

Respuesta de los caudales máximos al manejo de bosques de plantaciones en cuencas experimentales en el sur de Chile

ANDRÉS IROUMÉ¹, CLAUDIA CASTILLO², HELEN PRIMROSE³,
ANTON HUBER⁴ & JAMES BATHURST⁵

¹ Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Manejo Forestal, Casilla 567, Valdivia, Chile
airoume@uach.cl

² Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal, Casilla Postal 567, Valdivia, Chile

³ University of Newcastle upon Tyne, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, UK

⁴ Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Instituto de Geociencias, Casilla 567, Valdivia, Chile

⁵ University of Newcastle upon Tyne, Institute for Research on Environment and Sustainability, Devonshire Building 3.16, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, UK

Resumen Se discuten resultados sobre cambios hidrológicos generados por intervenciones en bosques de plantaciones en el sur de Chile, con especial énfasis en los caudales máximos. En una de las áreas de estudio (cuenca La Reina, 34,4 ha) se comparan los caudales máximos del periodo de pre-cosecha (1997 a 1999) con los del periodo de post-cosecha (desde 2000). Los caudales máximos aumentaron un 66% en los eventos ‘menores’ y un 42% en los eventos ‘mayores’, luego de la cosecha a tala rasa de la plantación de *Pinus radiata*. Los análisis mostraron que los caudales máximos de cada año del periodo post-cosecha seguían siendo significativamente mayores que los registrados antes de la cosecha del bosque. Estos resultados, junto a los obtenidos en las otras áreas de estudio, pretenden contribuir a la gestión integrada de bosques y aguas y al desarrollo sustentable de la actividad forestal en bosques de plantaciones en Chile.

Palabras claves caudales máximos; plantaciones forestales; cuencas experimentales; Chile

Peak flow changes in a managed-forest experimental basin in southern Chile

Abstract Results on hydrological changes following forest operations in southern Chile are discussed. In one of the study areas (La Reina catchment, 34.4 ha) peak flows from the pre-harvesting period (1997–1999) are compared with those from the post-harvesting period (since 2000). Peak flows increased by 66% in the “small” rainfall events and 42% during “large” events after clearcutting the *Pinus radiata* plantation. The analysis showed that peak flows in each year of the post-harvest period were still significantly higher than those registered before clearcutting. These results, together with those obtained in the other study areas, are intended to contribute to the integrated forest and water resources management and to the sustainability of the forest plantation development in Chile.

Keywords peak flows; forest plantations; experimental catchments; Chile

INTRODUCCION

Diversos estudios han estado analizado críticamente una serie de “mitos” asociados a la hidrología forestal, en particular algunos no suficientemente respaldados por evidencia científica respecto a los impactos de los bosques en los caudales extremos, al rol de la cubierta forestal en la generación de precipitaciones y en el mejoramiento de la calidad del agua (McCulloch & Robinson, 1993; Calder, 1999; FAO & CIFOR, 2005).

Respecto al efecto de los bosques en los caudales medios anuales y en los períodos de estío hay una mayor concordancia: estos caudales son menores en cuencas forestadas al comparar con una condición de menor coberturas arbórea, y esto parece ser cierto en un amplio rango de condiciones climáticas (Bosch & Hewlett, 1982; Kirby *et al.*, 1991; Whitehead & Robinson, 1993; Calder, 1993; Robinson *et al.*, 2003; Iroumé *et al.*, 2005). Aún cuando persisten dudas sobre el efecto de diversas prácticas de manejo forestal (incluyendo los métodos de cosecha y madereo) y el impacto en la hidrología local durante el periodo de post-cosecha, tanto la cantidad de investigaciones como las conclusiones resultantes son suficientemente comprensivas (Robinson *et al.*, 2003).

En contraste, las investigaciones respecto a los efectos de los bosques y su manejo en los caudales máximos (e.g. Jones & Grant, 1996; Thomas & Megahan, 1998), son menos concluyentes. Gran parte de la controversia vinculada a los cambios en los caudales máximos asociados a las intervenciones forestales se genera, entre otros, por la incertidumbre respecto al efecto del tamaño de las cuencas, a la respuesta de las mismas frente a tormentas de distintas magnitudes y a la duración del efecto luego de la remoción de la plantación hasta que los caudales alcanzan los niveles de la condición de pre-cosecha.

En relación con la magnitud de las tormentas, mientras muchos estudios concuerdan que “en promedio” los caudales máximos generalmente aumentan luego que el bosque es intervenido, se han presentado conclusiones a veces contradictorias al comparar la influencia de la cubierta en los caudales máximos generados por tormentas menores con los de tormentas extremas. Respecto a esto último, Smith (1987) encontró que la cosecha de un bosque afecta crecidas de periodos de retorno de hasta 100 años mientras que Thomas & Megahan (1998) no detectaron ningún cambio para crecidas con periodos de retorno mayores a 2 años.

Sobre la duración del efecto, Bari *et al.* (1996) reportan que sólo se aprecia los primeros años luego de la cosecha pero Ruprecht & Stoneman (1993) han encontrado que puede durar hasta 12–15 años.

Este trabajo aborda el análisis de caudales máximos generados por tormentas de lluvia de diferente magnitud, tanto para los periodos de pre y post-cosecha en una misma cuenca como entre cuencas vecinas con plantaciones de diferente estado de desarrollo, todas ellas localizadas en el sur de Chile.

Este estudio se enmarca en el proyecto EPIC FORCE (Evidence-Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt), investigación financiada como parte del “Sixth Framework Programme-Specific Measures in Support of International Cooperation (INCO) in Developing Countries, 2004” de la Comunidad Europea. Reconociendo la existencia de limitaciones en América Latina en la aplicación de políticas integradas para el manejo de bosques y agua, EPIC FORCE pretende mejorar la comprensión de la dinámica de la intervención de bosques durante eventos extremos de precipitación, e incorporar mayor base científica en las decisiones de gestión para facilitar el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos y forestales.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a tres cuencas experimentales, denominadas La Reina, Los Ulmos1 y Los Ulmos2, ubicadas en la Décima Región, Chile. La localización y algunos antecedentes geográficos de las cuencas se muestran en la tabla 1. La descripción del clima y suelos se encuentra en Iroumé *et al.* (2005) e Iroumé *et al.* (2006).

En la cuenca La Reina (34.4 ha) se comparan los caudales máximos del periodo de pre-cosecha (años 1997 a 1999, plantación de *Pinus radiata* establecida el año 1977 cosechada a tala rasa a fines de 1999–principios de 2000) con los del periodo de post-cosecha (desde el año 2000, plantación de *Eucalyptus nitens* establecida el año 2000). En el sector Los Ulmos se compara durante el periodo 2000–2005 el efecto en los caudales máximos de bosques de plantaciones de similares características pero de diferente edad, en las cuencas Los Ulmos1 (10.8 ha, plantación de *Eucalyptus nitens* del año 1997) y Los Ulmos2 (16.1 ha, plantación de *Eucalyptus nitens* del año 2000).

En la investigación, las tormentas de lluvia se clasificaron según el volumen de las precipitaciones en eventos “pequeños” (5–10 mm), “medios” (10–50 mm) y “grandes” (mayores a 50 mm). Se definieron tormentas individuales aquellos periodos con precipitación antecedidos y seguidos por 5 horas sin lluvias. No se consideraron en los análisis las tormentas con volúmenes de precipitación inferiores a 5 mm dado su errático comportamiento en la generación de caudales de crecida (en estas tormentas de muy bajo volumen, las condiciones previas de contenido de humedad del suelo y de las copas son relevantes en la respuesta hidrológica a una lluvia).

Tabla 1 Localización y antecedentes geográficos de las cuencas.

Cuenca	Localización	Superficie (ha)	Densidad de drenaje (m ha ⁻¹)	Pendiente media (%)	Rango de altitud (m s.n.m.)
La Reina	40°20'25"S 73°27'59"W	34.4	78.8	23.7	35–225
Los Ulmos1	40°02'50"S 73°06'86"W	10.8	165.1	12.0	175–230
Los Ulmos2	40°02'40"S 73°05'44"W	16.1	58.9	23.7	155–210

La magnitud de las diferencias en caudal máximo, entre distintos períodos, para la cuenca La Reina y entre cuencas, para Los Ulmos 1 y Los Ulmos 2, se calculó mediante la relación de medias expresada en porcentaje. La significancia de éstas se determinó con la prueba no paramétrica U de Mann Whitney, para un 99% de confiabilidad.

RESULTADOS

Los resultados presentados en la tabla 2, muestran que en la cuenca La Reina, para las tres categorías de tamaño de eventos de precipitación, los caudales de post-cosecha son mayores que los de pre-cosecha (diferencias estadísticamente significativas), lo que indica que la remoción de la cubierta vegetal tiene un efecto significativo en los caudales, incluso en los eventos extremos. Sin embargo, el aumento en los caudales del período de post-cosecha en los eventos grandes es menor que los de la categoría pequeños. Esto parece confirmar que el efecto de las operaciones forestales es de mayor importancia en eventos de periodos de retorno menores.

Considerando el primer y último de los años después de la cosecha de la plantación en la cuenca La Reina (años 2000 y 2005, respectivamente), el cálculo del porcentaje de aumento en las medianas de los valores de caudales máximos de cada categoría de eventos produce los siguientes resultados:

- Eventos pequeños: pre-cosecha al año 2000, aumento es 67%, y pre-cosecha al año 2005, aumento es 87%.
- Eventos medios: pre-cosecha al año 2000, aumento es 38%, y pre-cosecha al año 2005, aumento es 65%.
- Eventos grandes: Pre-cosecha al año 2000, aumento es 32%, y pre-cosecha al año 2005, aumento es 52%.

Estos resultados, junto a la información presentada en la tabla 2, muestran que a pesar del desarrollo de la nueva plantación establecida el año 2000, los caudales al quinto año de la intervención son aún significativamente mayores a los del periodo de pre-cosecha. Para observar estos resultados en forma gráfica y poder visualizar alguna tendencia, los valores de las medianas de los caudales máximos de cada periodo y tamaño de evento se presentan en la figura 1.

Tabla 2 Mediana de los caudales máximos por tamaño de evento, para el periodo de pre-cosecha y cada año del periodo de post-cosecha, cuenca La Reina.

	Año	Tamaño del evento		
		Pequeño	Medio	Grande
Mediana de los caudales máximos, condición de pre-cosecha ($L s^{-1}$)	Todos	4.6	18.5	69.2
Mediana de los caudales máximos, condición de post-cosecha ($L s^{-1}$)	2000	13.8	29.8	101.3
	2001	11.7	29.5	180.2
	2002	14.2	46.6	100.6
	2003	13.1	41.2	154.9
	2005	35.4	53.1	144.6

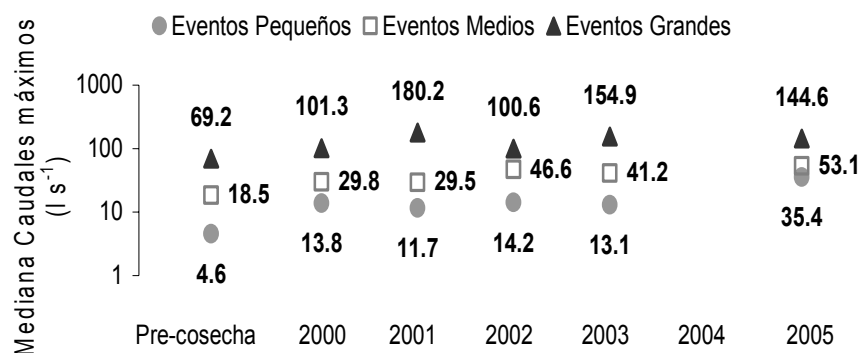


Fig. 1 Tendencias en los valores de la mediana de los caudales máximos para el periodo de pre-cosecha y cada uno de los años del periodo de post-cosecha, cuenca La Reina.

De la tabla 2 y la Fig. 1 se puede observar que los cambios en los valores de los caudales durante los primeros años luego de la remoción de la plantación no muestran un aumento importante inicial seguido de una gradual disminución tendiendo hacia los niveles de caudales de la condición de pre-cosecha. No hay un patrón consistente para ninguna de las categorías de tamaño de eventos, y tampoco es posible notar, por ejemplo, un año particular del periodo de post-cosecha donde todas las medianas de caudales máximos hayan alcanzado un “máximo”.

En la figura 2 se muestra gráficamente la comparación de la mediana de los caudales máximos ($L s ha^{-1}$) registrados en las cuencas Los Ulmos1 y Los Ulmos2.

Para las tormentas “pequeñas”, los caudales máximos en Los Ulmos 2 (con una plantación con 4 años de mayor desarrollo que la de Los Ulmos1) son mayores que los registrados en Los Ulmos1 (Fig. 2(a)). Estas diferencias son significativas sólo entre los años 2000 y 2003. Para los años 2004 y 2005 los caudales no muestran diferencias importantes, lo que se explicaría por el nivel de desarrollo del bosque en Los Ulmos1 que empieza a ser similar en términos de cobertura al de Los Ulmos2.

Para las tormentas de la categoría “grandes”, no se presenta ninguna tendencia clara (Fig. 2(b)). En este tipo de tormentas extremas, es posible que la diferencia entre las coberturas tenga un menor efecto en los procesos de generación de caudales, y variables como densidad de la red de drenaje o pendiente de las cuencas tengan un rol más preponderante.

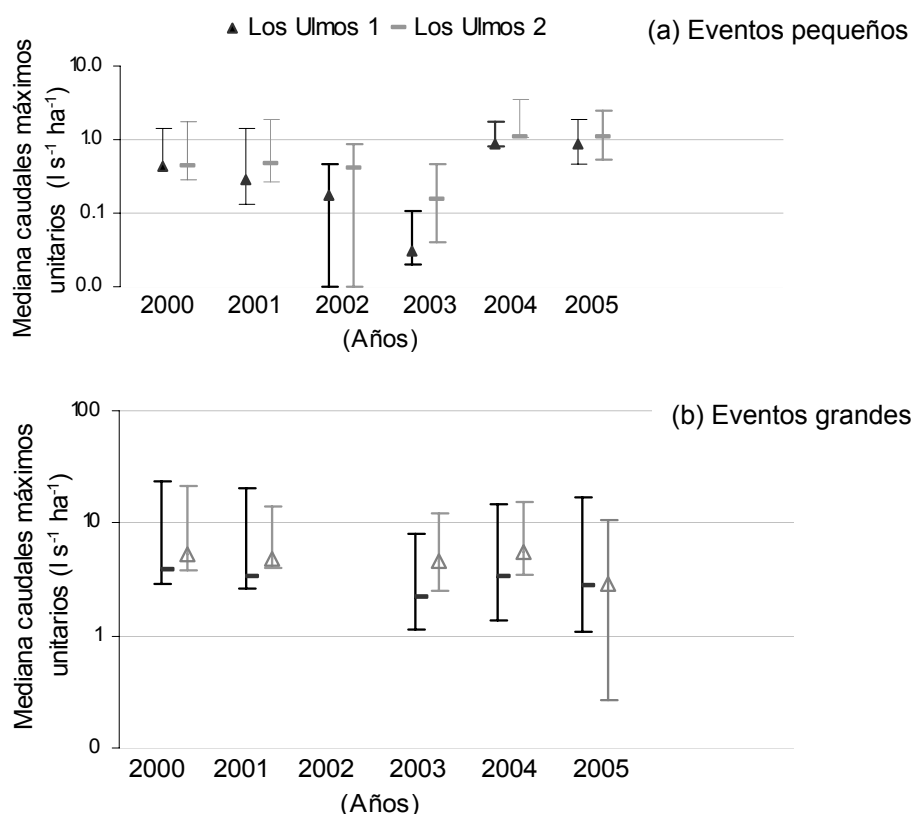


Fig. 2 Comparación de la mediana de los caudales máximos de las cuencas Los Ulmos 1 y Los Ulmos 2, para tormentas pequeñas (arriba) y tormentas grandes (abajo).

CONCLUSIONES

La cosecha a tala rasa del bosque de la cuenca La Reina generó aumentos en los caudales del periodo de post-cosecha, al compararlos con los registrados en el de pre-cosecha. Las mayores diferencias ocurren para las tormentas menores, y los caudales máximos luego de la remoción de la plantación no muestran una tendencia como pudiera haberse esperado de un aumento importante inicial seguido de una gradual disminución tendiendo hacia los niveles de caudales de la condición de pre-cosecha.

Tal como se aprecia de los análisis en las cuencas Los Ulmos, el efecto de 4 años de mayor desarrollo del bosque en Los Ulmos2 en comparación con el Los Ulmos1 sólo se nota al comparar los caudales generados por tormentas menores.

Los mayores impactos ocurren ante cambios importantes en la cobertura forestal.

Agradecimientos Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto EPIC FORCE, contrato INCO-CT2004-510739.

REFERENCIAS

- Bari, M. A., Smith, N., Ruprecht, J. K. & Boyd, B. W. (1996) Changes in streamflow components following logging and regeneration in the southern forest of Western Australia. *Hydrol. Processes* **10**, 447–461.
- Bosch, J. M. & Hewlett, J. D. (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* **55**, 3–23.
- Calder, I. R. (1993) The Balquhider Catchment water balance and process experiment results in context—what do they reveal? *J. Hydrol.* **145**, 467–477.
- Calder, I. R. (1999) *The Blue Revolution*. Earthscan, London, UK.
- FAO & CIFOR (2005) *Forests and Floods, Drowning in Fiction or Thriving on Facts?* RAP Publication 2005/03, Forest Perspectives 2.
- Iroumé, A., Huber, A. & Schulz, K. (2005) Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile. *J. Hydrol.* **300**, 300–313.
- Iroumé, A., Mayen, O. & Huber, A. (2005) Runoff and peak flow responses to timber harvest and forest age in Southern Chile. *Hydrol. Processes* **20**, 37–50.
- Jones, J. A. & Grant, G. E. (1996) Peak flow response to clearcutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resour. Res.* **32**, 959–974.
- Kirby, C., Newson, M. D. & Gilman, K. (1991) *Plynlimon Research: The First Two Decades*. Institute of Hydrology Report no. 109, Wallingford, UK.
- McCulloch, J. S. G. & Robinson, M. (1993) History of forest hydrology. *J. Hydrol.* **150**, 189–216.
- Robinson, M., Cognard-Plancq, A.-L., Cosandey, C., David, J., Durand, P., Führer, H.-W., Hall, R., Henriques, M. O., Marc, V., McCarthy, R., McDonnell, M., Martin, C., Nisbet, T., O’Dea, P., Rodgers, M. & Zollner, A. (2003) Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. *Forest Ecol. Manage.* **186**, 85–97.
- Ruprecht, J. K. & Stoneman, G. L. (1993) Water yield issues in the jarrah forest of south-western Australia. *J. Hydrol.* **150**, 369–391.
- Smith, P. J. T. (1987) Variation of water yield from catchments under grass and exotic forest, east Otago. *J. Hydrol. NZ* **26**, 175–184.
- Thomas, R. B. & Megahan, W. F. (1998) Peak flow response to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon: a second opinion. *Water Resour. Res.* **34**, 3393–3403.
- Whitehead, P. G. & Robinson, M. (1993) Experimental basin studies—an international and historical perspective of forest impacts. *J. Hydrol.* **145**, 217–230.