

Caudales punta y los efectos del cambio de cobertura vegetal, en la cuenca del río Purapel, Región del Maule, Chile

Peaks flows and the effects of the change of vegetal cover, in the Purapel river basin, Region of the Maule, Chile

ROBERTO PIZARRO T.¹; SANDRA ARAYA C².; CRISTIÁN JORDÁN D¹.; CÉSAR FARÍAS D¹.

¹Departamento de Gestión Forestal y Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile. Casilla 721, Talca, Chile.

e-mail: rpizarro@utalca.cl; cjordan@utalca.cl; cfarias@utalca.cl

²Ingeniero Forestal. E-mail: sandraaraya@entelchile.net

SUMMARY

RESUMEN

Se estudió el comportamiento de los caudales punta para el periodo 1960 –2000, en la cuenca del río Purapel, región del Maule, Chile; y el efecto provocado por los cambios en la cobertura vegetal presente en la cuenca. Para ello se realizaron comparaciones estadísticas entre décadas y por periodos (1960/1978, 1979/2000), a nivel mensual, anual, caudales puntas máximos anuales y estivales, y se contrastaron con los resultados del análisis multitemporal realizado a los años 1955, 1978 y 1997. Los caudales punta mostraron un comportamiento irregular en el periodo, no presentando diferencias significativas para la gran mayoría de las comparaciones realizadas. Las variaciones de cobertura vegetal se reflejaron en un cambio de tipo de bosque, de bosque nativo a plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don), no provocaron alteraciones en la generación de caudales punta, sino que más bien las variaciones en los valores de caudales punta, especialmente en la década del 80, fueron producto de montos de precipitación muy superiores al resto del periodo. Lo anterior señala en una primera aproximación, la presencia de un comportamiento hidrológico similar entre el bosque nativo y las plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) presentes en la cuenca

Palabras clave: caudales punta, análisis multitemporal, variación vegetacional.

INTRODUCCIÓN

Los caudales que se registran a la salida de una cuenca hidrográfica, están relacionados con una serie de variables, como las precipitaciones, las características morfométricas y la cobertura vegetal presente (Llamas, 1993). Así, mientras mayores sean los montos e intensidades de precipitación, y mayor el tamaño de la cuenca, mayores serán los volúmenes de caudal.

La cobertura vegetal, especialmente los bosques, cumple un importante rol sobre la escorrentía, ya que disminuye drásticamente las aportaciones de agua superficial, la velocidad de escorrentía y el caudal punta de la descarga (López, 1998). La remoción de la cobertura vegetal provoca alteraciones al ciclo hidrológico, principalmente por una supresión de la evapotranspiración y una redistribución y cantidad de las precipitaciones que llegan a la superficie, aumentando el escurrimiento superficial (Reinhart, *et al*, 1963; Wright *et al*, 1990; Lavabre *et al*, 1991). La sustitución o eliminación de una cubierta vegetal, altera de la misma forma a las reservas de agua como los caudales punta, especialmente durante los meses de verano, ya que durante estos meses los caudales punta no se encuentran influenciados por las precipitaciones, sino que responden más bien a la existencia de reservas de agua (Meunier *et al*, 1996). Esta situación adquiere una particular relevancia cuando se talan superficies forestadas con especies de rápido crecimiento y de elevado consumo de agua (Huber *et al*, 1985; Anderson *et al*, 1991; Bosch *et al*, 1991).

Así como una remoción de la cobertura vegetal existente provoca importantes cambios en el balance hídrico de una cuenca, la forestación y reforestación provocan el efecto contrario sobre los caudales registrados, aunque la magnitud de respuesta es altamente variable e impredecible (Hibbert, 1966). El incremento de la presencia de cobertura forestal, en reemplazo de zonas de pastos, puede determinar la rebaja hasta en 40 mm en el caudal anual (Calder, 1992),

La cobertura forestal, provoca una mayor cantidad de intercepción de precipitaciones (Huber y Oyarzún, 1983; Huber *et al*, 1985), así como también una reducción importante de los valores de caudal (Iroumé y Huber, 2000), disminuyendo de la misma forma las magnitudes de los caudales punta de las crecidas (Meunier *et al*, 1996), y los caudales puntas estivales (Ayer, 1968; Singh, 1982).

En este contexto, el presente trabajo analiza el comportamiento de los caudales punta, a nivel mensual y anual, durante un periodo de 40 años, comprendido entre 1960-2000, para la cuenca del río Purapel, en la Región del Maule, Chile. Junto con ello, se evalúa la influencia que provocaron los cambios de cobertura vegetal sufridos por la cuenca, sobre la generación de caudales punta.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Purapel se ubica en el secano interior de la Cordillera de la Costa de la Región del Maule, Chile. Forma parte de la hoya hidrográfica del Río Maule y cuenta con un área de tributación de 259 km², hasta la estación de aforo en Nirivilo, (35° 34' LS; 72° 05' LO). Su cota máxima es de 540 m.s.n.m. y su cota mínima, en el punto de salida, es de 96 m.s.n.m. La orientación del cauce principal es de oeste al suroriente, con una longitud de alrededor de 25 Km., presentando un régimen estrictamente pluvial (figura 1)

La cuenca presenta un clima de tipo mediterráneo, con dos estaciones semejantes, con seis meses secos y seis meses húmedos. Las precipitaciones medias anuales se estiman en 810 mm, siendo julio el mes más lluvioso con 194,2 mm y enero el mes más seco, con 4,4 mm (Pizarro y Jordán, 2002). En cuanto al régimen térmico, ésta presenta una temperatura media anual de 15,2° C, con temperaturas máximas promedio de 28,5° C en enero y mínimas promedio de 5,4° C en julio.

Los suelos de la cuenca están constituidos por residuos de erosión de los lomajes de la hoya, compuestos principalmente por arenas medias a fina. Éstos pertenecen a las series Reguegua, Las Garzas, Purapel, San Lorenzo, Huapi, Vaquería, Cauquenes, Quella y Quipato.

En cuanto a la vegetación presente en la cuenca, está compuesta principalmente por plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don), bosque nativo y terrenos agrícolas (Pizarro *et al*, 2003).

Los niveles de agua se encuentran controlados de forma continua desde 1957, mediante una estación de aforos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.) nacional. La estación cuenta con un limnómetro y un limnógrafo mecánico, como también un linnígrafo electrónico.

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Purapel, Chile.

MATERIAL Y MÉTODO

La metodología empleada comprende tres fases principales. En primer término, se realizó un análisis de cobertura vegetal; luego se determinaron los caudales punta para la serie en estudio, para finalmente integrar y contrastar las dos primeras fases metodológicas.

Análisis multitemporal

Se estableció un análisis de la cobertura vegetal, con la finalidad de establecer los cambios vegetacionales producidos en la cuenca durante el periodo estudiado, y su influencia en la producción de agua y generación de caudales punta. Éste se realizó en tres instantes, 1955, 1978 y 1997. Para el primer año se contó con mosaicos (4) de CIREN, Centro de Información de Recursos Naturales, escala 1:20000, confeccionados a partir de fotografías aéreas verticales del año 1955. Para los otros dos años se contó con ortofotos, confeccionadas a partir de fotografías aéreas de los vuelos Chile60 y Geotec, respectivamente. Luego, a través de la fotointerpretación de la información, se determinó y clasificó la vegetación existente para cada instante, para luego digitalizar y realizar la integración con un sistema de información geográfico, mediante el software Arc/Info 3.5. La elaboración de la cartografía digital se obtuvo mediante el software Arc Wiew 3.1.

Caudales Punta

Se estimaron los caudales punta mensuales y anuales para una serie comprendida entre los años 1960 y 2000. Ellos se obtuvieron del registro continuo de los niveles de agua realizado por el limnógrafo de la estación de aforo Purapel en Nirivilo ($35^{\circ} 33' \text{ LS}$, $72^{\circ} 05' \text{ LO}$). Los caudales máximos para cada mes, se determinaron a partir de la lectura del nivel máximo de agua mensual (m) en el limnograma y la posterior transformación a caudal (m^3/s), mediante la curva de descarga, determinada específicamente para la cuenca. Por otro lado, la serie de datos presentó una carencia de 20 datos mensuales en total, información que fue completada mediante el método de los promedios históricos (Unesco, 1982).

Luego de determinada la información base, y con la finalidad de realizar un análisis más preciso, los caudales punta se diferenciaron en dos periodos, según el régimen de precipitaciones de la cuenca. De esta manera, el periodo seco estuvo comprendido entre los meses de noviembre y marzo y, por otro lado, el periodo húmedo abarcó entre abril y octubre.

Análisis estadístico

El análisis de los caudales punta se basó principalmente en comparaciones estadísticas a través de la prueba no paramétrica U de Mann Whitney. Se realizaron comparaciones entre décadas para los meses, total anual, caudales punta máximos anuales y estivales. Los resultados preliminares del análisis multitemporal arrojaron que al año 1978, se produjeron los principales cambios de cobertura vegetal, lo que determinó que se incluyeran comparaciones para las mismas variables, pero entre los periodos 1960/1978 y 1979/2000 (Pizarro *et al*, 2003). El test de hipótesis correspondió a uno de dos colas, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

El análisis gráfico se realizó en base a promedios móviles, los cuales se determinaron para el total anual, y para los periodos húmedo y seco a nivel mensual. El valor de un punto de la gráfica corresponde al promedio entre un valor de caudal punta, Q_i , y el caudal punta antecesor, $Q_{(i-1)}$, y posterior, $Q_{(i+1)}$ (Mendelhall y Reinmuth, 1981; Mason y Lind, 1995).

Adicionalmente, se realizó un ajuste de los caudales punta a distintas funciones de distribución de probabilidad (FDP), Gumbel, Goodrich y Pearson III, para determinar probabilidades para los caudales punta, a nivel mensual y anual, para distintos periodo de retorno y para las series 1960-1980, 1960-1990 y 1960-2000. Este incremento en el número de datos, permite analizar si la incorporación de mayor información, provoca alguna variación en el caudal estimado. Esto indicaría que, a partir de un aumento o un decremento de los valores estimados, podría argumentar que las plantaciones forestales presentes en la cuenca ejercerían algún tipo de influencia en la producción de los caudales punta.

Cada función se ajustó a éstas series y se estimaron los caudales puntas para periodos de retorno de 10, 20, 30 y 40 años. La elección de la FDP, se realizó en base al test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y el coeficiente de determinación, R^2 . Los meses para los cuales se rechazó el ajuste, fueron aquellos en donde el test K-S fue rechazado y además el valor de R^2 fue menor a 0,9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de la cobertura vegetal en la cuenca del río Purapel

Los principales resultados del análisis multitemporal se presentan en el cuadro 1 y en la figura . De éste, se puede inferir el importante cambio en la cobertura vegetal sufrido por la cuenca durante el periodo en estudio. Este cambio está relacionado con una remoción importante de bosque nativo, especies que conforman el bosque chileno, principalmente de los tipos forestales esclerófilo y roble-

hualo, desde un 63,2% de la superficie en el año 1955, hasta un 19,2% en el año 1997, para dar paso a plantaciones forestales, casi exclusivamente con la especie *Pinus radiata* (D. Don), que desde una nula presencia en 1955, llega a ocupar el 51,7% de la superficie al año 1997. Además, el año 1978 se aprecia como un punto de cambio vegetacional, ya que a partir de este momento se produce un aumento significativo en superficie de las plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) y la baja en superficie de las demás formaciones vegetacionales.

Cuadro 1: Variación de la cobertura vegetal en la cuenca del Purapel, 1960-2000.

Clasificación	1955 Superficie		1978 Superficie		1997 Superficie	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Bosque nativo	16.737,9	63,2	13.698,8	51,8	5.214,6	19,7
<i>Pinus radiata</i> (D.Don)	0,0	0,0	5.115,5	19,3	13.677,9	51,7
Praderas	2.486,4	9,4	1.926,3	7,3	984,7	3,7
Matorral abierto	2.885,4	10,9	1.708,9	6,5	942,3	3,6
Matorral semi-denso	2.557,9	9,7	2.081,0	7,9	2.172,2	8,2
Matorral denso	317,3	1,2	826,2	3,1	1.047,0	4,0
Terrenos de uso agrícola	1.464,9	5,5	1.092,3	4,1	2.393,4	9,0
Poblados	16,8	0,1	17,5	0,1	34,4	0,1
Total	26.466,5	100	26.466,5	100	26.466,5	100

Caudales punta

En general, a nivel anual, los caudales punta no presentaron una tendencia clara durante el periodo. La figura 2a, presenta una gran cantidad de valores por bajo el promedio de la serie total al inicio del periodo estudiado. Esto varía hacia el final, donde se observan volúmenes mayores, especialmente durante la década del 80. El incremento de los caudales punta en este periodo, se debería principalmente a montos de precipitación sobre el promedio normal para la cuenca (810 mm), como se puede observar en la figura 2b, lo que influye directamente en la generación de montos de escorrentía y caudales puntas.

Lo anterior se ve reafirmado con los resultados obtenidos para las comparaciones estadísticas de los caudales punta a nivel de promedio anual, en donde se aprecian diferencias para las comparaciones hechas entre las décadas 60-80 y 70-80. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Pizarro y

Jordán (2002), quienes estudiaron el coeficiente de escurrentía para la cuenca, denotando diferencias al comparar los resultados obtenidos en la década del 80 con las demás en comparación. Por otro lado, según la prueba para los máximos caudales punta anual, no se observan diferencias significativas en ninguna de las comparaciones. Lo mismo ocurre en el caso de los máximos caudales puntas estivales, que tampoco presentaron diferencias significativas en sus valores al hacer las comparaciones entre décadas. Esto indicaría que los caudales punta de cada año se han mantenido similares a lo largo del periodo 1960- 2000.

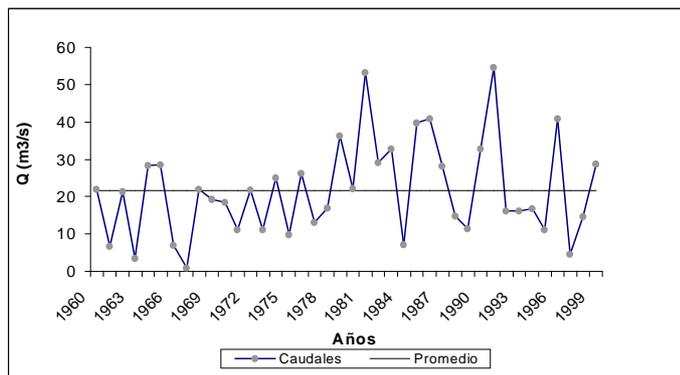


Figura 2a y 2b. Caudales puntas anuales v/s caudal punta promedio.

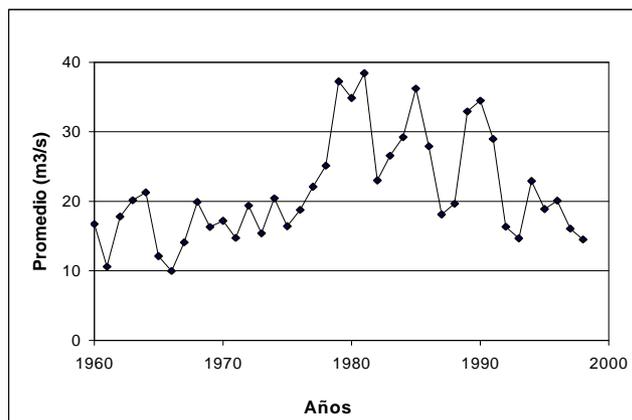


Figura 3. Promedios móviles anuales.

A nivel mensual, para el periodo húmedo el comportamiento de los caudales punta a lo largo de las distintas décadas fue muy similar, registrándose los mayores caudales durante los meses de junio y julio. Los valores menores se encontraron durante el mes de abril. De esta manera, los caudales máximos se produjeron en junio del 92 con $265,1 \text{ m}^3/\text{s}$, y los valores mínimos se presentaron en abril del 63, con $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto al periodo estival, en éste se presentaron valores menores con respecto al periodo húmedo, debido al régimen climático que domina la zona en estudio. Los caudales máximos se presentaron generalmente en noviembre, y los mínimos en marzo. Así, el caudal máximo estival se registro en noviembre del 87, con 69,2 m³/s, mientras que el caudal mínimo ocurrió en marzo del 96, con 0,001 m³/s. En el cuadro 3, se presentan los valores de caudal punta, máximos y mínimos, para cada década y periodo en estudio.

Cuadro 3. Caudales máximos y mínimos por década y por periodo (m³/s).

Década / Periodo	Seco (Oct-Mar)		Húmedo (Abr-Sep)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
60	5,8 (Dic66)	0,01 (Feb62)	163,9 (Ago65)	0,01 (Abr63)
70	7,9 (Nov73)	0,01 (Dic73)	192,5 (Jul74)	0,01 (Abr72)
80	69,2 (Nov86)	0,01 (Mar84)	225,4 (Jul84)	0,01 (Abr88)
90	20,2 (Mar90)	0,01 ((Ene96)	265,1 (Jun92)	0,01 (Abr88)

Los resultados arrojados por el análisis estadístico, ver cuadro 4, revelan en una primera aproximación que, salvo en algunos meses, no existen diferencias significativas entre los datos. De esta forma, al analizar cada una de las comparaciones mensuales, se observa que en la comparación 60-70 no existen diferencias significativas para ningún mes, en tanto que para las comparaciones 60-90 y 70-90, se presentan diferencias significativas sólo en el mes de Abril. La mayor parte de las variaciones entre los caudales punta se registraron en las comparaciones 60-80, 70-80 y 80-90. Para la comparación 70-80 se encontraron diferencias significativas en los meses de Enero, Febrero y Mayo; en la comparación 80-90, se observó variación para los datos en Enero, Febrero y Noviembre. En cuanto a la comparación 60-80, destaca el hecho de que es la comparación donde se registró la mayor cantidad de meses con diferencias significativas, obteniéndose variaciones para Enero, Febrero, Mayo y Noviembre. La presencia de diferencias significativas estadísticas en las comparaciones de las décadas del 60, 70 y 90, con la década del 80, se debe principalmente, y como se señaló anteriormente, a niveles de precipitación mucho mayores que el resto del periodo.

Cuadro 4. Resultados de la prueba U de Mann Whitney, comparación entre décadas.

	Comparación de Décadas					
	60-70	60-80	60-90	70-80	70-90	80-90
Enero		*		*		*
Febrero		*		*		*
Marzo						
Abril			*		*	
Mayo		*		*		
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre		*				*
Diciembre						
Máximo caudal punta anual						
Máximo caudal punta estival						
Caudal punta promedio anual		*		*		

*: Presencia de diferencias significativas, para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

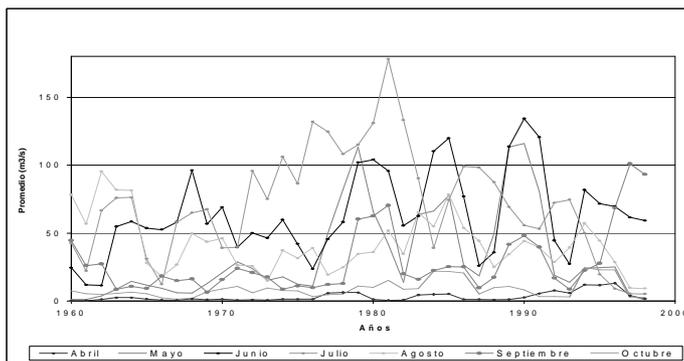


Figura 3. Promedios móviles periodo invernal.

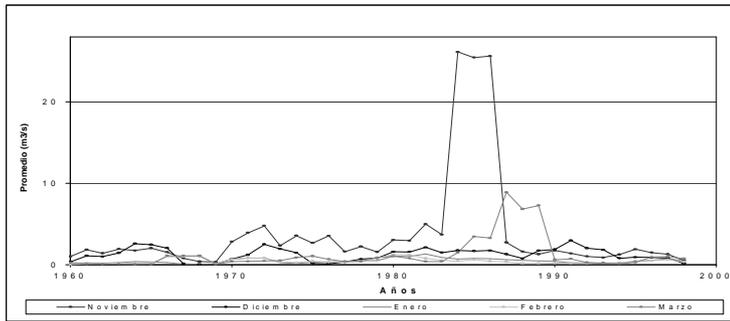


Figura 4. Promedio móviles periodo estival.

Estos resultados se ven corroborados por los promedios móviles, los cuales, y según la **figura 3**, durante el periodo invernal presentaron una gran irregularidad para todo el periodo, sin una variación que permita inferir alguna tendencia de los caudales punta a través del tiempo. La década del 60, presenta meses como mayo, junio y octubre con una tendencia ascendente, y otros como abril y agosto con una disminución de los caudales punta. Esto cambia en los 70, en donde pese a la irregularidad constante de la información, se puede apreciar una tendencia ascendente, la cual se mantiene e incrementa durante la década del 80, registrándose para algunos años, valores de caudal muy superiores con respecto a los registrados en el resto del periodo. Finalmente, en la década del 90, los valores de caudal punta presentan un descenso en sus valores, a niveles similares a los de los 60.

En el periodo estival, ver **figura 4**, se observa que en las décadas del 60 y 70 sus valores son bajos, especialmente para los meses de enero, febrero y marzo. En la década del 80, se presenta un alza importante de los caudales punta, especialmente en meses como noviembre y marzo. Pese a ello, en la década del 90 sus valores vuelven a caer, a niveles similares a los del comienzo del periodo analizado.

Con respecto a las comparaciones realizadas en base a los periodos 1960/1978 y 1979/2000, se puede señalar lo siguiente. A escala mensual, como se observa en el cuadro 5, sólo se presentaron diferencias significativas para los meses de Enero, Abril, Mayo, Septiembre y Diciembre. Estas diferencias, revelan que el lapso 1979-2000 registró mayores caudales que el lapso 1960-1978, lo cual refleja que la mayor presencia de las plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don), no ha generado una disminución de los caudales punta y por el contrario, para los meses en que hubo diferencias, ésta fue producto de incrementos de los caudales y no de decrementos. Por otra parte, y desde una perspectiva anual, los resultados no presentaron diferencias significativas en ninguno de las tres comparaciones realizadas. Esto sería producto de variaciones mensuales específicas y particulares,

dado que en la mayoría de los casos analizados no existen diferencias, y ellas serían más bien producto de las precipitaciones ocurridas en la década del 80.

Cuadro 5. Resultados prueba U de Mann Whitney, comparación entre periodos.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx Q anual	Q promedio anual
60/78 v/s 79/00	*			*	*				*			*		

*: Presencia de diferencias significativas, para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Funciones de Distribución de Probabilidad

En relación al ajuste de los datos de caudales punta a FDP, en el cuadro 6 se presentan los resultados de las pruebas de bondad de ajuste a escala anual para las funciones Gumbel, Goodrich y Pearson III. En él se observa el muy buen ajuste logrado a nivel anual. Sin embargo, a nivel mensual los resultados no son los mismos. Para ninguna de las funciones utilizadas se lograron ajustes satisfactorios para la mayoría de los meses. Así, la función Gumbel logró un buen ajuste para los meses de Enero, Febrero, Junio, Julio, Agosto, y Diciembre; a la función Goodrich ajustaron de buena forma los meses de Enero, Febrero, Junio, Julio y Agosto. Por último, para la función Pearson III se logró un buen ajuste para los meses de Enero, Junio, Julio, Agosto y Diciembre.

Cuadro 6. Test Kolmogorov-Smirnov y R^2 .

	Gumbel	Goodrich	Pearson III
K-S	*	*	*
R^2	0.99	0.99	0.99

*: Se acepta el ajuste.

R^2 : Coeficiente de determinación.

Las estimaciones de caudales punta realizadas para distintos periodos de retorno a nivel anual, se presentan en el cuadro 7. Estos resultados indican que los caudales punta incrementan sus volúmenes con respecto a la serie base al incorporar las décadas del 80 y, posteriormente la década

del 90, lo que evidencia un aumento en los caudales punta a través del tiempo, y para distintos periodos de retorno. Para las funciones de Gumbel y Goodrich los caudales punta durante el lapso 60-90, se incrementaron entre un 24% y un 34%, mientras que durante el lapso 60-2000, lo hicieron entre un 29% y un 44%. La función Pearson III, presentó un ajuste deficiente para el periodo base, por lo que se debió considerar como base la serie 60-90, presentándose incrementos entre un 2% y un 4%. De lo anterior se advierte que, con la incorporación de la década del 80, la probabilidad de encontrar caudales más altos, aumenta notoriamente; con la década del 90, también se presentan incrementos, pero de menor magnitud.

Cuadro 7. Variación porcentual de caudal punta máximo anual, con respecto al periodo de referencia 60-80.

Periodo de Retorno T (Años)	Lapso 60-80 (m ³ /s)			Lapso 60-90 (m ³ /s)			Lapso 60-2000 (m ³ /s)		
	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe
10	1	1	*	1.24	1.27	1	1.29	1.33	1.02
20	1	1	*	1.25	1.30	1	1.31	1.39	1.03
30	1	1	*	1.25	1.33	1	1.31	1.42	1.04
40	1	1	*	1.26	1.34	1	1.32	1.44	1.04

Gu: Función de Gumbel.

Pe: Función de Pearson III.

Go: Función de Goodrich.

* : Ajuste deficiente.

Los resultados diferenciales obtenidos a nivel mensual, muestran que el comportamiento de los caudales puntas mensuales resultan dispares para los distintos meses analizados. A modo de ejemplo, en los cuadros 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos para los meses de enero y julio (mes más seco y más lluvioso, respectivamente). Estos indican que durante el lapso 60-90, se produce un aumento con respecto al lapso base 60-80; sin embargo, durante el lapso siguiente 60-2000, bajaron sus valores levemente en relación con el lapso 60-90. En cambio, para el mes de Julio se produjo un aumento sostenido a medida que se agregaron las décadas del 80 y 90, con un comportamiento similar a lo observado en los caudales punta promedio anual. Agosto fue el único mes en el cual se produjo una disminución de los diferenciales para los lapsos 60-90 y de manera más importante durante el lapso 60-2000. Para los meses de Febrero y Diciembre en los cuales el lapso 60-80 presentó un ajuste deficiente y se tomó como base el lapso 60-90, los resultados también fueron diferentes, ya que mientras en Febrero se presentó un descenso de los porcentajes para el lapso 60-2000, en el mes de Diciembre las proporciones del lapso 60-2000 aumentaron levemente.

Cuadro 8. Variación del caudal punta máximo de Enero, con respecto al periodo de referencia 60-80..

Periodo de Retorno T (Años)	Lapso 60-80 (m ³ /s)			Lapso 60-90 (m ³ /s)			Lapso 60-2000 (m ³ /s)		
	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe
10	1	1	*	1.37	1.45	1	1.30	1.45	0.95
20	1	1	*	1.34	1.34	1	1.27	1.3	0.95
30	1	1	*	1.34	1.29	1	1.26	1.23	0.94
40	1	1	*	1.33	1.25	1	1.25	1.19	0.95

Gu: Función de Gumbel.

Pe: Función de Pearson III.

Go: Función de Goodrich.

* : Ajuste deficiente.

Cuadro 9. Variación del caudal punta máximo de Julio, con respecto al periodo de referencia 60-80.

Periodo de Retorno T (Años)	Lapso 1960-1980 (m ³ /s)			Lapso 1960-1990 (m ³ /s)			Lapso 1960-2000 (m ³ /s)		
	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe	Gu	Go	Pe
10	1	1	1	1.1	1.11	1.40	1.01	1.03	1.24
20	1	1	1	1.09	1.11	1.40	1.01	1.04	1.21
30	1	1	1	1.09	1.11	1.40	1.01	1.05	1.20
40	1	1	1	1.08	1.10	1.40	1.01	1.05	1.20

Gu: Función de Gumbel.

Pe: Función de Pearson III.

Go: Función de Goodrich.

* : Ajuste deficiente.

Análisis multitemporal y caudales punta

Según los resultados obtenidos del análisis multitemporal, hay que considerar que en la cuenca del río Purapel no se produjeron cambios de usos del suelo, desde usos agrícolas a usos forestales, como teóricamente se planteaba. Este tipo de cambio en la cobertura vegetal debería reducir los volúmenes de caudales punta. Sin embargo, los principales cambios vegetacionales producidos fueron de bosque nativo a plantaciones forestales, es decir desde bosques multietáneos a plantaciones con la especie *Pinus radiata* (D.Don). Lo importante surge al evaluar la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales punta; ésta se realiza entre dos tipos de bosque, nativo y *Pinus radiata* (D.Don), y según los resultados obtenidos, presentan comportamientos hidrológicos similares con respecto a la variable en estudio, como lo señalan las pruebas U de Mann-Whitney y los promedios móviles.

Por otra parte, la mantención e incremento de los caudales punta, se debería principalmente a las precipitaciones caídas y no al cambio de cobertura vegetal en la cuenca, debido a que, como se ha dicho con anterioridad, durante la década del 80 se incrementaron de manera importante la cantidad

e intensidad de lluvia caída a nivel mensual y anual, lo cual provocó un aumento en los caudales punta durante el último periodo en estudio. De igual forma, los incrementos de caudales punta, si bien se producen en el periodo con plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don), estos incrementos no constituyen diferencias significativas.

Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada, se puede concluir lo siguiente:

* A nivel mensual, el caudal punta más alto se registró en el mes de Junio del año 91/92 con 265,1 m³/s, en tanto que el caudal punta más bajo fue de 0,001 m³/s y se registró en Enero y Marzo del año 95/96 y en Abril del año 62/63.

* Los máximos caudales punta promedio de los meses de cada año para las décadas 60, 70, 80 y 90 se produjeron en los años 65/66, 79/80, 81/82 y 91/92, respectivamente. A su vez, los mínimos caudales punta promedio se presentaron durante los años 67/68, 75/76, 84/85 y 97/98, para las décadas 60, 70, 80 y 90, respectivamente.

* Estadísticamente, según la prueba U de Mann-Whitney y los promedios móviles, a nivel mensual y anual no existen diferencias significativas entre las décadas en estudio, salvo algunas comparaciones de la década del 80 con el resto. Estas diferencias se deben a los mayores montos de precipitación e intensidades registrados en esta década, lo cual es corroborado por los promedios móviles.

* Comparando el periodo 1960/1978 y el periodo 1979/2000, se aprecia que según la prueba U de Mann-Whitney y los promedios móviles, no existen diferencias significativas entre ambos periodos a nivel anual y sólo se advierten diferencias para algunos meses.

* El ajuste de las distribuciones Gumbel, Goodrich y Pearson III, demostró que al incorporar las series de datos de la década del 80 en primer lugar, y del 90 en segundo lugar, la probabilidad de encontrar valores más altos de caudales punta aumenta. Esto señala que la presencia de los bosques de *Pinus radiata* (D. Don) no estaría condicionando una disminución de los caudales punta en el año o en los meses estivales, sino que más bien su incremento estaría en función de las mayores precipitaciones e intensidades acaecidas en la década del 80.

* Finalmente, se puede concluir que para los caudales punta mensuales y anuales, no se puede atribuir que los bosques de *Pinus radiata* (D. Don) instaurados en la cuenca del río Purapel, hayan generado una disminución de los caudales y más bien, los resultados tienden a concluir que no

existen diferencias significativas en el comportamiento hidrológico del bosque nativo maulino y las plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don).

BIBLIOGRAFÍA

AYER, G. 1968. Reforestation with conifers; its effects on streamflow in Central New York. *Water Resources Bulletin*, Vol 4, N° 2, p.13. Estados Unidos.

CALDER, I. 1992. Hydrologic effects of land-use change. En: *Handbook of Hydrology*, Editor D. Maidment. Mc Graw- Hill, Estados Unidos. p.i.

HIBBERT, A. 1966. Forest treatment effects on water yield. En: *Proceedings of a National Science Foundation advanced science seminar, International symposium on forest hydrology*. Pergamon Press, Estados Unidos. p 527-543.

HUBER, A.; OYARZÚN, C. 1983. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D.Don). *Revista Bosque* (5) 1:13-20.

HUBER, A.; LÓPEZ, D.1993. Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D.Don), Valdivia, Chile. *Revista Bosque* 14(2): 11-18.

IROUMÉ, A.; HUBER, A. 2000. Intercepción de las lluvias por cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. *Revista Bosque* 21(1); 45-56.

IROUMÉ, A; CALISTO, J. 2002. Efecto de la cubierta vegetal en los caudales máximos de cuencas de la décima región. *Primer Congreso Chileno de Ciencias Forestales*, Universidad de Chile. Santiago, Chile. p 85.

LAVABRE, I.; SEMPERE-TORRES, D. y CERNESSON, F. 1991. Etude du comportement hydrologique d'un petit bassin versant mediterraneen apres la destruction de l'ecosysteme forestier par un incendie. *Journal de Hydrologie Continentale*, Vol. 6, N°2, p. 121-132. Francia.

LLAMAS, J. 1993. *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. España. 635p.

LÓPEZ, F. 1998. *Restauración Hidrológico Forestal y Control de la Erosión*. Ingeniería Ambiental. Tragsa, Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 851 p.

MASON y LIND. 1995. *Estadística para administración y Economía*. Editorial Alfaomega. México.D.F. 520 p.

MENDELHALL, W.; REINMUTH, J. 1981. *Estadística para administración y economía*. Grupo Editorial Iberoamericana. Tercera Edición. México D.F.México. 707 p.

- MEUNIER, M. 1996. La cubierta forestal y las crecidas en las pequeñas cuencas de montaña. Revista Unasyva 47 (185): 29-37.
- M.O.P; D.G.A. 1986. Estudio del mapa hidrogeológico nacional. IPLA, Ingenieros consultores. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.164 p.
- PIZARRO, R.; JORDÁN, C. 2002. Análisis de los coeficientes de escorrentía para la cuenca del río Purapel, estación Nirivilo, periodo 1962-1990. Primer Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- PIZARRO, R; SANTIBAÑEZ, F; BENÍTEZ, A; MENA, C.; JORDÁN, C.; FARÍAS, C. 2003 (s/p). Informe Final Proyecto Fondecyt N° 1010590, “ Análisis de la influencia de los bosques de *Pinus radiata* (D.Don) en la producción de agua y regimen hídrico: río Purapel, VII Región”. Talca, Chile. 20 p.
- SINGH, V. (Editor). 1982. Applied modeling in catchment hydrology. Water Resources Publication. Colorado, Estados Unidos. 563 p.