

# Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile\*

Forest canopy interception and effects on peak flows in an experimental catchment at Malalcahuello, IX Region, Chile

ANDRES IROUME <sup>1</sup>, ANTON HUBER <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

<sup>2</sup>Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

## SUMMARY

The effect of forest cover on rainfall distribution and runoff generation processes was studied in an area in the Andes mountains, in the IX Region of Chile. Rainfall distribution was studied in two plots under two different forests and the effect of vegetation cover on discharge in an experimental catchment was analyzed using simulation models. Precipitation for the hydrological year April 1998-March 1999 was 1346 mm, corresponding to 57% of the annual long-term average for the area. Throughfall and stemflow were 66 and 8% for a native forest site and 60 and 6% for a Douglas Fir plantation, respectively, of the total 12 months precipitation. These figures reflect the lower interception capacity of the native forest canopy as compared to that of the Douglas Fir plantation. During the study period, 350 mm for the native forest and 453 mm for the Douglas Fir plantation, (26 and 34%, respectively, of the total rainfall), were excluded from the runoff generation process through evaporation of intercepted water. Potential reductions in peak flows related to canopy interception losses were detected at the experimental catchment. However, the studied events corresponded with low return period storms, which were mostly affected by the reduction of available water at the ground level. These results show the importance of forest vegetation cover in rainfall redistribution, interception and runoff generation processes.

*Key words:* rainfall distribution, canopy interception losses, peak flows.

## RESUMEN

El efecto de una cubierta de bosques en los procesos de redistribución de lluvias y de generación de caudales se está estudiando en un sector de la Cordillera de los Andes, en la IX Región de Chile. La redistribución de lluvias se estudia en dos parcelas bajo diferentes tipos de bosque, y el efecto del tipo de cubierta vegetal en los caudales se analiza usando un modelo de simulación en una cuenca experimental. La precipitación para el año hidrológico abril 1998-marzo 1999 fue de 1.346 mm, que es el 57% de la precipitación anual promedio para el área de estudio. La precipitación directa y el escurrimiento fustal fueron de 66 y 8% para la parcela de bosque nativo y de 60 y 6% para Pino Oregón, respectivamente, de la precipitación incidente. Estos valores reflejan la menor capacidad de intercepción que tiene el dosel de bosque nativo comparada con el Pino Oregón. Durante el período de estudio, 350 mm para bosque nativo y 453 mm para Pino Oregón, que corresponden al 26 y 34%, respectivamente, de la precipitación total incidente, han restado por evaporación del agua interceptada del proceso de generación de escorrentías. Comparando con una situación de cubierta de tipo pradera o vegetación baja se han detectado reducciones potenciales en los caudales de crecida en la cuenca experimental por la intercepción de las lluvias por parte de una cubierta de bosques. Sin embargo, los eventos estudiados corresponden a tormentas con períodos de retorno bajos, que son justamente los que en mayor medida se ven afectados por la reducción de los aportes de lluvia a nivel del suelo. Estos resultados muestran la importancia de la cubierta de bosques en los procesos de redistribución de lluvias, intercepción y generación de las escorrentías.

*Palabras clave:* redistribución de lluvias, pérdidas por intercepción, caudales de crecida.

\* Financiado por la Dirección General de Aguas.

## INTRODUCCION

La cantidad de precipitación que llega a la superficie del terreno depende en gran medida del tipo y densidad de la cubierta vegetal. Esta cubierta intercepta parte de la precipitación y la almacena temporalmente sobre la superficie de las hojas y ramas, de donde es devuelta a la atmósfera por evaporación. Intercepción es aquella parte de la precipitación que es almacenada temporalmente sobre la superficie de las hojas y ramas, mientras que pérdida por intercepción corresponde a la evaporación del agua almacenada en las copas (Shaw 1996).

Los tres principales componentes del proceso de redistribución de las precipitaciones incidentes a una área cubierta de vegetación son: pérdida por intercepción, o la cantidad de agua retenida por las plantas, y que es luego evaporada o absorbida por las plantas; precipitación directa, también conocida como infiltración a través del follaje o lluvia bajo el dosel, que es aquella parte de la precipitación que alcanza al suelo a través de las copas o los claros, o bien mediante el goteo de las hojas, ramas y fustes; y escurrimiento fustal, o el agua que escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta alcanzar el suelo (Shaw 1996, Ward y Robinson 1989).

Las pérdidas por intercepción desde una cubierta de bosques fueron consideradas por mucho tiempo como un sustituto a otro tipo de pérdidas por evaporación que de todas maneras hubieran ocurrido en un área determinada que hubiera estado cubierta de vegetación, pues se pensaba que la energía utilizada para evaporar el agua almacenada en la vegetación estaría disponible para evaporar agua desde el suelo o superficies libres.

Esto de alguna manera ocurre en zonas con climas tropicales y templado-secos, donde el proceso de evaporación está regulado por la disponibilidad de energía proveniente de la radiación solar, por las características de las precipitaciones y por la disponibilidad de agua almacenada en el suelo.

Sin embargo, en zonas con climas templado-húmedos se reconoce que parte, si no toda, la pérdida por intercepción representa una adición neta a las pérdidas por evaporación desde cuencas (Calder 1992, Ward y Robinson 1989). La tasa de pérdida por evaporación del agua interceptada por la cubierta vegetal excede la evaporación potencial de una superficie libre de agua, debido a que

la resistencia aerodinámica de la superficie de la cubierta vegetal es menor que sobre el agua como resultado de la mayor rugosidad de la vegetación. En este tipo de climas, y en condiciones expuestas a los vientos, las pérdidas por intercepción desde áreas de bosques podrían llegar a duplicar las tasas de transpiración de las mismas (Calder 1992). En estas condiciones, las pérdidas por intercepción desde las cubiertas de bosque dominan los cambios en la producción de agua (Fahey 1994).

En esta temática se enmarca la investigación sobre los procesos de pérdidas por intercepción de las lluvias por la cubierta vegetal y de redistribución de las precipitaciones incidentes sobre masas boscosas en la Reserva Forestal de Malalcahuello en la IX Región, la que, además, contempla la evaluación del impacto de las pérdidas por intercepción en el balance y el rendimiento hídrico de cuencas boscosas.

Este documento entrega los resultados, para el año hidrológico abril 1998-marzo 1999, de la cuantificación de la redistribución de las precipitaciones y de los montos de agua interceptada para dos tipos de cobertura de bosques. Además, se analiza el efecto de la intercepción de las lluvias por las diferentes cubiertas en los procesos de generación de algunos eventos de crecidas seleccionados para el caso de la cuenca experimental del estero Tres Arroyos.

En esta investigación se postula que las pérdidas por intercepción desde masas boscosas pueden ser una parte importante de las precipitaciones incidentes, y que las diferencias entre los procesos de redistribución de las lluvias en distintos rodales se deben a las características propias de los bosques. Además, que por su capacidad de interceptar parte de las lluvias, la presencia de bosques en las cuencas de montaña tiende a atenuar la magnitud de las crecidas.

## MATERIAL Y METODOS

*Caracterización del área de estudio.* El área de estudio se ubica en la Reserva Forestal Malalcahuello, en la IX Región de la Araucanía, provincia de Malleco, comunas de Curacautín y Lonquimay, al interior cordillerano del río Cautín, junto a la localidad homónima en la vertiente sur del Volcán Lonquimay, en las cercanías de la cuenca experimental del estero Tres Arroyos.

La cuenca experimental del estero Tres Arroyos se localiza geográficamente entre las 38°25.5' y 38°27' de latitud sur y los 71°32.5' y 71°35' de longitud oeste. El sistema hidrográfico principal está conformado por el estero del mismo nombre con una cuenca de 596.3 ha de superficie (Dirección General de Aguas 1998).

Mayores detalles de las características topográficas, geomorfológicas, climáticas y de suelos del área de estudio y de la cuenca del estero Tres Arroyos pueden verse en Iroumé (1997) y Dirección General de Aguas (1998).

*Redistribución de precipitaciones.* La cuantificación de la redistribución de precipitaciones por parte de la cubierta de bosques se hace en dos parcelas, una bajo bosque nativo y otra bajo una plantación de *Pseudotsuga menziesii* (Pino Oregón).

La parcela de investigación bajo Bosque Nativo, de 600 m<sup>2</sup>, se ubica en un rodal del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue. El estrato superior alcanza hasta los 35 m de altura y está conformado por Raulí (*Nothofagus alpina*) y Coihue (*Nothofagus dombeyi*), el estrato medio de 20 m de altura está dominado por Tepa (*Laurelia philippiana*) y algunos individuos de *Nothofagus alpina*, y finalmente, el estrato inferior está formado por *Chusquea culeou*, *Berberis linearifolia*, *Berberis darwinii*, *Azara lanceolata*, *Fuchsia magellanica*, *Ozmorhiza chilensis*, *Blechnum astatum* y *Taraxacum officinale*. El suelo está cubierto por una hojarasca de aproximadamente 3 cm de espesor y la regeneración es de *Laurelia philippiana* y *Nothofagus alpina*. La cobertura media del estrato arbóreo es de un 88%, en la cual participan Raulí, sin superposición de copas en un 25%, Coihue en un 56% y Tepa en un 7%. La superficie media de copa por árbol de la parcela es de 25.4 m<sup>2</sup>.

La parcela bajo Pino Oregón es de 560 m<sup>2</sup> y se localiza en un rodal de 27 años de edad que fue raleado en 1993, hasta su densidad actual de 1.100 árboles/ha, oportunidad en que se efectuó una poda a un 50% de la altura total (6 m aproximadamente). Presenta individuos aislados de *Cupressus macrocarpa*, plantados el mismo año y algunos de *Nothofagus alpina*, remanentes del bosque original. En esta parcela la cobertura media del estrato arbóreo es de un 97.5%, participando Raulí sin superposición en un 1.9%. La superficie media de copa por árbol de Pino Oregón es de 14.1 m<sup>2</sup>.

Los registros de precipitación total o incidente son registrados en forma continua con un pluvió-

grafo a campo abierto. El pluviógrafo está instalado en la estación meteorológica base de Malalcahuello, y sus características se detallan en Dirección General de Aguas (1998). Es un equipo digital de registro cada 3 minutos y con una autonomía del almacenador de información de aproximadamente 1.5 a 2 meses.

En ambas parcelas experimentales la precipitación directa, o precipitación que alcanza al suelo a través de las copas o los claros o por goteo de las hojas, ramas y fustes, es captada por canaletas metálicas en forma de "V", que conducen el agua a un equipo digital de registro continuo dotado de un logger para almacenar la información. Las canaletas poseen un área de captación de 3 m<sup>2</sup> para bosque nativo y de 2.5 m<sup>2</sup> para plantación.

Para captar el agua que escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta alcanzar el suelo (escurrimiento fustal), se anillaron los árboles cercanos a la canaleta metálica en ambas parcelas experimentales. Se usaron collares plásticos ajustados en espiral alrededor de los troncos, conectados a tubos de PVC a otro equipo digital de registro continuo, dotado de un logger para almacenar la información. Para la parcela bajo Bosque Nativo se anillaron 11 árboles individuales (7 Coihues y 4 Raulíes), mientras que en la plantación de Pino Oregón se incluyeron 12 árboles.

En la figura 1 puede apreciarse un detalle con las instalaciones de registro de la precipitación directa (canaleta) y escurrimiento fustal (collares ajustados a los fustes).

*Registros hidrometeorológicos en la cuenca del estero Tres Arroyos.* Desde enero de 1998, 596.3 ha de la cuenca del estero Tres Arroyos están siendo monitoreadas en una estación fluviométrica ubicada a una cota de 1.080 msnm, donde se registra el nivel de aguas del cauce, y cuya información permite calcular los caudales (Dirección General de Aguas 1998).

La precipitación en la cuenca se obtiene de tres pluviógrafos distribuidos en el área de estudio. El primero se ubica a una cota de 1.000 msnm en la estación base de Malalcahuello, cuyos registros se utilizan para el estudio de redistribución de precipitaciones. El segundo, opera desde enero de 1998 y se localiza en la estación fluviométrica. Finalmente, el último opera desde enero de 1999 como parte de una estación meteorológica automática a una cota de 1.270 msnm.



Figura 1. Instalaciones para la captura de la precipitación directa y el escurrimiento fustal.  
Installations to capture throughfall and stemflow.

*Metodología general para el análisis de la redistribución de las precipitaciones.* La precipitación neta ( $P_n$ ), que es aquella parte de la precipitación incidente a una masa boscosa que llega finalmente al suelo forestal, se determina mediante la relación (Huber y Oyarzún 1984):

$$P_n = P_d + P_f$$

donde  $P_d$  es la precipitación directa y  $P_f$  el escurrimiento fustal.

Las pérdidas por interceptación ( $I_c$ ), que es la cantidad de la lluvia interceptada por las copas y troncos de los árboles y luego evaporada, se determinan a partir de la relación (Huber y Oyarzún 1984):

$$I_c = P - (P_n)$$

$$I_c = P - (P_d + P_f)$$

siendo  $P$  la precipitación incidente.

La medición directa de  $P$ ,  $P_d$  y  $P_f$  en cada una de las parcelas permiten calcular los valores de  $P_n$  e  $I_c$  para los dos tipos de cubierta de bosques.

Se relaciona el comportamiento de la Interceptación ( $I_c$ ), tanto en mm como en porcentaje de  $P$ , con la precipitación total.

*Evaluación del impacto de las pérdidas por interceptación en los caudales de crecida.* La evaluación del impacto de las pérdidas se realiza por medio de la simulación de hidrogramas de crecida en la cuenca del estero Tres Arroyos. Se analizaron 7 eventos correspondientes a los días 18 y 29 de junio, 7, 12 y 18 de agosto, 9 de septiembre y 27 de diciembre de 1998, cuyas características principales se resumen en el cuadro 1.

Para simular los caudales máximos se utilizó un método basado en la curva número, y para la generación de los hidrogramas de crecida el método de Santa Bárbara, descritos en mayor detalle en Dirección General de Aguas (1998, 1999).

## CUADRO 1

Caracterización de los eventos seleccionados.  
 Characterization of the studied events.

Evento	P (mm)	Intensidad media (mm/h)	Pd		Pf		Pn <sup>1</sup>		Duración (h)
			(mm)		(mm)		(mm)		
			Nat <sup>2</sup>	Ore <sup>3</sup>	Nat <sup>2</sup>	Ore <sup>3</sup>	Nat <sup>2</sup>	Ore <sup>3</sup>	
18/06/98	9.6	1.0	7.4	5.8	0.8	0.7	8.2	6.5	10
29/06/98	20.3	1.7	15.6	15.5	1.3	1.2	16.9	16.7	12
07/08/98	28.5	0.9	22.2	18.6	2.6	1.7	24.8	20.3	32
12/08/98	17.0	0.8	8.7	8.3	1.8	1.1	10.5	9.4	21
18/08/98	27.3	1.3	19.4	18.4	2.1	1.7	21.5	20.1	21
09/09/98	72.4	1.4	59.8	45.6	8.0	6.6	67.8	52.2	50
27/12/98	127.6	4.9	110.5	77.9	8.6	7.0	119.1	85.0	26

<sup>1</sup> Pn (precipitación neta) = Pd + Pf.

<sup>2</sup> Nat = Parcela bajo bosque nativo.

<sup>3</sup> Ore = Parcela bajo Pino Oregón.

Sin vegetación, toda la precipitación está disponible para la generación de escorrentía. Bajo bosque, sólo la precipitación neta, es decir, la precipitación a campo abierto, menos las pérdidas por intercepción, participa como aporte a la generación de caudales (Meunier 1996).

Tomando como base la cuenca Tres Arroyos, se simulan caudales en tres escenarios distintos de cubierta vegetal de la cuenca: sin vegetación arbórea, con Bosque Nativo y con plantación de Pino Oregón. Para cada condición se asumió una precipitación efectiva diferente. Para la condición "pradera" se consideró la precipitación a campo abierto (o incidente al nivel superior de las copas del bosque), mientras que para "Nativo" y "Oregón" se consideró la precipitación neta (Pn), registrada por los instrumentos bajo estas cubiertas vegetales.

Para todas las simulaciones se usó un número de curva fijo que representa una situación de pradera y un tiempo de concentración de la cuenca de 0.9 horas de acuerdo a Dirección General de Aguas (1998).

Se utilizó un número de curva fijo para aislar el efecto de las pérdidas por intercepción de cada cubierta vegetal de las otras variables que inciden el proceso de transformación de precipitación en escorrentía.

## RESULTADOS Y DISCUSION

*Redistribución de precipitaciones.* Los registros mensuales de P, Pf, Pd y los valores calculados de Ic para el año hidrológico abril 1998 a marzo de 1999 se presentan en el cuadro 2.

Desde el 1 de abril de 1998 hasta el 31 de marzo de 1999 se registró un total de 1.346 mm, que corresponde a algo más del 57% de la precipitación de un año hidrológico normal en el sector de Malalcahuello.

La precipitación directa en la parcela bajo Bosque Nativo fue un 66% de la precipitación total, en el rango entre 60 y 75.5% encontrado por Aussenac (1981) para *Fagus sylvatica*, pero inferior al 74% medido por Gutiérrez (1984) y Almirzry (1997) para bosques siempreverdes de Chile. Puesto que estas diferencias no parecen poder explicarse por el nivel de cobertura de copas (Raulí presente en la parcela de Bosque Nativo y *Fagus sylvatica* pierden sus hojas en invierno, por lo que deberían esperarse mayores montos de precipitación directa que en bosques siempreverdes constituidos por especies perennes), sin duda se deberían a las condiciones propias de las precipitaciones en los distintos sitios.

El escurrimiento fustal (Pf) registrado bajo Bosque Nativo fue equivalente al 8% de la preci-

## CUADRO 2

Precipitación incidente (P), precipitación directa (Pd), escurrimiento fustal (Pf) y pérdidas por interceptación (Ic) mensuales y total para el año hidrológico, para ambas cubiertas de bosque.

Monthly and annual precipitation (P), throughfall (Pd), stemflow (Pf), and interception losses (Ic), for both forest covers.

Año hidrológico 1998 1999	P <sub>m</sub> <sup>1</sup>	p	Parcela bajo Bosque Nativo						Parcela bajo Pino Oregón					
			Pd		Pf		Ic		Pd		Pf		Ic	
	(mm)	(mm)	(mm)	(%P)	(mm)	(%P)	(mm)	(%P)	(mm)	(%P)	(mm)	(%P)	(mm)	(%P)
Abril 98	257	141	94	67	9	7	38	27	91	65	7	5	43	30
Mayo 98	347	150	99	66	7	5	44	29	79	53	6	4	66	44
Junio 98	427	99	60	61	5	5	34	34	80	80	5	5	15	15
Julio 98	315	295	186	63	30	10	80	27	162	55	21	7	113	38
Agosto 98	177	208	139	67	21	10	49	23	124	60	14	6	71	34
Septiembre 98	192	113	80	71	10	9	23	20	70	62	8	7	34	31
Octubre 98	181	24	16	66	2	7	7	27	20	84	1	4	3	12
Noviembre 98	110	66	44	66	7	10	16	24	44	67	7	11	15	22
Diciembre 98	141	137	114	83	9	6	15	11	80	59	7	5	49	36
Enero 99	58	47	29	61	4	9	14	30	28	59	3	6	17	36
Febrero 99	40	46	22	49	2	5	21	46	26	57	3	6	17	37
Marzo 99	96	19	9	44	0	2	10	54	8	42	0	2	11	56
Total	2341	1346	891	66	105	8	350	26	812	60	81	6	453	34

<sup>1</sup> P<sub>m</sub> : Precipitación media periodo 1988-1997, Estación Meteorologica Malalcahuello.

pitación total, inferior al rango entre 16.5 y 16.9% para *Fagus sylvatica* (Aussenac 1981), pero superior a las cifras de 3.9 y 1.4% para bosques siempreverdes de Chile (Gutiérrez 1984, Almizry 1997). En este caso, las diferencias entre Pf para estas especies latifoliadas se deben al tamaño de copas, morfología de ramas y troncos y también características de las precipitaciones.

La plantación de Oregón presentó un 60% de precipitación directa, es decir, menor que el Bosque Nativo. En el sitio de la investigación, estas diferencias pueden explicarse por el carácter deciduo de Raulí, lo que reduce la cobertura de copas durante los meses de invierno en la parcela bajo Bosque Nativo y por la mayor densidad y cobertura de la plantación de coníferas.

En el cuadro 2 se observa un mayor aporte equivalente a un 2% de precipitación fustal en Bosque Nativo que en Oregón, lo que concuerda con Lee (1980). En este caso se debería a que el Bosque Nativo fue manejado dejando los mejores ejemplares con fustes cilíndricos, limpios y rectos y que presenten una mayor superficie de copa (25.4 m<sup>2</sup> frente a 14.1 m<sup>2</sup> en Oregón) y a que la morfología de las ramas de Pino Oregón no favorece el flujo de agua desde las ramas al fuste.

La plantación de Oregón presenta una precipitación fustal del 6%, en el rango entre 1 y 10.8% encontrados para otros bosques de coníferas (Almizry 1997, Aussenac 1981, Aussenac y Boulangeat 1980, Howard 1972).

Del análisis de los datos registrados durante la investigación, se determinó la capacidad de saturación del dosel para Bosque Nativo: es del orden de 1.5 mm. Este valor es algo inferior a los 2.1 mm obtenidos por Menzel (1993) para un bosque del tipo siempreverde, que se caracteriza por estar constituido por especies perennes y presentar una mayor estratificación de copas. En esta investigación, la capacidad de almacenamiento en Pino Oregón fue cercana a los 2 mm, algo mayor al observado en la parcela de Bosque Nativo, cuestión que se explica por la mayor cobertura y densidad de dosel.

*Pérdidas por interceptación.* Los valores para Ic (totales y como porcentaje de P) se muestran en el cuadro 2. Estos demuestran la importancia y magnitud de las pérdidas por interceptación por las cubiertas de bosque. Para el período de estudio, 350 mm en el caso del Bosque Nativo y 453 mm en la plantación de Pino Oregón, es decir, entre un 26 y

34% respectivamente, de la precipitación incidente a las masas boscosas se les restaron por intercepción y evaporación al proceso de generación de escorrentías.

Esto confirma que en un mismo sitio la redistribución de precipitaciones es regulada por diferencias entre las coberturas de uno u otro tipo de bosque. Para este estudio, las diferencias entre los montos de  $I_c$  entre ambas parcelas son explicadas por las distintas características físicas que poseen ambos bosques, principalmente de densidad y cobertura del dosel, y que ya fueron analizadas para  $P_d$  y  $P_f$  (Huber, Oyarzún y Vásquez 1985).

Los porcentajes de  $I_c$  determinados en esta investigación para las dos cubiertas son del orden a los encontrados por otros autores. Bajo Bosque Nativo, se han registrado porcentajes en el rango entre 23.1 % para *Fagus sylvatica* (Aussenac 1981) y 29% para un bosque del tipo siempreverde (Almizry 1997). En el caso de plantaciones de Pino Oregón, Aussenac (1981) y Tiktak (1994) han encontrado intercepciones en el rango de 32 a 38%.

La relación entre intercepción ( $I_c$ ) y precipitación total ( $P$ ), por tipo de cubierta vegetal y sin discriminación por rangos de intensidad, y la comparación entre ambas parcelas, puede apreciarse en la figura 2. Las regresiones lineales poseen coeficientes de determinación de 0.82 y 0.94 para Nativo y Oregón, respectivamente, ambos significativos a un nivel de confianza del 95%.

Se ajustaron modelos matemáticos no lineales que explicaron la relación entre  $I_c$  (en porcentaje de  $P$ ) y  $P$  para cada tipo de cobertura (fig. 3). Las regresiones poseen coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0.88 y 0.90 para Nativo y Oregón, respectivamente, ambos significativos a un nivel de confianza del 95%. Se puede apreciar que para eventos con bajas precipitaciones, una elevada proporción de ellas es interceptada por las copas y devuelta a la atmósfera por evaporación. El porcentaje del agua interceptada disminuye a medida que aumentan los montos totales de las lluvias, pero a partir de los 30 mm de precipitación los montos relativos de intercepción tienden a mantenerse constantes en 20 y 30% (de  $I_c$  en porcentaje respecto a  $P$ ) para Nativo y Oregón, respectivamente.

*Efecto de la intercepción en los caudales de crecida en la cuenca del estero Tres Arroyos.* Los hietogramas de las precipitaciones total y precipitación neta para uno de los siete eventos estudiados se describen en la figura 4, junto a los resul-

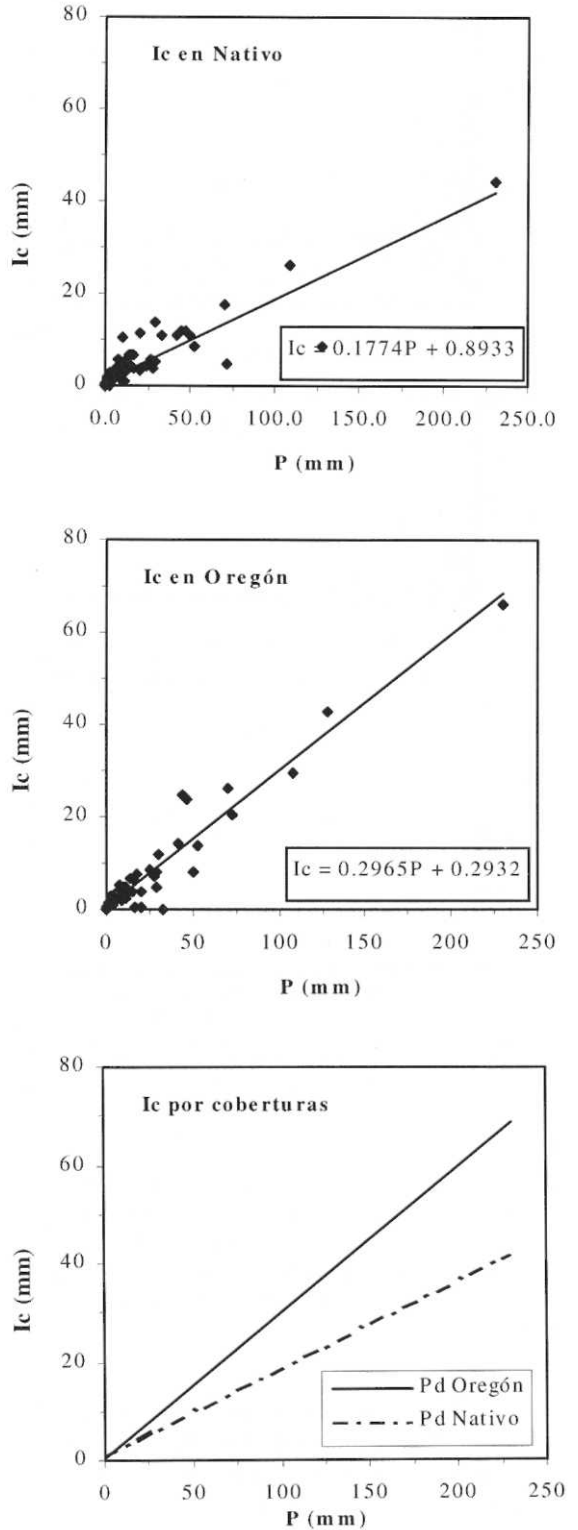


Figura 2. Relación entre  $I_c$  y  $P$  para cada tormenta y por tipo de cobertura de bosque.

Relationship between  $I_c$  and  $P$  for every storm and forest cover type.

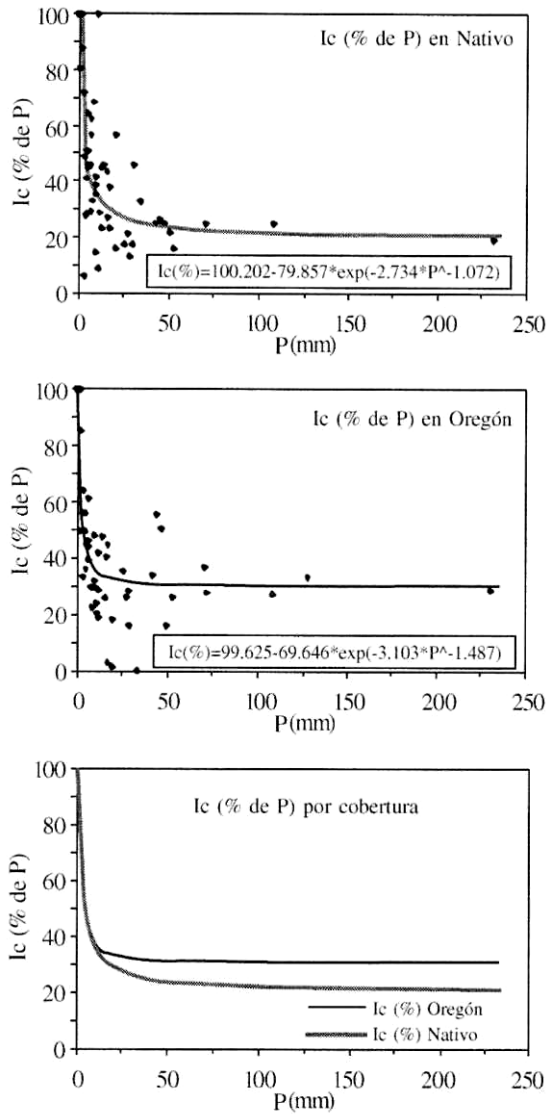


Figura 3. Relación entre precipitación (P) y pérdidas por interceptación (Ic), expresada como porcentaje de P, para las dos coberturas de bosque estudiadas. Relationship between precipitation (P) and interception losses (Ic), expressed as percentage of P, for the two studied forest covers.

tados de la simulación de caudales para las condiciones pradera, cubierta de Bosque Nativo y cobertura de Pino Oregon y a la curva del hidrograma medido en la estación fluviométrica.

En la figura 4 se puede observar el efecto de la cubierta vegetal en los caudales. Los mayores valores de caudal máximo se encuentran en la condición "pradera" y luego "Nativo" y "Oregon" presentan valores similares. Este último registra un

retardo con respecto a Nativo en el *peak* de la crecida, lo que concuerda con lo señalado por Jones y Grant (1996) y se debe a la mayor capacidad de almacenamiento del dosel de la plantación en relación al Bosque Nativo.

Desde el punto de vista de la forma del hidrograma de crecida, es la condición de "pradera" la más parecida a la observada en la estación de control, aun cuando sobreestimado el caudal máximo. En relación al valor de los caudales máximos, las dos condiciones de bosque simulan caudales del orden de los reales, pero éstos están desfasados del caudal real. Todo esto es el resultado de considerar en cada escenario de simulación una precipitación y un número de curva diferente al que representa la condición actual de cobertura de la cuenca. Para la condición de pradera se usó la precipitación incidente, mientras que para los dos tipos de cubierta de bosques se usó la precipitación neta bajo cada dosel. Para todas las simulaciones se empleó un número de curva correspondiente a la condición de "pradera".

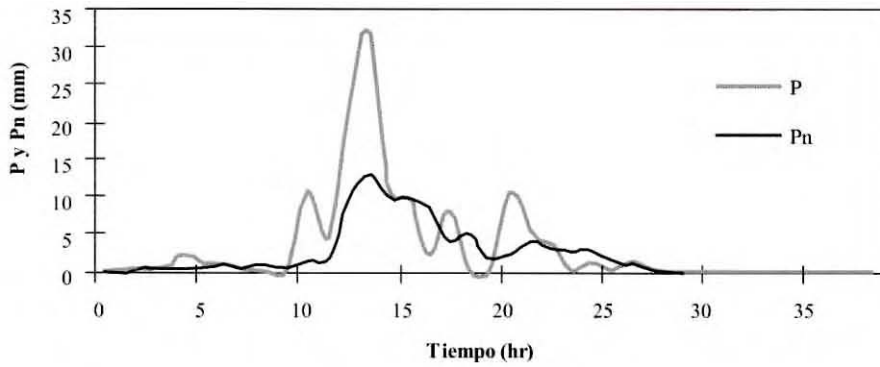
Al establecer un número de curva fijo, se asume una capacidad de infiltración constante independiente del sitio de cubierta, situación que no corresponde con la realidad. Por esto, los resultados de la simulación se consideran sólo orientadores, puesto que lo que interesa en esta etapa del estudio es analizar el comportamiento global del evento en el tiempo, y la influencia de las pérdidas por interceptación de cada tipo de cobertura en la generación de caudales de crecidas.

Las diferencias entre caudales *peak* para los siete eventos considerados en este análisis se presentan en el cuadro 3.

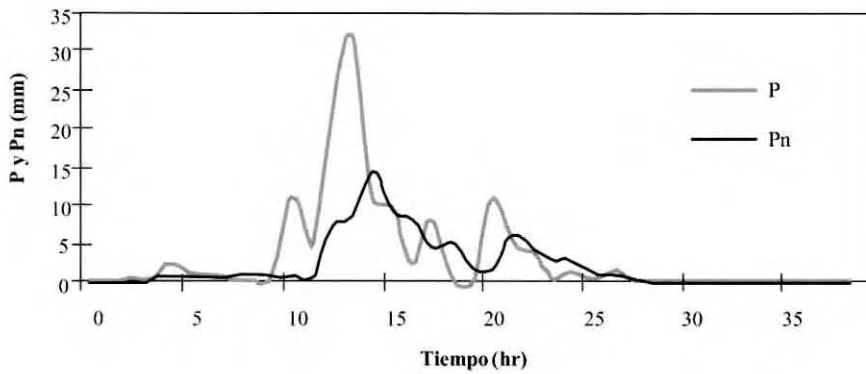
Para los eventos analizados, los caudales máximos de crecidas entre la condición "pradera" son siempre mayores a cualquiera de las dos coberturas de bosque, ya que al compararlos con la condición "Bosque Nativo" son entre 122 y 6.671 l/s más altos y con la condición "Pino Oregon" entre 219 y 6.376 l/s superiores. Estos resultados permiten comprobar el efecto de cualquier cubierta de bosques en la reducción de los caudales máximos de crecidas.

Entre ambas cubiertas de bosque, en seis de los siete eventos es "Bosque Nativo" la condición que genera los mayores caudales, entre 97 y 282 l/s superiores que en el caso de "Pino Oregon". En uno de los eventos, el del 27/12/98, que es justamente el de mayor caudal de los estudiados, la situación se revierte, ya que el caudal bajo "Pino





**Comportamiento de P y Pn en Oregón**



**Caudal de crecida**

27/12/98

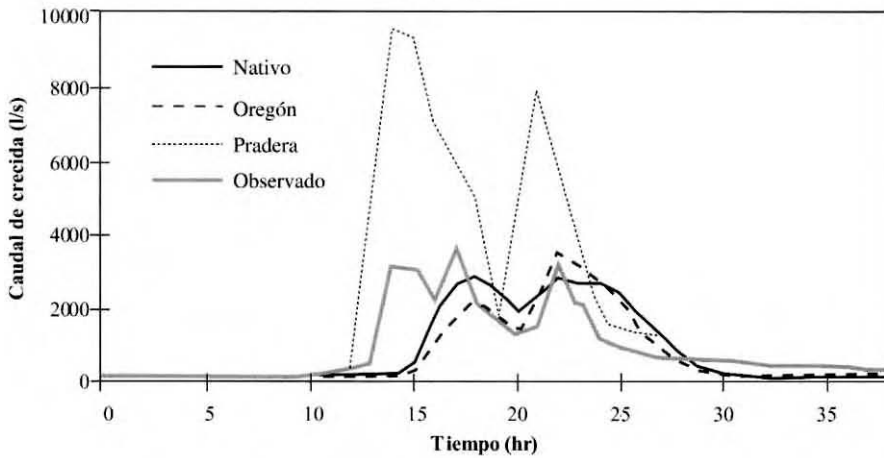


Figura 4. Pluviogramas de P y Pn e hidrogramas (medido y simulados) de la crecida del 27/12/98.

Pluviographs of P and Pn and hydrographs (measured and simulated) of the 27/12/98 flood.

## CUADRO 3

Caudales medidos y simulados en la estación de control de la cuenca del estero  
Tres Arroyos para los siete eventos estudiados.  
Measured and simulated peak flows at the Tres Arroyos gauging station for the seven studied events.

Fecha del evento	Caudales máximos instantáneos l/s			
	Medidos	Simulados en la condición		
		Bosque Nativo	Pino Oregón	Pradera
18/06/98	344	326	229	448
29/06/98	301	364	252	1.367
07/08/98	262	529	325	809
12/08/98	227	357	278	821
18/08/98	344	662	600	1.262
09/09/98	537	784	502	1.258
27/12/98	3.776	2.963	3.528	9.634

Oregón" es 565 l/s más elevado que en la situación de "Bosque Nativo". Una cubierta vegetal como la que entrega la plantación de Pino Oregón tendría un mayor efecto de laminación de crecidas (atenuación de los caudales máximos) que la que estaría proporcionando en la cuenca del estero Tres Arroyos una cubierta de bosque nativo.

Esto último se refuerza al analizar el evento del 18/06/98, para el cual el modelo de simulación no genera una crecida para la condición de cobertura de Pino Oregón. Esto indicaría que las precipitaciones registradas para ese evento no serían capaces de generar crecidas si toda la cuenca estuviera cubierta por un bosque de este tipo, pero bajo bosque nativo, y más aún en la condición sin cubierta de bosques (o "pradera"), sí existirían crecidas.

En los eventos analizados no se pudo encontrar una relación clara entre la intensidad de las precipitaciones y su efecto en los montos de las crecidas y sus diferencias entre las distintas coberturas. Sí se pudo observar que a mayores precipitaciones, las crecidas son lógicamente mayores.

Finalmente, puede decirse que la cobertura afecta de manera importante a la generación de caudales máximos, ya que esta investigación está encontrando claras diferencias para los distintos ti-

pos de cobertura analizados. Una reducción de la cubierta de bosques podría traer aumentos desfavorables en la escorrentía y procesos erosivos, ya que la vegetación, por medio de las pérdidas por intercepción, puede ejercer una gran regulación sobre los procesos antes mencionados (Iroumé *et al.* 1989).

Estos primeros resultados deben ser considerados con mesura. Es efectivo que se han registrado diferencias en los caudales máximos asociados a diferentes cubiertas vegetales. Sin embargo, los eventos que se han presentado corresponden a crecidas con períodos de retorno bajos. La tormenta del 27 de diciembre de 1998, que generó el mayor caudal máximo de los casos estudiados, provocó un *peak* simulado para la condición pradera algo superior a los 9.600 l/s, que es del orden del caudal máximo para un período de retorno de dos años, estimado para la cuenca por la Dirección General de Aguas (1998). Esto confirma a Calder (1992), entre otros, en relación al importante efecto de la cubierta vegetal en tormentas con períodos de retorno bajos, de hasta unos 10 años, cuestión que tiende a reducirse en el caso de eventos extraordinarios.

Al comparar los hidrogramas de las crecidas simuladas, para tres condiciones diferentes de cobertura en la cuenca, con las efectivamente re-

gistradas en las tormentas seleccionadas, se aprecian las lógicas diferencias, producto de considerar la precipitación total en la condición "pradera" y sólo la precipitación neta en ambas condiciones de cubierta de bosques. La condición actual en la cuenca de control del estero Tres Arroyos no es la que se definió para las simulaciones, ni en términos de cubierta ni de precipitación efectiva.

Es posible extrapolar el efecto de la intercepción en los caudales de crecida a las escorrentías anuales (Fahey 1994). Puesto que en zonas templado-húmedas gran parte de la pérdida por intercepción representa una adición neta a las pérdidas por evaporación desde cuencas (Calder 1992, Ward y Robinson 1989), esta situación debe ser considerada al momento de decidir el establecimiento de plantaciones en áreas previamente destinadas a praderas u otros cultivos, en cuencas que abastecen, por ejemplo, demandas de agua potable y para regadío, de modo de compatibilizar el desarrollo de los bosques con la necesidad de asegurar el suministro del recurso hídrico. Sin embargo, por su efecto laminador de crecidas en los períodos de mayores tormentas de lluvia, los bosques juegan un papel importante en la estabilidad ambiental de las cuencas, especialmente en las de zonas de montaña.

## CONCLUSIONES

Durante el año hidrológico abril 1998-marzo 1999, un 26 y un 34%, para Bosque Nativo y Pino Oregón, respectivamente, de la precipitación incidente es interceptada por las copas y devuelta a la atmósfera por evaporación. Es decir, en ambos tipos de cubierta de bosques, algo menos de un tercio de la precipitación que llega al nivel de las copas se resta por evaporación del proceso de generación de escorrentías.

Las mayores intercepciones, en el caso de Pino Oregón, comparado con Bosque Nativo, se explican por la mayor cobertura de la primera y por la presencia de especies de hojas caducas (específicamente Raulí) en la segunda.

Finalmente, se han detectado cambios potenciales en los caudales de crecida asociados a las condiciones de intercepción de las lluvias por parte del tipo de cubierta de la cuenca. La cubierta de bosques reduce sensiblemente los caudales de crecida al compararlos con una condición de pradera

o vegetación baja. Sin embargo, los eventos estudiados corresponden a tormentas con períodos de retorno inferiores a 30 años, que son justamente los que en mayor medida se ven afectados por la reducción por intercepción de los aportes de lluvia a nivel del suelo. Esta parte de la investigación debe completarse, incorporando tormentas de mayor magnitud a medida que sean registradas, y caracterizando de mejor forma las condiciones de las cuencas ante diferentes opciones de cubierta vegetal.

Debido a la pérdida neta por evaporación del agua interceptada por las copas de los árboles, el establecimiento de plantaciones en cuencas abastecedoras de agua potable y riego debe compatibilizar el desarrollo de los bosques con la necesidad de asegurar el suministro del recurso hídrico. Sin embargo, por su efecto laminador de crecidas, los bosques juegan un papel importante en la estabilidad ambiental de las cuencas.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMIZRY, P. 1997. Redistribución de las precipitaciones en plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) con diferentes edades y manejo en la zona de Collipulli, IX Región. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 87 p.
- AUSSENAC, G. 1981. Influence de Hêtre sur le cycle de l'eau et sur le microclimat, Le Hêtre. INRA, Département des Recherches Forestières, Paris, France, 613 p.
- AUSSENAC, G., C. BOULONGEAT. 1980. "Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus sylvatica*) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii*)", *Annales des Sciences Forestières*, 37(2): 91-107.
- CALDER, I. R. 1992. "The hydrological impact of land-use change with special reference to afforestation and deforestation", Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, Natural Resources and Engineers Advisers Conference. Southampton, July 1992, Overseas Development Administration, p. 91-101.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1998. *Cuenca experimental representativa, Reserva Forestal Malalcahuello, cuenca río Imperial, IX Región de la Araucanía, Informe Anual N°2: Avances en las investigaciones*. Convenio DGA-Universidad Austral de Chile. Valdivia, DGA, 120 p.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1999. *Cuenca experimental representativa, Reserva Forestal Malalcahuello, cuenca río Imperial, IX Región de la Araucanía, Informe de Avance N° 3: Avances en las investigaciones principales*. Convenio DGA-Universidad Austral de Chile. Valdivia, DGA, 74 p.
- FAHEY, B. 1994. "The effect of plantation forestry on water yield in New Zealand", *N.Z. Forestry* 18-23.
- GUTIÉRREZ, R. 1984. Estudio comparativo de la redistribución de las precipitaciones entre un bosque Siempreverde y Alerce. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 90 p.

- HOWARD, O. 1972. *Throughfall and stemflow relationships in second growth Ponderosa pine in the Black Hills* USDA Forest Service, Research Note, 7 p.
- HUBER, A., C. OYARZUN. 1984. "Factores reguladores de la interceptación de un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don)", *Bosque* 5(2): 59-64.
- HUBER, A., C. OYARZUN, S. VASQUEZ. 1985. "Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don). I: Redistribución de las precipitaciones", *Bosque* 6(1): 3-14.
- IROUME, A., 1997. "Estudio de los procesos hidrológicos en una cuenca experimental forestal andina de la IX Región, Chile", *Bosque* 18(1): 73-82.
- IROUME, A., J. GAYOSO, L. INFANTE. 1989. "Erosión hídrica y alteración del sitio en cosecha a tala rasa", *Ecologie et Biologie du Sol* 26(2): 171-180.
- JONES, J., G. GRANT. 1996. "Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon", *Water Resources Research* 32 (4): 959-974.
- LEE, R. 1980. *Forest hydrology*. Columbia University, New York, USA, 349 p.
- MENZEL, T. 1993. Redistribución de las precipitaciones en un bosque Siempreverde en la provincia de Valdivia. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 83 p.
- MEUNIER, M. 1996. "La cubierta forestal y las crecidas en las pequeñas cuencas de montaña", *Unasyva* 47 (185): 29-37.
- SHAW, E.M. 1996. *Hydrology in practice*. Chapman & Hall, London, 569 p.
- TAK, A. 1994. "Soil water dynamics and long-term water balances of a Douglas fir in the Netherlands", *Journal of Hydrology* 156 (1): 265-283.
- WARD, R., M. ROBINSON. 1989. *Principles of Hydrology* Third Edition, McGraw-Hill, London, 365 p.