

Variaciones Anuales en Precipitación, Escurrimiento e Intercepción en un Bosque Adulto de *Pinus radiata*¹

A.W. Huber*, C.E. Oyarzun*

ABSTRACT

Temporal variations of the different components of the redistribution of rainfall in throughfall, stemflow and interception were quantified and analyzed in a mature *Pinus radiata* stand in southern Chile. During the period studied (1982-1988), water inflow due to throughfall and stemflow represented $73.9 \pm 2.6\%$ and $10.8 \pm 1.9\%$ of the incidental precipitation. Interception loss was estimated as $15.3 \pm 4.0\%$. Thus, the amount of water that effectively reached the surface was equivalent to $84.7 \pm 4.9\%$ of the total annual precipitation. Losses due to interception presented large variation and the percentage values fluctuated between 10.6 and 22.1 of the annual precipitation. The interception of the forests is mainly regulated by temporal distribution and by the amount and intensity of precipitation.

COMPENDIO

En un bosque adulto de *Pinus radiata* ubicado en el sur de Chile, fueron cuantificadas y analizadas las variaciones temporales de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones en precipitación directa, escurrimiento fustal e intercepción. Durante el periodo de mediciones (1982-1988) los aportes de agua por la precipitación directa y el escurrimiento fustal representaron el $73.9 \pm 2.6\%$ y $10.8 \pm 1.9\%$ de la precipitación incidente. Las pérdidas por intercepción fueron estimadas en $15.3 \pm 4\%$, por lo que la cantidad que efectivamente alcanzó la superficie fue equivalente al $84.7 \pm 4.9\%$ de la precipitación total anual. Las pérdidas por intercepción presentaron grandes variaciones anuales y sus valores porcentuales fluctuaron entre el 10.6 y 22.1 de la precipitación anual. La intercepción del bosque está regulada principalmente por la distribución temporal, la cantidad e intensidad de las lluvias.

INTRODUCCION

La intercepción de la precipitación de los bosques representa cantidades importantes en los aportes de agua al suelo (5, 11). Cuantificar estas pérdidas es necesario para calcular el balance hídrico de un lugar. Además, constituye un pre-requisito esencial para realizar predicciones cuantitativas de los efectos de la reforestación o deforestación sobre la economía hídrica de un lugar.

Las plantaciones de *P. radiata* en Chile actualmente alcanzan 1 200 000 ha y se extienden entre los paralelos 30 y 41° latitud sur, incluyendo zonas con precipitaciones de 500 hasta 2 500 mm anuales.

En Chile, esta conífera ha reemplazado extensas áreas de vegetación nativa produciendo alteraciones

en las reservas de agua del suelo, especialmente en zonas de menor pluviometría (14). Resultados similares han sido observados por Smith *et al* (15), Holmes y Colville (6, 7) y Allison y Hughes (1) en las mismas especies en Australia. A pesar de estos antecedentes, son muy escasos los estudios realizados sobre esta problemática en Chile, sólo Huber y Oyarzún (8, 9); Huber *et al* (10) y Oyarzún *et al* (12) han hecho algunos aportes al respecto.

En el presente estudio se cuantifican durante un período de siete años los montos mensuales y anuales de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones en un bosque adulto de *P. radiata* ubicado en el sur de Chile. También se analizan algunos de los factores responsables de las variaciones temporales.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio está ubicada en el fundo Huape Tres Esteros, 20 km al norte de la ciudad de Valdivia ($39^{\circ}48' S$, $73^{\circ}14' O$, altitud 15 msnm). La zona posee un clima del tipo templado lluvioso con influencia mediterránea (C_{fsb} según Koeppen), con una

1 Recibido para publicación el 27 de noviembre de 1989. Este estudio es parte de los proyectos 1040-85 de FONDECYT y R5-85-14 de la Dirección de Investigación de la Universidad Austral de Chile. Se agradece la valiosa cooperación prestada por el Centro Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile para la realización de este trabajo.

* Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

temperatura promedio anual de 12°C (oscilación anual entre 7°C, julio y 17°C, enero) y una precipitación media anual de 2 000 mm. Enero es el mes más seco con 60 mm y julio, el más húmedo con 400 mm.

El bosque de *P. radiata* fue plantado en 1957. Está ubicado sobre lomajes de ondulación suave con orientación noroeste y una pendiente promedio de 7%. La altura media del rodal es de 32 m, con una cobertura de copas del 72%, el diámetro promedio de las copas es de 3.7 m y una densidad de 733 árboles/ha. El área basal es de aproximadamente 60 m² y el diámetro a la altura del pecho es de 35 cm.

La intercepción de las precipitaciones fue determinada a partir de la relación:

$$I = P - (Pd + Pf)$$

donde:

I = Intercepción
P = Precipitación
Pd = Precipitación directa
Pf = Escurrimiento fustal

Las precipitaciones fueron registradas con un pluviógrafo Wilh. Lambrecht, instalado en un campo abierto a 500 m del lugar de estudio.

Las precipitaciones que llegaron al nivel del suelo del bosque fueron recogidas con una canaleta metálica en forma de V, similares a los propuestos por Delfs (3) de 30 m de largo y 13.5 cm de ancho (superficie de recolección 4.05 m²), que desembocaba a un registrador automático construido especialmente para este estudio.

El agua de escurrimiento fustal fue recogida mediante collares de plástico ajustados en espiral alrededor del tronco, según lo propuesto por Ford y Deans (4). Se midió el escurrimiento fustal de todos los

árboles que se encontraban a ambos lados de la canaleta y hasta una distancia de 5 m de ella. La precipitación recogida en esta forma fue conducida a un tubo central de PVC de 30 mm de diámetro para transportar el agua captada de 11 árboles a otro registrador. Mayores detalles de las instalaciones se pueden encontrar en Huber y Oyarzún (8, 9).

Las relaciones entre los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones y la precipitación se estudiaron mediante un análisis de regresión, utilizando para ello los valores mensuales y anuales del período comprendido entre los años 1982 y 1988. Además, se estableció la relación entre los montos mensuales de la intercepción y la intensidad de las precipitaciones, calculada esta por simple división entre el monto mensual de la precipitación y el número de días de lluvia.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 presenta la precipitación anual para cada uno de los siete años de estudio, los montos absolutos y relativos con respecto a la precipitación anual de la precipitación directa, escurrimiento fustal, precipitación neta e intercepción.

Los montos anuales de las precipitaciones tienen fuertes fluctuaciones que oscilan entre los 1 628 y 2 389 mm. La cantidad de agua que alcanza el nivel del suelo por precipitación directa y escurrimiento fustal, corresponde al 73.9 y 10.8% de la lluvia total, respectivamente. El agua interceptada por los árboles y que posteriormente es reintegrada a la atmósfera por evaporación, es de un 15.3%. Las variaciones anuales de todos estos componentes de la redistribución de las precipitaciones son consecuencia de las diferentes cantidades anuales de lluvia, del comportamiento del régimen pluviométrico anual y de las características de las precipitaciones individuales, especialmente de su intensidad y duración (5).

Cuadro 1. Montos anuales y promedios anuales de precipitación (P mm); cantidad absoluta (mm) y relativa (%) en relación con la precipitación anual de la precipitación directa (Pd), escurrimiento fustal (Pf), precipitación neta (Pn) e intercepción (I).

Año	P		Pd		Pf		Pn		I	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1982	2 389.1	1 824.3	76.4	310.7	13.0	2 135.0	89.4	254.1	10.6	
1983	1 627.7	1 229.2	75.5	202.3	12.4	1 431.5	87.9	196.2	12.1	
1984	2 059.3	1 472.6	71.5	240.9	11.7	1 713.5	83.2	345.8	16.8	
1985	2 165.2	1 651.3	76.3	253.1	11.7	1 904.4	88.0	260.8	12.0	
1986	2 341.0	1 696.7	72.5	236.8	10.1	1 933.1	82.6	407.5	17.4	
1987	1 841.2	1 386.0	75.3	159.4	8.7	1 545.4	83.9	295.8	16.1	
1988	1 364.1	953.9	69.9	107.6	7.9	1 061.3	77.8	302.8	22.2	
Promedio	1 969.7	1 459.1	73.9	215.8	10.8	1 674.9	84.7	294.7	15.3	

En los Cuadros 3, 4 y 5 se presentan los valores absolutos y porcentuales para cada mes con respecto a la precipitación total mensual, de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones.

Las precipitaciones presentan un marcado ciclo estacional, con montos mayores en invierno y menores

en verano (Cuadro 2). Esta estacionalidad también se repite con la precipitación directa (Cuadro 3) que tiene sus valores absolutos y relativos mayores durante el período más lluvioso del año (abril-setiembre). Durante estos meses la precipitación directa promedio mensual es siempre superior al 18% de las precipitaciones. Durante el resto del año la precipitación direc-

Cuadro 2. Montos mensuales y promedios mensuales de precipitación (mm).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	135.3	78.7	33.4	86.3	492.5	336.1	428.1	342.0	179.9	188.0	71.3	17.5
1983	94.2	4.1	84.9	166.5	164.0	310.0	241.9	194.3	239.1	88.0	20.5	20.2
1984	48.1	87.2	42.0	153.1	356.4	355.3	372.9	100.7	236.7	234.3	36.1	36.5
1985	114.3	54.2	103.1	241.5	427.3	333.0	269.5	206.5	182.4	225.7	105.2	32.4
1986	84.3	107.4	90.0	309.8	435.1	318.3	225.3	312.5	134.5	103.9	213.5	6.4
1987	12.0	16.8	35.8	146.9	128.5	308.3	485.5	223.9	181.3	205.7	46.8	49.7
1988	52.8	1.7	88.1	101.7	142.5	262.9	147.4	281.4	103.0	111.0	31.0	40.8
\bar{X}	77.3	50.0	68.2	172.3	306.6	317.7	310.1	238.8	179.6	146.7	74.9	29.1

ta disminuye debido a que las características de las lluvias y las condiciones meteorológicas fomentan ahora las pérdidas por interceptación, disminuyendo así la cantidad de agua que llega al suelo. Los montos promedios mensuales absolutos y relativos del escurrimiento fustal (Cuadro 4) muestran una tendencia

estacional similar ya que los porcentajes fluctúan entre el 5% (diciembre) y 14% (junio) de la precipitación promedio mensual. Los porcentajes de interceptación presentan un comportamiento estacional aún más marcado, ya que sus valores promedios mensuales fluctúan entre el 8% (junio) y 31% (diciembre) (Cua-

Cuadro 3. Montos mensuales y promedios mensuales de la precipitación directa (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	102.5 (76)	57.4 (73)	24.7 (74)	70.1 (81)	388.4 (78)	260.4 (78)	346.5 (81)	251.2 (79)	124.7 (69)	132.4 (70)	54.1 (75)	11.9 (68)
1983	69.9 (74)	1.5 (37)	61.9 (73)	124.1 (75)	126.7 (77)	250.7 (81)	175.0 (72)	143.7 (74)	183.9 (78)	57.7 (65)	15.4 (75)	15.7 (78)
1984	31.0 (65)	53.2 (61)	22.1 (53)	122.0 (80)	271.9 (76)	285.0 (80)	260.3 (70)	65.1 (65)	165.8 (70)	149.7 (64)	22.7 (63)	23.8 (65)
1985	79.9 (70)	27.7 (51)	77.2 (75)	182.0 (75)	331.9 (78)	279.5 (84)	220.1 (82)	156.8 (75)	131.2 (72)	69.2 (72)	72.0 (68)	23.8 (74)
1986	32.0 (38)	81.9 (76)	61.0 (68)	238.1 (77)	337.9 (78)	230.8 (73)	171.2 (76)	235.9 (76)	87.6 (65)	63.8 (61)	154.5 (72)	2.0 (31)
1987	7.7 (64)	9.8 (58)	17.9 (50)	111.8 (76)	86.3 (67)	249.8 (81)	371.1 (76)	161.8 (72)	153.6 (85)	159.7 (78)	27.2 (58)	29.3 (59)
1988	30.5 (58)	0.0 (0)	65.4 (74)	71.4 (70)	116.6 (82)	178.9 (68)	110.1 (75)	193.5 (69)	79.5 (77)	71.0 (64)	14.3 (46)	22.7 (56)
\bar{X}	50.5	33.1	47.2	131.4	237.1	247.9	236.3	172.6	132.8	100.5	51.5	18.5
%	(65)	(66)	(69)	(76)	(77)	(78)	(76)	(72)	(74)	(69)	(69)	(63)

dro 5). Este comportamiento se puede atribuir a que las características de intensidad y duración de las precipitaciones son muy diferentes a través del año, como también lo son las condiciones meteorológicas que regulan la evaporación

La intercepción promedio anual de 15.3% en general es inferior a la encontrada por otros autores para plantaciones de *P. radiata* de edades similares en Australia y Nueva Zelanda (16).

Las diferencias son atribuibles al hecho de que la plantación en estudio está ubicada en una zona con una precipitación promedio anual de 2 000 mm. Las lluvias durante el invierno pueden tener una intensidad alta y larga duración, características que hacen disminuir las pérdidas por intercepción (8), mientras que las citadas por Turner y Lambert (16) corresponden, en general, a zonas con una menor precipitación anual

La regresión lineal es la ecuación que representa mejor la relación entre la precipitación anual con la precipitación neta directa y el escurrimiento fustal. Las ecuaciones correspondientes están representadas en la Fig. 1. Todas las ecuaciones muestran coeficientes de regresión altamente significativos ($P > 0.01$). No se encontraron relaciones significativas entre los montos anuales de precipitación y los de intercepción

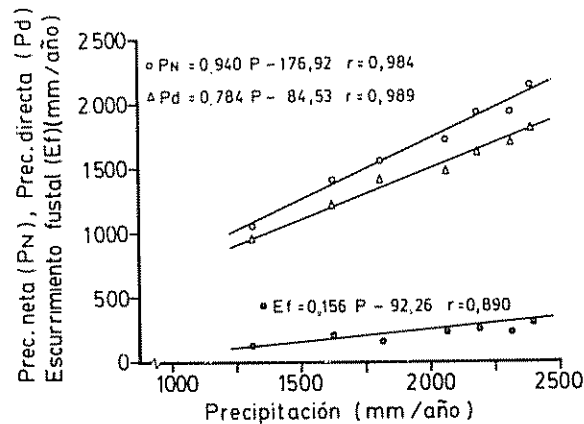


Fig 1 Relación entre los montos anuales de precipitación y la precipitación neta, precipitación directa y escurrimiento fustal.

Las Figs. 2 y 3 muestran los porcentajes de intercepción en función de los montos y de la intensidad de las precipitaciones mensuales, respectivamente. Ambas relaciones son funciones exponenciales negativas, similares a las encontradas por otros autores para

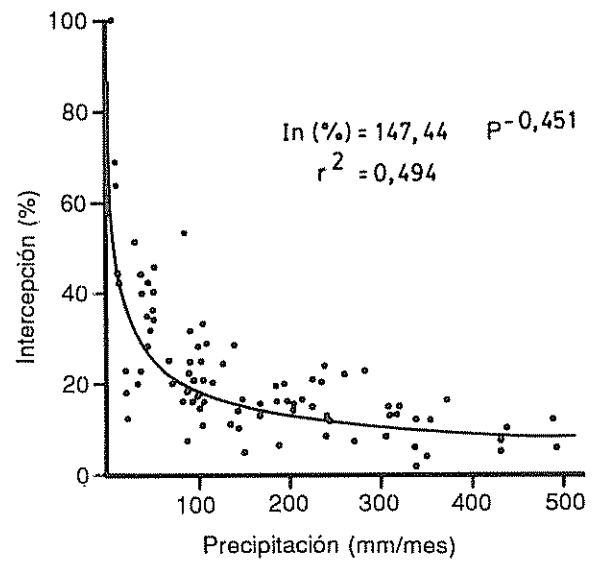


Fig 2 Relación entre los montos mensuales de precipitación (mm) y la intercepción (%)

otros bosques (2, 13). Estos resultados concuerdan con las conclusiones de Huber y Oyarzún (9) quienes encontraron una estrecha relación entre los montos, duración e intensidad de las lluvias individuales y continuas, y los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones para el mismo bosque.

Cuando los montos de precipitación mensual son inferiores a 25 mm, entonces la intercepción en general, es superior al 30%. Esta proporción tiende a esta-

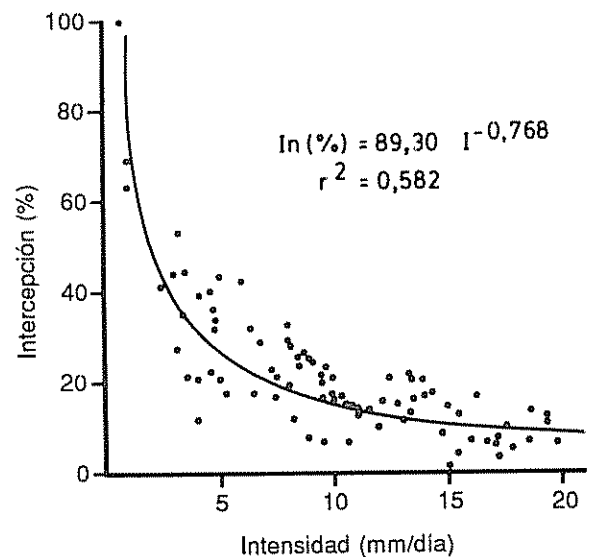


Fig 3 Relación entre la intensidad promedio diario mensual de las precipitaciones (mm) y la intercepción (%)

Cuadro 4. Montos mensuales y promedios mensuales de escurrimiento fustal (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	18.0 (13)	8.5 (11)	1.9 (6)	9.6 (11)	72.9 (15)	53.7 (16)	59.1 (14)	45.9 (13)	19.2 (11)	17.6 (9)	2.5 (4)	1.8 (10)
1983	8.0 (9)	0.0 (0)	7.9 (9)	17.7 (11)	16.9 (10)	49.1 (16)	35.4 (15)	19.9 (10)	33.3 (14)	10.5 (12)	1.3 (6)	2.3 (11)
1984	1.7 (4)	6.2 (7)	2.4 (6)	22.8 (15)	41.2 (12)	56.2 (16)	49.8 (13)	6.8 (7)	23.3 (10)	26.9 (12)	0.8 (2)	2.8 (8)
1985	11.1 (10)	3.2 (6)	9.0 (9)	26.3 (11)	64.5 (15)	48.0 (14)	31.1 (12)	20.2 (10)	21.2 (12)	6.5 (7)	10.6 (10)	1.4 (4)
1986	5.7 (7)	14.5 (14)	6.7 (7)	23.9 (8)	53.7 (12)	40.8 (13)	20.7 (9)	34.9 (11)	7.9 (6)	6.4 (6)	21.6 (10)	0.0 (0)
1987	0.0 (0)	0.0 (0)	1.7 (5)	14.3 (10)	11.7 (9)	31.8 (10)	50.9 (11)	15.6 (7)	15.9 (9)	14.2 (7)	2.5 (5)	0.8 (2)
1988	3.8 (7)	0.0 (0)	5.3 (6)	4.5 (4)	15.4 (11)	26.3 (10)	12.1 (8)	22.5 (8)	7.2 (7)	8.3 (8)	0.2 (1)	2.0 (5)
\bar{X} (%)	6.9 (9)	4.6 (9)	5.0 (7)	17.0 (10)	39.5 (13)	43.7 (14)	37.0 (12)	23.7 (10)	18.3 (10)	12.9 (9)	5.6 (8)	1.6 (5)

Cuadro 5. Montos mensuales, promedios mensuales de intercepción (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	14.8 (11)	12.8 (16)	6.8 (20)	6.6 (8)	31.2 (6)	22.0 (7)	22.5 (5)	44.9 (13)	36.0 (20)	38.0 (20)	14.7 (21)	3.8 (22)
1983	16.3 (18)	2.6 (63)	15.1 (18)	24.7 (15)	20.4 (12)	10.2 (3)	31.5 (13)	30.7 (16)	19.2 (8)	19.8 (23)	3.8 (19)	2.2 (11)
1984	15.4 (32)	27.8 (32)	17.5 (42)	8.3 (5)	43.3 (12)	14.1 (4)	62.8 (17)	28.8 (29)	47.6 (20)	57.7 (25)	12.6 (35)	9.9 (27)
1985	23.3 (20)	23.3 (43)	16.9 (16)	23.2 (14)	30.9 (7)	5.5 (2)	18.4 (7)	29.5 (14)	30.0 (17)	20.0 (21)	22.6 (22)	7.2 (23)
1986	46.6 (55)	11.0 (10)	22.3 (25)	47.8 (15)	43.5 (10)	46.7 (15)	33.4 (15)	41.8 (13)	39.0 (29)	33.7 (33)	37.4 (17)	4.4 (69)
1987	5.3 (44)	6.8 (41)	16.2 (44)	20.8 (14)	30.5 (24)	26.7 (9)	63.5 (13)	46.5 (21)	11.8 (7)	31.8 (15)	17.1 (36)	19.6 (40)
1988	18.3 (34)	1.7 (100)	17.4 (19)	25.8 (25)	10.7 (8)	57.7 (22)	25.2 (17)	65.4 (23)	16.3 (16)	31.7 (29)	16.5 (53)	16.1 (39)
\bar{X} (%)	20.0 (26)	12.3 (25)	16.0 (24)	23.9 (14)	30.1 (10)	26.1 (8)	36.8 (12)	41.1 (17)	28.6 (16)	33.2 (23)	17.8 (24)	9.0 (31)

bilizarse en un 10% cuando la precipitación mensual supera los 250 mm (Fig 2). Similar tendencia se observa en la Fig 3, que relaciona la intensidad de las precipitaciones con los porcentajes de intercepción. Con intensidades menores a 1 mm/día, la intercepción alcanza porcentajes cercanos al 100%. Montos tan pequeños de lluvia son casi totalmente retenidos por las copas y devueltos a la atmósfera por evaporación. Entre 5 y 15 mm/día la intercepción se reduce a valores entre 10 y 25% y tiende a estabilizarse en un 10% cuando la intensidad es superior a 15 mm/día.

CONCLUSIONES

La precipitación directa representa el mayor aporte de agua al suelo. El escurrimiento fustal en *P. radiata* es superior al promedio de otras coníferas; la distribución geométrica de los ganchos, convergentes hacia el tronco en esta especie, es la responsable de los valores altos observados. El escurrimiento fustal tiene una especial importancia porque los aportes de agua llegan directamente a la base del fuste quedando inmediatamente disponibles para su consumo

Las pérdidas por intercepción en relación con los montos de precipitación pueden ser consideradas relativamente pequeñas, en comparación con otras plantaciones de *P. radiata* citadas en la literatura, pero ubicadas en zonas de menor precipitación

Se pueden destacar las variaciones anuales de los valores de la intercepción que fluctuaron para este rodal entre el 11 y 22% de la precipitación anual, lo cual se debe a la distribución temporal y a las características de las lluvias. Es recomendable que los estudios tendientes a determinar el porcentaje de intercepción de un bosque deben hacerse a través de varios años para que sus valores sean representativos.

LITERATURA CITADA

1. ALLISON, G.B ; HUGHES, M.W 1972 Comparison of recharge to groundwater under pasture and forest using environmental tritium. *Journal of Hydrology* 17:81
2. CALHEIROS DE MIRANDA, R.A ; BUTLER, D.R 1986. Interception of rainfall in a hedgerow apple orchard. *Journal of Hydrology* 87:245-253.
3. DELFS, J 1955 Die Niederschlagszurückhaltung im Wald. 1955 Mitteilungen des Arbeitskreises Wald und Wasse 2:1-54.
4. FORD, E.D ; DEANS, J.D 1978 The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young *Sitka spruce* plantation. *Journal of Applied Ecology* 15:905-917
5. HAGER, H 1988 Stammzahlreduktion: Die Auswirkung auf wasser-energie und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen Forstliche Schriftenreihe Wien Universität für Bodenkultur. 278 p.
6. HOLMES, J.W ; COLVILLE, J.S 1970. Grassland hydrology in a karstic region of southern Australia. *Journal of Hydrology* 10:38
7. HOLMES, J.W ; COLVILLE, J.S 1970 Forest hydrology in a karstic region of southern Australia. *Journal of Hydrology* 10:59
8. HUBER, A ; OYARZUN, C 1983 Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don. *Bosque* 5(1):13-20
9. HUBER, A ; OYARZUN, C 1984 Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* *Bosque* 5(2):59-64
10. HUBER, A.W ; OYARZUN, C.E.; ELLIES, A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera II: Humedad del suelo y evapotranspiración *Bosque* 6(2):74-82
11. LEE, R 1980 *Forest Hydrology*. New York. Columbia University Press 349 p.
12. OYARZUN, C.E ; HUBER, A.W ; VASQUEZ, S.G 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. I: Redistribución de las precipitaciones *Bosque* 6(1):3-14.
13. RAPP, M ; IBRAHIM, M. 1978. Egouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L. *Ecologia Plantarum* 13(4):321-330.
14. RIVERA, R.; CRUZ, M.E. 1983 Cambios ecológicos y de poblamiento en el sector forestal chileno. Primer Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente Chileno Versiones abreviadas 1:20-24.
15. SMITH, M.K ; WATSON, K.K ; PILGRIM, D.H 1974. A comparative study of the hydrology of radiata pine and eucalypt forests at Lidsdale, New South Wales *Trans IE (Aust.) CE* 16:82.
16. TURNER, J ; LAMBERTI, M.J 1987 Forest water usage and interactions with nutrition of *Pinus radiata* *Ecologia Plantarum* 22(1):37-43.