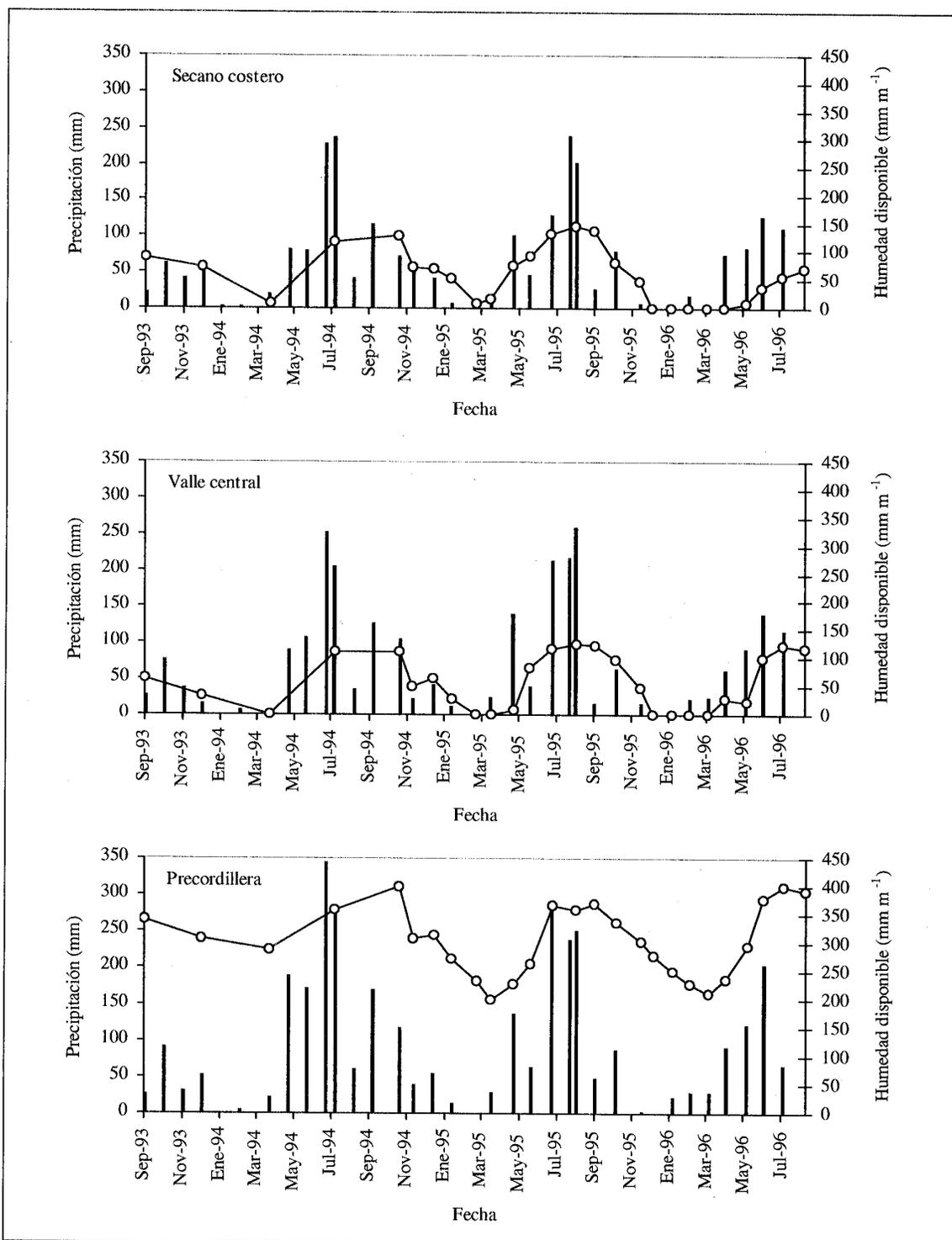


Figura 4. Variación temporal de la precipitación y la humedad disponible en los tres sitios estudiados.
 Figure 4. Temporal change of precipitation and available soil water at the three study sites.

Durante el primer año, el mes de marzo registró el contenido mínimo de humedad disponible en el Valle Central (0 mm m^{-1}) y en el Secano Costero (7 mm m^{-1}). Entre enero y marzo, la ocurrencia de precipitaciones aisladas en estos sitios fue inferior a los 10 mm, siendo este aporte despreciable si se consideran los niveles promedio de evapotranspiración reportados por CIREN (1990) en esas fechas. A diferencia de lo anterior, en el sitio de Precordillera se observaron niveles de humedad disponible superiores a los 280 mm m^{-1} durante el primer año. El suelo fue capaz de retener una mayor cantidad del agua caída durante el invierno, debido al elevado contenido de materia orgánica y porosidad, lo que favorece la infiltración del agua y reduce el escurrimiento superficial.

En el segundo año se observó una situación similar, con niveles de humedad máximos en el período junio-septiembre y mínimos en el período febrero-marzo. Durante el invierno la humedad disponible en el sitio de Precordillera superó los 300 mm m^{-1} , mientras que en los sitios ubicados en el Secano Costero y en el Valle Central su valor no alcanzó a llegar a los 200 mm m^{-1} . En cuanto a los niveles mínimos, nuevamente los sitios ubicados en el Valle Central y el Secano Costero mostraron valores cercanos a cero durante el verano, situación explicable si se considera que en estudios realizados en sectores cercanos, específicamente en la zona de Collipulli, IX Región, la evapotranspiración durante el período diciembre-febrero puede representar 40% de la evapotranspiración anual en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Huber *et al.*, 1998). A lo anterior se debe agregar que menos del 15% de la precipitación total anual cae en este período del año.

Durante el tercer año se registraron precipitaciones inferiores a las normales en la región (Dirección Meteorológica de Chile, 1997). En los sitios del Valle Central y del Secano Costero se repitió la tendencia observada en los años anteriores, con contenidos de humedad disponible aún menores entre noviembre y marzo, y un ex-

tenso período con valores iguales a cero. En estos sitios, en relación al mismo período en un año normal, el déficit de agua caída fue de un 35 y un 21 %, respectivamente. Sin embargo, en el sitio de Precordillera la disminución del contenido de humedad disponible fue menos marcada gracias a las características físicas del suelo, las que permitieron un mayor almacenamiento del agua caída.

A diferencia de lo ocurrido con las variables anteriormente analizadas, en este caso, sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios (Cuadro 7). Si los sitios estudiados se comparan en términos de la humedad disponible registrada en el suelo, se puede señalar que en el sitio ubicado en Precordillera se observaron en promedio, niveles de humedad disponible 420 y 440% mayores que los registrados en los sitios del Secano Costero y Valle Central, respectivamente. Entre estos dos últimos no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Si bien los niveles de agua caída en el sitio de Precordillera no fueron estadísticamente superiores que los medidos en los otros dos sitios, la principal razón por la cual los niveles de humedad disponible fueron superiores se debe al mayor contenido de materia orgánica en el suelo del sitio de Precordillera.

Los resultados anteriores muestran que si la evaluación de las potencialidades hídricas de los sitios estudiados se realiza exclusivamente en términos de agua caída, los tres sectores estudiados resultan ser equivalentes en términos estadísticos. Sin embargo, si la comparación se realiza en términos de la humedad disponible registrada en el suelo, el sitio de Precordillera muestra valores superiores al menos en un 400% a los otros dos sitios. De esta manera, y en este caso en particular, al evaluar la disponibilidad hídrica en el sitio exclusivamente en función del agua caída, se subestima la potencialidad del sitio de Precordillera, y se le ubica al mismo nivel que los sectores estudiados en el Secano Costero y el Valle Central.

Cuadro 7. Análisis de varianza de la humedad disponible (mm m^{-1}) registrada durante el período de estudio ($\alpha = 0,05$)**Table 7. Analysis of variance of available soil water recorded during the study period ($\alpha = 0.05$)**

Año	Sector	Promedio (mm m^{-1})	F	Valor P	F crítico
1	Secano Costero	72,1	50,59	1,3E-05	4,26
	Valle Central	52,6			
	Precordillera	324,6			
2	Secano Costero	80,0	56,28	2,3E-10	3,35
	Valle Central	59,3			
	Precordillera	294,4			
3	Secano Costero	36,3	88,26	5,7E-14	3,28
	Valle Central	55,0			
	Precordillera	306,4			

En términos de su efecto sobre el desarrollo de las especies forestales ahí plantadas, esta mayor potencialidad del sitio de Precordillera fue constatada por Bonomelli y Suárez (1999). La altura promedio y diámetro de las plantas medido a 1,3 m del suelo fueron un 26% y un 37% mayores en el sector de Precordillera que los observados en los sectores restantes.

CONCLUSIONES

En este estudio, tanto en el Secano Costero, como en el Valle Central y la Precordillera, la variación en el contenido de humedad del suelo estuvo determinada fundamentalmente por la distribución de las precipitaciones. En este marcado comportamiento estacional, se distingue claramente un período con abundantes lluvias y bajas temperaturas, y otro con condiciones opuestas. Un 80% de la precipitación total anual se acumuló entre abril y septiembre de cada año, produciéndose, entre octubre y marzo, un extenso período de sequía y un descenso drástico en los contenidos de humedad del suelo.

Los tres sectores estudiados no presentaron diferencias estadísticamente significativas en términos de las temperaturas medias registradas. Por

otra parte, si bien el valor de la precipitación promedio anual en el sitio de Precordillera es un 30% superior al registrado en los sectores del Secano Costero y del Valle Central, en ninguno de los tres años estudiados se observaron diferencias estadísticamente significativas con los otros dos sectores. Sin embargo, al comparar los niveles de humedad disponibles en el suelo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cada uno de los años analizados. De acuerdo a esto, si bien la magnitud de las precipitaciones registradas en los tres sitios es la misma, la humedad disponible en el suelo del sector de Precordillera resultó ser en promedio un 420 y 440% mayor que la observada en los sectores del Secano Costero y del Valle Central, respectivamente. La principal causa de este fenómeno es el alto contenido de materia orgánica existente en el suelo de Precordillera.

Debido a esto, los resultados aquí presentados demuestran la conveniencia de considerar en la caracterización de un sitio de aptitud forestal, además de los factores climáticos, aquellos relacionados con la retención del agua en el suelo, a fin de evaluar con mayor exactitud la disponibilidad real de agua para las plantas.

LITERATURA CITADA

- Bonomelli, C. y D. Suárez. 1999. Fertilización del Eucalipto. I. Efecto sobre la acumulación de biomasa. *Ciencia e Investigación Agraria* 26:1-10.
- Calder, I. 1986. Water use of *Eucalyptus* - a review with special reference to South India. *Agric. Water Manage.* 15:333-342.
- CIREN, 1990. Atlas agroclimático de Chile, Regiones IV a IX. 67 p. Publicación Nº 87. CIREN, Santiago, Chile.
- Dirección Meteorológica de Chile. 1993. Pluviometría de Chile. 330 p. Departamento de Climatología. Santiago, Chile.
- Dirección Meteorológica de Chile. 1997. Anuario climatológico del año 1996. 255 p. Departamento de Climatología. Santiago, Chile.
- Donoso, C. 1981. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente. 368 p. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Fuentes, J., J. Hernández, J. Caldentey, y H. Castillo. 1994. Efectos sobre la redistribución de las precipitaciones y los contenidos de humedad del suelo por la transformación de un bosque de *Nothofagus obliqua* a una plantación de *Pinus radiata*, en la cordillera de Nahuelbuta. *Ciencias Forestales* 9:23-39.
- Huber, A., y C. Oyarzún. 1985. Estudio de los componentes del balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don. *Chile Forestal* 10:18-19.
- Huber, A., P. Barriga, y 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.
- INFOR. 1999. Estadísticas forestales 1998. Boletín Estadístico Nº 68. 121 p. Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- Peña, O., y H. Schneider. 1982. Climatología. 288 p. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Prado, J. y S. Barros. 1989. *Eucalyptus*, principios de silvicultura y manejo. 199 p. INFOR, Santiago, Chile.
- Rawls, W., D. Brakensiek, y K. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25: 1316-1321.