

Tema B

Agua y Medio Ambiente

**CONSECUENCIAS DE LAS
PLANTACIONES FORESTALES
SOBRE LA DISPONIBILIDAD
DEL RECURSO HIDRICO EN
SUELOS ROJOS ARCILLOSOS
DE LA ZONA DE COLLIPULLI,
IX REGION, CHILE**

ANTON HUBER

RAMIRO TRECAMAN

Instituto de Geociencias,

Facultad de Ciencia,

Universidad Austral de Chile.

Casilla 567, Valdivia. Chile.

E-mail: ahuber@valdivia.uca.uach.cl

RESUMEN

Se estudiaron las consecuencias que tiene la forestación de los suelos rojos arcillosos de la zona de Collipulli con *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico. Para ello se determinaron durante dos años los aportes de agua por precipitación, las pérdidas por intercepción del dosel, la variación del contenido de agua edáfica hasta los tres metros de profundidad, la evapotranspiración y percolación de dos plantaciones de *Pinus radiata* y dos de *Eucalyptus nitens* con densidades de 833, 395, 1560 y 633 árboles/ha respectivamente. Los resultados se compararon con los de una pradera natural de la zona.

Las plantaciones forestales redujeron aproximadamente un 30% la cantidad de agua que llegó al suelo debido a la intercepción del dosel. La evapotranspiración tuvo una relación directa con la densidad de los rodales y fue aproximadamente la mitad de la precipitación anual (1.089 y 1.418 mm). Para la pradera, este consumo fue algo inferior. La diferencia entre ambos tipos de cubierta vegetal se acentuó cuando se adicionó a la evapotranspiración las pérdidas de agua por intercepción. Este resultado asigna a la intercepción la principal responsabilidad por la diferencia que existe entre el consumo de agua de las plantaciones forestales y de la pradera.

La variación temporal del contenido de agua edáfica debido a la evapotranspiración de las plantaciones forestales sobrepasó los 3 metros de profundidad, mientras que en la pradera esta situación sólo se manifestó hasta los 100 cm.

La percolación para la pradera fue equivalente al 37 y 60% de la precipitación total para los años 1 y 2, y tuvo una estrecha relación con la cantidad de precipitación invernal. En las plantaciones forestales este valor osciló entre un 12 y 29%. Se registró una relación inversa entre este parámetro y la densidad de los rodales.

Las consecuencias de la forestación sobre el balance hídrico se pueden atenuar con un manejo adecuado de las plantaciones.

Estudio financiado por los proyectos FONDECYT 1951166 y 1980991.

Introducción

La precipitación que alcanza el suelo, la distribución espacial y temporal del agua edáfica y la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y percolación varían cuando se interviene, reemplaza o quita una cubierta vegetal (Huber, Oyarzún y Ellies 1985, Loustau, Berbigier, Granier y EL Hadj Moussa 1992).

Una fracción de la precipitación que alcanza la cubierta vegetal es retenida por su biomasa aérea y devuelta a la atmósfera por evaporación. Esta porción de agua que no queda disponible para la vegetación se denomina pérdida de agua por intercepción (Crockford y Richardson, 1990; Loustau *et al.*, 1992; Viville *et al.*, 1993). La cantidad de precipitación y las características de la cubierta vegetal son los factores que regulan este parámetro Huber y López (1993).

Una cubierta forestal se diferencia de una herbácea por la gran cantidad de agua que puede perder por intercepción (Crockford y Richardson 1990). Además, según el tamaño y la forma de las copas de los árboles, una cantidad variable de la precipitación alcanza el suelo utilizando como senda de fluido el tronco de los árboles.

La mayor extensión vertical que tiene el sistema radicular de los árboles le permite aprovechar el agua edáfica hasta una mayor profundidad. Esta característica aumenta la transpiración, porque los mayores consumos de agua se registran en cubiertas vegetales que tienen un sistema radicular más profundo y mejor desarrollado (Kramer, 1974; Lee, 1980).

En la depresión intermedia, en el norte de la IX Región de Chile, existen grandes extensiones de suelos rojos arcillosos de la serie Collipulli que se encuentran fuertemente degradados (Millan y Carrasco 1993). Estos suelos que poseen una pobre cubierta herbácea están siendo forestados con *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata*. La sustitución de la vegetación pratense por una arbórea debe disminuir la cantidad de precipitación que alcanza el suelo, modificar la distribución espacial y temporal del contenido de agua edáfica y aumentar la evapotranspiración, lo que debe reducir la disponibilidad del recurso agua. En el presente trabajo se determinará para un período de dos años el efecto que tiene la forestación de suelos rojos arcillosos de la zona de Collipulli con *Eucalyptus nitens* y *Pinus* sobre el balance hídrico y los factores responsables de estos cambios.

Material y métodos

El estudio se realizó en el Fundo Porvenir, de la empresa Forestal Mininco, ubicado a 15 Km al norte de la ciudad de Collipulli (latitud 37° 54' S, longitud 72° 54' W, 250 m s.n.m.). La topografía del área se caracteriza por ser de lomajes suaves con pendientes inferiores al 5%. La zona posee un clima Templado Cálido con estación seca y lluviosa semejante (Csb₂) (Fuenzalida, (1971). 1.400 mm es la precipitación promedio anual que tiene una distribución estacional bien pronunciada.

El suelo de la zona corresponde a la serie Collipulli, desarrollado a partir de cenizas volcánicas antiguas, depositadas sobre un estrato conformado por un conglomerado volcánico de composición petrográfica muy meteorizado. Según Bonelli (1994), los suelos son muy plásticos, con una alta capacidad de retención de agua.

Para el estudio se seleccionaron dos plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* de 8 años, 15 m de altura y una densidad de 833 y 395 árboles/ha y dos de *Eucalyptus nitens* de igual edad y altura, pero con una densidad de 1.550 y 633 árboles/ha. La densidad de estos rodales está destinada para producir pulpa y madera aserrada respectivamente. Como parcela de testigo, se escogió una pradera natural de baja densidad de plantas y poco desarrollo. La composición florística de la pradera fue principalmente *Agrostis capillaris* y *Holcus lanatus*.

La precipitación se registró en dos pluviógrafos, ubicados en la pradera a 150 y 300 m de los rodales. 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 se recogió la precipitación directa. El agua que alcanzó la superficie del bosque, usando como vía de acceso el tronco de los árboles (escurrimiento fustal), fue recogida con collarines plásticos ajustados y sellados en espiral alrededor de 10 fustes por rodal (Ford y Deans, 1981). La suma de la precipitación directa y fustal es la cantidad total de precipitación que alcanzó la superficie (No= precipitación neta), mientras que la pérdida de agua por intercepción del dosel (Ic) se calculó a partir de la relación:

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

donde

- Ic = pérdidas de agua por intercepción del dosel
- N = precipitación
- Nd = precipitación directa
- Nf = escurrimiento fustal

Con un dispositivo emisor de neutrones (Troxler 4300) se determinó la variación temporal y espacial del contenido de agua edáfica. Para ello se clavaron en cada rodal 15 y en la pradera 5 tubos de acero de 45 mm de diámetro y 300 cm de largo respectivamente. La calibración de la sonda de neutrones se hizo en terreno de acuerdo a las recomendaciones de Brechtel (1983).

El consumo de agua por evapotranspiración se calculó analíticamente, mediante la ecuación general de continuidad del balance hídrico (Feller, 1981). Ella supone que cuando un suelo deja de saturarse con agua y comienza a disminuir su contenido de agua, la percolación es nula o despreciable, por lo tanto, toda disminución del agua edáfica es producto de la evaporación. Según Hibbert (1976), esta situación corresponde cuando el contenido de agua del suelo es equivalente a la de su capacidad de campo. Se acordó que este supuesto se producía, cuando el suelo a los 3 metros de profundidad en los rodales y a 1.5 metros en la pradera tenía un contenido de agua equivalente igual o inferior a la capacidad de campo. En esta situación, la evapotranspiración se determinó con la siguiente relación:

$$EVTP = N + _W - A$$

donde

EVTP = evapotranspiración
N = precipitación
_W = variaciones del contenido de agua edáfica
A = escorrentía superficial

Por la topografía del lugar y la velocidad infiltración medida en estos suelos, se asumió que no se produjo escorrentía superficial ($A = 0$). Tampoco se consideró un posible aporte de agua provenientes de la napa subterránea, porque ésta se encontraba a mayor profundidad.

Durante la época del año, en que el suelo a las profundidades de referencia anteriormente indicadas tenía un contenido de agua que sobrepasaba su capacidad de campo, la evapotranspiración se estimó a través de la siguiente relación:

$$EVPT = I + EVP$$

donde

EVPT = evapotranspiración.

I = pérdidas por interceptación

EVP = evaporación potencial (medida en una bandeja evaporimétrica)

La percolación (P) se determinó sólo para el período en que el suelo a 3 metros de profundidad en los rodales y 1.5 en la pradera tenían un contenido de humedad superior a la capacidad de campo.

$$P = PP - I - EVP + _W$$

donde

P = percolación

PP = precipitación total

I = pérdidas por interceptación

EVP = evaporación potencial

_W = variación del contenido de humedad del suelo

La determinación del balance hídrico para las diversas cubiertas vegetales se hizo para el período mayo 1996 - abril 1998.

Presentación y discusión de resultados

En el Cuadro 1 se presentan los diferentes componentes del balance hídrico para los rodales de *Pinus radiata*, *Eucalyptus nitens* y la pradera respectivamente. La precipitación para los períodos 1 y 2 fue de 1.089 y 1.418 mm respectivamente (Cuadro 1). En el primer año, el registro de agua fue 300 mm inferior al promedio. Este déficit se manifestó especialmente durante el estío, con una temporada de 75 días sin lluvia. La cantidad y distribución de la precipitación para el segundo año estuvieron más de acorde a lo esperado.

Las pérdidas de agua por interceptación para los 4 rodales fluctuaron entre un 23.9 y 33.7% de la precipitación total. Las plantaciones de *Pino radiata* registraron una interceptación mayor que las de *Eucalyptus nitens*, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esta tendencia concuerda con los resultados de Viville *et. Al* (1993), que constataron una mayor pérdida de agua por interceptación en bosques perennes de coníferas que en latifoliados. Durante el se-

gundo período se registraron las mayores pérdidas de agua por intercepción. Este aumento se debió a la superior precipitación y al mayor desarrollo alcanzado por las copas de los árboles. Hubo una relación directa entre la pérdida de agua por intercepción y la densidad de los rodales (Cuadro 1); esto indica que el manejo de las plantaciones forestales modifica la cantidad de agua que alcanza el suelo. Considerando la densidad y morfometría de la vegetación herbácea de la pradera, la pérdida de agua por intercepción fue despreciada.

La variación de la reserva del agua edáfica, producto de la evapotranspiración de los rodales, se manifestó hasta más allá de los tres metros de profundidad, a pesar de que las raíces de los árboles sólo llegaban hasta los 2.5 m. En la pradera esta situación se consiguió hasta los 100 cm ello se debe a la menor extensión en profundidad que tienen las raíces de los pastos (Sandoval 1998; Avila 1998).

Para ambas especies existe una relación inversa entre la densidad de los rodales y la magnitud con que fue extinguida el agua edáfica. Ello se explica por la menor cantidad de precipitación que llegó al suelo y al superior consumo de agua por evapotranspiración de las plantaciones más densas (Cuadro 1).

La evapotranspiración de los cuatro rodales, sin considerar la intercepción, fue equivalente a la mitad de la precipitación (42.7 - 54.7%). Estos valores están algo subestimados, porque una cantidad no determinada de agua proveniente de profundidades superiores a los tres metros, no pudo ser cuantificada. La evapotranspiración en el segundo año fue mayor, debido a la superior y mejor distribución temporal de las precipitaciones, especialmente en el período primavera-verano. Durante este lapso de tiempo, la evapotranspiración fue siempre más importante en las plantaciones de pino. Probablemente, la cubierta herbácea en estos rodales, que se mantuvo por más tiempo por la particular distribución de las precipitaciones durante la primavera y verano, fue la responsable de esta diferencia. En estas circunstancias, al consumo de agua por transpiración de los árboles se tiene que adicionar el de la cubierta herbácea. En los rodales de eucalipto, el mantillo y los residuos del raleo que cubrieron el suelo acabaron con la presencia del pasto. Durante el primer año de medición, la temprana muerte de la cubierta herbácea producto de la escasa lluvia primaveral, eliminó prematuramente su participación en la transpiración. Esta circunstancia redujo la diferencia de la evapotranspiración entre de ambas especies.

La evapotranspiración de los cuatro rodales fue inferior a la determinada por Huber, Oyarzún y Ellies (1985), Huber y López (1993) para plantaciones de *Pinus radiata* de distintas edades y manejos en la cercanía de Valdivia. Ello se debió principalmente a la escasa precipitación en la zona de Collipulli, especialmente durante el primer período primavera-verano, lo que redujo la evaporación.

La relación entre la evapotranspiración y la precipitación para las cuatro plantaciones osciló entre un 42.7 y 49.5% para el primer año y de 47.5 y 54.7% para el segundo. Para la pradera este valor fue de un 43.7 y 47.1% respectivamente (Cuadro 1). Si esta correspondencia se hace con la precipitación neta, se puede inferir que las plantaciones forestales aprovecharon más intensamente el agua que alcanzó el suelo. Esta proporción se acentuó durante el segundo año, especialmente en los rodales de pino (81.7 y 80.8%), debido a la mayor precipitación registrada durante el período primavera-verano que quedó disponible para la evapotranspiración. En general, la evapotranspiración de la pradera fue inferior a la de los rodales. Durante la temporada primavera-verano, los pastos sólo tuvieron acceso a los ocasionales aportes de agua por precipitación o a la escasa aún disponible en los horizontes superficiales, debido a la poca profundidad que alcanza su sistema radical (Sandoval 1998; Avila 1998). La exigua precipitación para ese período, especialmente durante la temporada primavera-verano del primer año, acortó su período vegetativo, eliminando con ello su participación en la transpiración. Las plantaciones forestales, debido a la mayor profundidad de sus raíces, tuvieron acceso a una superior cantidad de agua, lo que permitió una mayor transpiración. La diferencia entre los montos de evapotranspiración de las plantaciones forestales y la pradera se incrementaron en forma significativa cuando se adicionaron las pérdidas de agua por intercepción del dosel (Cuadro 1). Esto concuerda con lo señalado por Parce y Roce (1979) y Viville *et. al* (1993), que mencionan la intercepción del dosel como uno de los principales componentes de la evapotranspiración de los bosques.

Entre un 11.8 y 25.9% de la precipitación anual fue percolado por los distintos rodales durante el primer período. La mayor precipitación del segundo año, especialmente la del invierno, incrementó estos valores a un 15.0 y 28.3%. Esta relación es bastante mayor para la pradera, donde alcanzó un 36.6 y 59.5% respectivamente. Existió una relación inversa entre la densidad de los rodales y los montos de percolación, porque la intercepción y evapotranspiración fueron inferiores en los rodales menos densos. Esta circunstancia no sólo incrementó la percolación sino que también alargó su duración en los rodales menos densos.

Cuadro 2. Componentes del balance hídrico: N=precipitación, Ic=intercepción, No=precipitación neta, EvTr=evapotranspiración, Per=percolación (mm) de los rodales de *Pinus radiata* (p) y *Eucalyptus nitens* (E), de mayor (1) y menor (2) densidad y pradera (Pra) respectivamente y su relación (%) con la precipitación para el período mayo 1996 - abril 1998.

	1996/97 mayo - abril					1997/98 mayo - abril				
	Pra	P1	P2	E1	E2	Pra	P1	P2	E1	E2
N	1089	1089	1089	1089	1089	1418	1418	1418	1418	1418
Ic	--	337	310	327	260	--	468	416	478	426
Ic/N	(30.9)	(28.5)	(30.0)	(23.9)		(33.0)	(29.3)	(33.7)	(30.0)	
No	1089	752	779	762	829	1418	950	1002	940	992
No/N	(100.0)	(69.1)	(71.5)	(70.0)	(76.1)	(100.0)	(66.0)	(70.7)	(66.3)	(70.0)
EvTr	476	539	465	533	516	668	776	730	673	610
Evtr/N	(43.7)	(49.5)	(42.7)	(48.9)	(47.4)	(47.1)	(54.7)	(51.5)	(47.5)	(43.0)
EvTr/No	(43.7)	(71.7)	(59.7)	(70.0)	(62.2)	(47.1)	(81.7)	(72.9)	(71.6)	(61.5)
EvTr+Ic	476	876	775	860	776	668	1244	1146	1151	1036
(EvTr+Ic)/N	(43.7)	(80.4)	(71.2)	(79.0)	(71.3)	(47.1)	(87.7)	(80.8)	(81.2)	(73.1)
Per	399	129	199	151	282	844	213	314	286	401
	(36.6)	(11.8)	(18.3)	(13.9)	(25.9)	(59.5)	(15.0)	(22.1)	(20.2)	(28.3)

La cantidad de agua que percoló en la pradera más que duplicó a la de las plantaciones forestales. Esta relación debería aumentar si se considera que la evapotranspiración de los rodales estuvo subestimada. La percolación del segundo período fue superior, debido a la mayor precipitación registrada durante el año, y especialmente a su abundancia durante el invierno.

La forestación de cubiertas herbáceas con *Pinus radiata* o *Eucalyptus nitens* en suelos rojos arcillosos de la zona de Collipulli redujo la cantidad de agua que alcanzó el suelo e incrementó la evapotranspiración. Esta situación redujo la percolación, lo que hizo disminuir la recarga de agua subterránea. Esta consecuencia es posible atenuar con un manejo silvícola adecuado, al reducir la densidad de las plantaciones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos FONDECYT 1951166 y 1980991. Se agradece a Forestal Mininco S.A. por las facilidades y cooperación proporcionada para el desarrollo del estudio.

Bibliografía

- AVILA, G. 1998. La influencia de las plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 84 p.
- BONELLI, C. L. 1994. Variación en las características morfológicas y físicas de los suelos rojos arcillosos de la serie Collipulli. Tesis de Post grado. Escuela de Graduados. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 107p.
- BRECHTEL, H. M. 1983. Probleme beim Einsatz von Neutronensonde im Rahmen Hydrologischer Messprogramme. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Verlag Paul Parey. 301p.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. 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 this 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.; DEANS, J. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. *J. of Appl. Ecology*, 15:905-917.

FUENZALIDA, H. 1971. *Climatología de Chile*. Departamento de Geofísica y Geografía. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 69 p.

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 . 61-72

HUBER, A.; OYARZUN, C.; ELLIES, A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6(2): 74-82.

HUBER, A.; LOPEZ, D. 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.

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. 538p.

LEEE, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York. 349p.

LOUSTAU, D.; BERBIGIER, P.; GRANIER, A.; EL HADJ MOUSSA, F. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I: Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. *Journal of Hydrology*, 138: 449-467.

- MILLAN, J. CARRASCO, P. 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 75-84.
- PEARCE, A.; ROWE, L. K. 1979. Forest management effectson interception, evaporation and water yield. Journal of Hydrology, New Zealand, 18(2): 73-87.
- SANDOVAL, J. 1998. El efecto de la distribución de las raíces de una plantación de *Pinus radiata* y una pradera en el balance hídrico en un suelo rojo arcilloso de la zona de Collipulli (IX Región). Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 92 p.
- VIVILLE, D.; BIRON, P.; GRANIER, A.; DAMBRINE, E.; PROBST, A. 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. Journal of Hydrology, 144: 273-282.