

ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA DEL RÍO PURAPEL, CHILE CENTRAL, (1960 – 2000).

Roberto Pizarro Tapia

Dr. Ing., Ing. Forestal, Prof. Asociado Fac. de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile.

Cristián Jordán Díaz

Ingeniero Forestal, Personal Técnico Proyecto FONDECYT 1010590.

César Farías Daza

Ingeniero. Forestal, Personal Técnico Proyecto FONDECYT 1010590.

Esta investigación contempló un análisis mensual y anual de los coeficientes de escorrentía (C), para la cuenca del Río Purapel, Chile central. Ésta presentó al año 1957 un 63,2 % de la superficie cubierta por bosque nativo, en tanto, al año 2002 sólo un 19,7 % estaba cubierto por este tipo de bosque, ya que este ha sido sustituido por plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don).

Entonces, se estimó importante analizar el efecto del cambio de uso del suelo, bosque nativo por plantaciones, sobre la escorrentía media mensual y anual. De esta forma, (C) se define como el cociente entre las escorrentías superficiales (obtenida de la separación de hidrogramas), y las precipitaciones caídas sobre la cuenca, considerando el periodo 1960 – 2000.

Los mayores (C) se produjeron en la década del 80, con una media anual de 0,102; la década del 60 presentó un $C = 0,050$; la del 70 un $C = 0,064$ y la del 90 $C = 0,070$. Mensualmente, Julio fue el mes con el valor medio más alto, 0,12; y Enero y Febrero presentaron valores cercanos a 0.

Estadísticamente se presentó un incremento del C en la década del 80, con respecto a las otras décadas. Ello sería función de las cantidades e intensidades de precipitación y no poseería relación directa con las superficies forestadas. Asimismo, se concluye que no existen diferencias significativas para el período 1960 – 1978 (con mayor influencia del bosque nativo) y el período 1978 – 2000, con predominio de plantaciones.

Palabras claves: Coeficiente de escorrentía, Precipitación efectiva, Relación precipitación-escorrentía-vegetación,

Esta investigación analizó el comportamiento del coeficiente de escorrentía (C) a nivel mensual y anual, en la cuenca del Río Purapel, ubicada en la VII Región del Maule de Chile central. Este coeficiente corresponde a la porción de las precipitaciones que produce un escurrimiento superficial, el cual se determina estableciendo una relación entre las precipitaciones efectivas, que generan escorrentía superficial, con las precipitaciones medias caídas sobre la cuenca.

Al estudiar el comportamiento del coeficiente de escorrentía tanto a nivel mensual, como anual, se puede inferir el grado de influencia en el escurrimiento superficial, de la cobertura forestal. De esta forma, se puede relacionar ambas variables:

Variación de cobertura forestal → Variación del escurrimiento superficial.

La cuenca del Río Purapel, presenta una superficie de 259 km² y se caracteriza por presentar una cobertura forestal sobre el 70%, entre plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) y bosque nativo. Además, presenta un régimen hidrológico netamente pluvial y el recorrido del río es de mar a cordillera, condición muy particular para la orografía chilena. Junto con ello, presenta una precipitación media anual de 810 mm.

Esta cuenca ha sufrido un vertiginoso proceso de forestación con *Pinus radiata* (D. Don) en los últimos 40 años, para lo cual y según el análisis multitemporal de variación de la vegetación, hecho en base a fotografías aéreas y mosaicos, se pudo reconstituir la ocupación del suelo para los años 1955, 1978 y 1997. De este análisis, la evolución que ha presentado la cubierta forestal, se presenta en la Tabla I:

TABLA I: Evolución de la superficie forestal, cuenca Río Purapel.

Clasificación	Superficie (ha)					
	Año 1955	%	Año 1978	%	Año 1997	%
Bosque de <i>Pinus radiata</i> (D. Don)	0,0	0,0	5.115,5	19,3	13.677,9	51,7
Bosque nativo	16.737,9	63,2	13.698,8	51,8	5.214,6	19,7
Poblados	16,8	0,1	17,5	0,1	34,4	0,1
Terrenos de uso Agrícola	1.464,9	5,5	1.092,3	4,1	2.393,4	9,0
Praderas	2.486,4	9,4	1.926,3	7,3	984,7	3,7
Matorral abierto	2.885,3	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
Total	26.466,5	100	26.466,5	100	26.466,5	100

Los procesos de forestación masiva, han hecho que vastas superficies del territorio nacional, y particularmente de la Región del Maule, se hayan cubierto por plantaciones de pino insigne (*Pinus radiata* (D. Don)). Este proceso ha provocado una incidencia en los componentes del balance hídrico, dado que se está afectando la intercepción, la escorrentía superficial y subterránea, la evaporación y la transpiración vegetal, de todo lo cual dan cuenta innumerables artículos científicos realizados en distintos lugares Douglas (1981); Manubag, (1985); Kitamura, (1989); Black, (1991); Berg, Osterhuber y Bergman, (1991); Lavabre *et al*, (1991); Calder, (1992); Lindholn y Stenheck, (1993); Giupponi, (1993); Rossi *et al*, (1994); López, (1994), entre otros. En este marco, la pregunta es: ¿de qué manera ha afectado, y ello desde una perspectiva cuantitativa, la forestación masiva a la producción de agua de la cuenca del Purapel?

La respuesta no es fácil; sin embargo y en base a los resultados obtenidos, es normal pensar que la producción de agua se vea disminuida, como lo demuestran numerosas experiencias internacionales Reinhart *et al*, (1963); Ayer, (1968); Singh, (1982); Rodier, (1985); Sharda *et al*, (1988); Black, (1991); Berg, Osterhuber y Bergman, (1991); Lavabre *et al*, (1991); Calder, (1992); Lindholn y Stenheck, (1993); Giupponi, (1993); Llamas, (1993), entre otros, porque gran parte de ella está destinada a la transformación del paisaje biomásico. Es decir, una forestación masiva que reemplaza a una vegetación muy rala o se ubica en suelos descubiertos, está proyectándose como un valor de biomasa que supera la inicial. Luego, y siguiendo la ley de conservación de la energía, en que ésta no se pierde ni se crea sólo se transforma, se podrá decir que el agua es necesaria para la transformación del paisaje biomásico. Por ello, es esperable que una forestación masiva demande una mayor cantidad de agua.

Por otra parte, se puede decir que en Chile no existen mayores experiencias desde la perspectiva del estudio cuantitativo de la relación precipitación-escorrentía-vegetación, salvo algunas de Huber *et al* (1983, 1993) y otros investigadores, aunque dichas experiencias están centradas en microcuencas y zonas puntuales, y no en balances globales. De esta forma, estos estudios no han considerado aspectos relativos a la cuenca completa ni a la modelación de las curvas recesivas por métodos diferenciales, ni a un cálculo y separación de hidrogramas mediante técnicas hidrológicas.

Marco Conceptual

Precipitación efectiva y determinación de Hidrogramas

La precipitación efectiva (Pe), es aquella porción de la precipitación total que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo (Chow *et al*, 1994). Para su cálculo existen diversos métodos, una forma sencilla consiste en analizar y separar del hidrograma los volúmenes de agua causantes de la escorrentía directa y los correspondientes al caudal base del río. Luego, midiendo las superficies se pueden obtener los volúmenes de la escorrentía directa (Mintegui y López, 1990; Chow *et al*, 1994; López, 1998) y al relacionarlos con la superficie de la cuenca, se determinan los montos de precipitación efectiva. Esta forma de separación de los hidrogramas, consiste en identificar y separar los distintos tipos de escorrentía que componen el hidrograma total de una crecida, determinando el punto de inicio y de término de cada crecida, y a partir del caudal punta graficar la curva de bajada como $\log(Q)$ v/s t . El resultado de este tipo de gráfico es una línea recta que presenta distintos puntos de quiebre de la pendiente, siendo el segundo punto el correspondiente al término de la escorrentía directa y del hidrograma de crecidas, a partir del cual ya se puede definir la forma del caudal base (Figura 1).

Durante la investigación, para los hidrogramas en que no fue posible obtener el segundo punto de inflexión en la curva de bajada, éste se estimó mediante el método de regresión lineal. Para ello se estableció una correlación entre el punto de término del hidrograma, en horas, y el caudal máximo de la crecida (m^3/s). A estas regresiones se les aplicaron algunos supuestos del método de mínimos cuadrados, como Normalidad, Homocedasticidad y Autocorrelación, junto con probar la significancia de los parámetros.

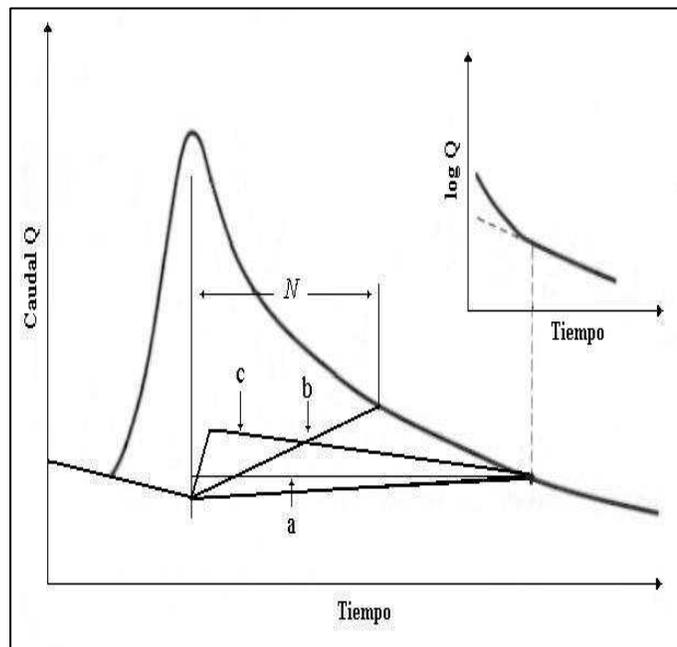


FIGURA 1: Forma típica de un hidrograma de crecida y sus características (Chow *et al*, 1994).

Coefficiente de escorrentía

Según Témez (1978), el coeficiente de escorrentía está representado en estricto sentido por las variaciones de las precipitaciones efectivas con respecto a las variaciones de las precipitaciones en un tiempo dado. De este modo es posible obtener coeficientes de escorrentía máximos para una lluvia particular, lo que matemáticamente queda expresado como (1):

$$C = \frac{\frac{dPe}{dt}}{\frac{dP}{dt}} \quad (1)$$

Para Chow *et al* (1994), el coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una lluvia particular. Además, señala que un coeficiente de escorrentía puede definirse también como la relación entre la escorrentía y la precipitación en un periodo de tiempo dado y agrega que estos coeficientes se aplican a las precipitaciones y las escorrentías de una tormenta, pero también pueden utilizarse para la información de precipitaciones y caudales mensuales o anuales. Otros factores que afectarían una mayor o menor magnitud del coeficiente de escorrentía serían las características y condiciones de suelo, la vegetación, la pendiente y el área de la cuenca, entre otros. De esta forma, para Chow *et al* (1994), si (P) es la precipitación y (Pe) precipitación efectiva, el coeficiente de escorrentía (C) puede definirse como (2):

$$C = \frac{Pe}{P} \quad (2)$$

Por otro lado, el monto de la precipitación efectiva, se puede definir como el cociente entre el volumen escurrido y el área total de la cuenca (Pizarro y Novoa, 1986). De esta manera, la expresión queda (3):

$$Pe = \frac{V}{A} \quad (3)$$

donde V representa el caudal producido por el escurrimiento directo (m^3) y A es el área de la cuenca (m^2).

3. Estimación de las precipitaciones medias areales

La determinación de las precipitaciones medias mensuales y anuales se hizo mediante el método de los Polígonos de Thiessen (Linsley *et al*, 1988; Pizarro, 1993; Aparicio, 1997). Este método asigna a cada estación una ponderación de representatividad en función de la superficie. De esta forma, las precipitaciones medias se expresan como (4):

$$Pm_{ij} = \frac{\sum P_{ijl} * S_l}{\sum S_l} \quad (4)$$

y la precipitación areal media anual resultante es (5):

$$Pm_j = \sum Pm_{ij} \quad (5)$$

donde:

Pm_{ij} : Precipitación media mensual para un mes i , en un año j (mm).

P_{ijl} : Precipitación mensual para un mes i , en un año j ; para la estación l (mm).

Pm_j : Precipitación media anual para un año j (mm).

S_l : Superficie correspondiente a la estación l (km²).

4. Separación de Hidrogramas en Volúmenes de escorrentía superficial y subterránea

5. Cálculo de los volúmenes de escorrentía directa

Con la separación de los hidrogramas ya hecha, se calcularon para cada crecida, y luego para cada mes y año, los volúmenes de escorrentía directa. Para ello se calcularon previamente los volúmenes totales y subterráneos correspondientes a cada hidrograma. El volumen total para una crecida fue obtenido mediante la suma de todos los valores horarios de caudal Q (m³/s), entre el inicio y el término de la escorrentía superficial, siendo de la forma (6):

$$V_T = \Delta t * \sum_{i=1}^n Q_i * 3600 \quad (6)$$

donde:

V_T : Volumen de escorrentía total de la crecida (m³).

Q_i : Caudal correspondiente a la hora i del hidrograma de crecida (m³/s).

Δt : Intervalo de tiempo (1 hr).

Para obtener el volumen de escorrentía subterránea se dividió en dos volúmenes. Un volumen “A” corresponde al aporte subterráneo entre el inicio del hidrograma y la proyección del caudal

punta en el eje t , y el otro Volumen “B” entre esta proyección y el término del hidrograma. Estos volúmenes se determinaron en forma matemática, asemejando su forma a la de un trapecio, según se presenta en las expresiones (7) y (8):

$$VolA = [(Q1 + Q2) / 2] * \Delta t1 * 3600 \quad (7)$$

$$VolB = [(Q2 + Q3) / 2] * \Delta t2 * 3600 \quad (8)$$

donde:

$VolA$: Volumen de escorrentía correspondiente hasta la proyección del caudal punta (m^3).

$VolB$: Volumen de escorrentía correspondiente luego de la proyección del caudal punta (m^3).

$Q1$: caudal de inicio del hidrograma (m^3/s).

$Q2$: caudal resultante del punto de intersección (m^3/s).

$Q3$: caudal de término del hidrograma (m^3/s).

$\Delta t1$: intervalo de tiempo transcurrido entre $Q1$ y $Q2$ (hr).

$\Delta t2$: intervalo de tiempo transcurrido entre $Q2$ y $Q3$ (hr).

De esta forma, el volumen total de la escorrentía subterránea ($Vsub$) queda dado por la suma de los dos volúmenes, $VolA$ y $VolB$. Finalmente se determinó el volumen generado por la escorrentía directa. Este volumen se obtiene al sustraer del volumen total de la crecida, el volumen perteneciente a la escorrentía subterránea. Así, el volumen para cualquier crecida queda dado por la expresión (9):

$$Ved_{ijk} = (Vtotal_{ijk} - Vsub_{ijk}) \quad (9)$$

donde:

Ved_{ijk} : Volumen de escorrentía directa para una crecida i , en el mes j , durante el año k (m^3).

$Vtotal_{ijk}$: Volumen de escorrentía total para una crecida i , en el mes j , durante el año k (m^3).

$Vsub_{ijk}$: Volumen de escorrentía subterránea para una crecida i , en el mes j , durante el año k (m^3).

con: $i=1, \dots, n$. $j=1, \dots, 12$. $k=1, \dots, 26$.

6. Cálculo de volúmenes mensuales y anuales

Luego de obtener los volúmenes asociados a cada crecida, éstos se agruparon por mes y por año, con el fin de determinar los volúmenes totales de escorrentía directa, a nivel mensual y anual. El volumen total de escorrentía directa se obtuvo mediante la suma de los volúmenes de las crecidas presentes en cada año hidrológico. No todas las crecidas se desarrollaron en el intervalo de un mes, sino que hubo también casos en que éstas abarcaron dos meses. Para obtener los volúmenes de escorrentía pertenecientes a cada mes, fue necesario realizar una división del hidrograma para las crecidas, calculando el tiempo de concentración o de retraso (Tc) para la cuenca, el cual corresponde al tiempo que demora una gota o lámina de agua desde el punto más alejado hasta el

punto de salida o desagüe de la cuenca (Pizarro, 1993; Chow et al, 1994). Con su determinación se puede establecer “cuántas horas” del mes anterior están contenidas en el siguiente mes, escogiéndose por su facilidad de uso y validez de sus resultados, el Tc de Kirpich o californiano, que matemáticamente se expresa como (10) y (11):

$$Tc = \frac{0.066 * L^{0.77}}{J^{0.385}} \quad (10)$$

con

$$J = \frac{C \text{ máx} - C \text{ mín}}{L} \quad (11)$$

donde:

Tc: Tiempo de concentración de Kirpich (hr).

L: Largo del cauce principal (Km).

J: Razón entre la diferencia de la cota del punto más alejado de la cuenca (Cmáx) y el punto de salida o desagüe de la cuenca (Cmín) y el largo del cauce principal (L).

Para cada mes el volumen de escorrentía directa quedó dado por la suma de los volúmenes de las crecidas en el mes y si es que lo hay, de los volúmenes de las crecidas intermensuales correspondientes a cada mes definidas por el tiempo de concentración de la cuenca. Los volúmenes totales anuales, se determinaron mediante la suma de los valores mensuales de este tipo de escorrentía, lo que se expresa como (12):

$$V_i = \sum Vm_{ij} \quad (12)$$

con $i= 1, \dots, 12$. $j= 1, \dots, 26$.

donde:

V_j : Volumen de escorrentía directa para el año j (m^3).

Vm_{ij} : Volumen mensual de escorrentía directa para el mes i , durante el año j (m^3).

h) Cálculo de la precipitación efectiva mensual y anual

7. Cálculo del coeficiente de escorrentía mensual y anual

8. Análisis estadístico y gráfico por década

9. Conclusiones y recomendaciones

Resultados y discusión

Los resultados alcanzados son altamente interesantes. Así por ejemplo, se denota que los coeficientes de escorrentía a nivel mensual y anual, están muy por debajo los que señala el Manual de Carreteras para su aplicación en la ecuación racional, por ejemplo. Ello muestra que los coeficientes instantáneos son mucho más altos que los mensuales o anuales, lo cual denota que las intensidades de precipitación ejercen una gran influencia sobre la producción de escorrentía superficial, toda vez que a nivel mensual estas intensidades son muy dispares y nunca se mantienen constantes, por una parte, y que a niveles temporales mensuales o anuales, las escorrentías superficiales tienden a ser reguladas por la vegetación, lo cual no siempre es posible frente a altas intensidades y lapsos pequeños. La Tabla II muestra los valores promedio de C, para los meses estudiados, destacando los niveles cercanos a 0 de los meses de estiaje, y los valores de los meses húmedos en que no se supera el valor $C=0,12$ como promedio.

TABLA II: Valores promedios de C para cada mes de la serie estudiada

Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
0,0087	0,0381	0,1128	0,1169	0,1026	0,0759	0,03574	0,0183	0,0156	0,0015	0,0000	0,0081

Por otra parte, el valor de C anual como promedio por décadas, no presenta mayores variaciones para las décadas 60, 70 y 90, presentando diferencias para la década del 80, como se aprecia en el Tabla III.

La década con mayores valores es la del 80, y se esperaría, por ser la del 90 una década más seca, que coincide con la mayor presencia y desarrollo de plantaciones forestales, que esta última presentase valores menores de C en comparación con las décadas del 60 y 70. Sin embargo, ello no es así, y muy por el contrario, el valor promedio del coeficiente es algo más alto en los 90, que en los 60 y 70.

TABLA III: Valores promedio de C

Década	Coefficiente de escorrentía promedio
60	0.050
70	0,064
80	0,102
90	0.070

Por otra parte, y para estudiar adecuadamente los resultados alcanzados, se compararon los datos por década a nivel anual, con la prueba U de Mann-Whitney, (Mendenhall, 1978), con el objetivo de analizar si los datos provenían de las mismas familias, o tenían distinta procedencia. Ello se determinaba a nivel de conocer si se aceptaba la hipótesis nula de que no existían diferencias significativas entre las décadas o, la hipótesis alternativa, de que sí existían.

TABLA IV: Aplicación por década de la prueba U.

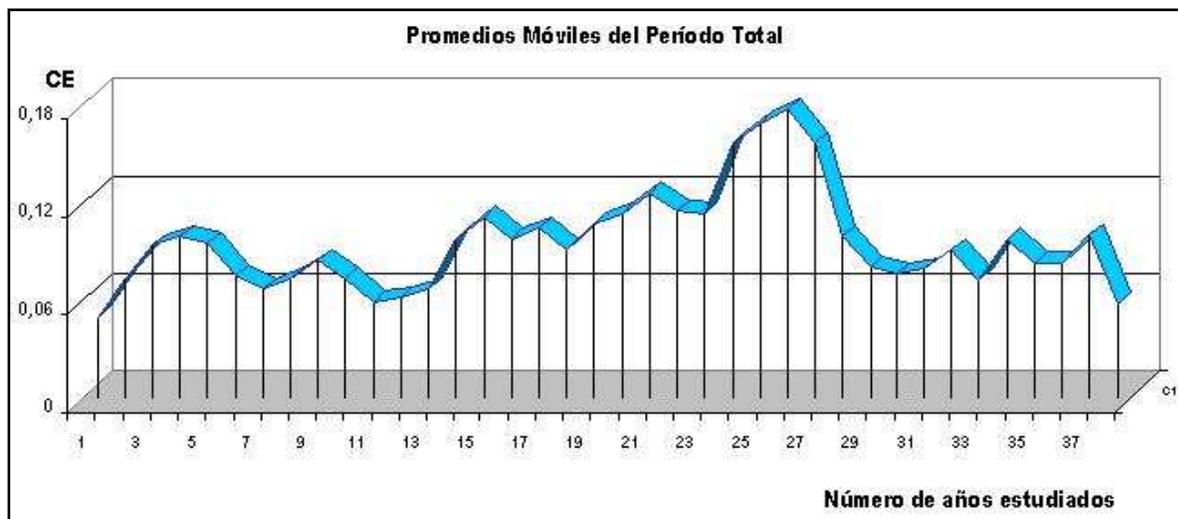
Comparación	Valor p	Conclusión *
60-70	0.1763	No existe diferencia
60-80	0.0065	Sí existe diferencia
60-90	0.4841	No existe diferencia
70-80	0.0376	Sí existe diferencia
70-90	0.5147	No existe diferencia
80-90	0.0262	Sí existe diferencia

* con $\alpha = 0.05$

La Tabla IV muestra los resultados de este análisis, en que se comprueba que la década del 80 es la que presenta diferencias significativas con las restantes, en tanto que las del 60, 70 y 90, no presentaron diferencias entre ellas.

Un tercer aspecto analizado fue el comportamiento de los promedios móviles cada tres años (Figura 3). Donde se puede apreciar, que la serie de promedios móviles denota un fuerte incremento en la década del 80, la cual baja hacia los 90, pero en general manteniendo el nivel de los 60 y 70. Ello podría denotar que la influencia forestal sobre el régimen hídrico, se ha mantenido en similares condiciones en las décadas del 60, del 70 y del 90.

FIGURA 3: Variación de los Promedios Móviles anuales



Conclusiones

- ▯ En general se aprecia una relación directa entre las variables utilizadas en este estudio, como son las precipitaciones con las precipitaciones efectivas y los coeficientes de escorrentía.
- ▯ Los montos estimados para las precipitaciones efectivas fueron bajos, teniendo en cuenta los montos de las precipitaciones caídas. De lo anterior se deduce que para el periodo estudiado se produjeron grandes pérdidas durante el proceso precipitación-escorrentía.
- ▯ En cuanto a la gestión forestal realizada sobre la cuenca, los resultados obtenidos no permiten inferir acerca de elementos de actuación sobre la cuenca, pues no se produjeron disminuciones en las cantidades de escorrentías y precipitaciones efectivas durante el periodo de tiempo estudiado, de acuerdo a lo esperado y según los trabajos y resultados obtenidos por Douglas (1981); Singh (1982), Calder (1992), y Lindholm y Stenheck (1993), entre otros.
- ▯ Para futuras investigaciones en esta línea, se sugiere disminuir los lapsos de estudio, esto es investigar a nivel diario y/o horario las crecidas acontecidas en un periodo, con el fin de conocer las intensidades y distribución de las precipitaciones, lo que permitirá poder obtener los coeficientes de escorrentía máximos para una crecida en particular.
- ▯ Finalmente, no se puede concluir en base a las precipitaciones efectivas y el coeficiente de escorrentía mensual y anual que la existencia de plantaciones forestales ha alterado significativamente la producción de agua superficial de la cuenca, ya que los coeficientes de escorrentía no presentan mayores variaciones entre las distintas décadas estudiadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto FONDECYT 1010590, que hizo posible la realización de este estudio, como parte de un análisis mayor para la cuenca del Río Purapel.

Literatura Citada

- ▯ **Aparicio, F.**, *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Editorial Limusa, México, 1997, 303 pp.
- ▯ **Ayer, G.**, “Reforestación with conifers; its effect on streamflow in Central New York”, *Water Resources Bulletin*, Vol 4, N°2, 1968, Estados Unidos, pp. 13.
- ▯ **Berg, N., Osterhuber, R. y Bergman, J.**, “Rain-induced outflow from deep snowpacks in the central Sierra Nevada, California”, Department of Agriculture, Forest Service of the United States. En: *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 36, N° 6, Estados Unidos, 1991, pp. 611-629.
- ▯ **Black, P.**, *Watershed hydrology*, Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos, 1991, 408 pp.
- ▯ **Calder, I.**, *Hydrologic effects of land-use change*. En: *Handbook of Hydrology*, Editor D. Maidment. Mc Graw-Hill, Estados Unidos, 1992.
- ▯ **Chow, V; Maidment, D y Mays, D.**, *Hidrología Aplicada*, Editorial Mc Graw-Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 1994, 584 pp.
- ▯ **Douglas, J.**, “A summary of some results from the Coweeta Hydrologic Laboratory”, Appendix B. En: *Tropical Forested Watersheds*, editores L.S. Hamilton y P.N. King. Westview Press, Boulder, Colorado, 1981, Estados Unidos.
- ▯ **Giupponi, C.**, “Tillage system effects on runoff and soil losses”, *Rivista di Ingegneria Agraria*, Vol. 24, N° 4, Italia, 1993, pp. 224-253.
- ▯ **Huber, A. y Oyarzún, C.**, “Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D.Don)”, *Revista Bosque*, Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Vol. 5 (1), Chile, 1983, pp:13-20.
- ▯ **Huber, A. y López, D.**, “Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don)”, Valdivia, Chile. *Revista Bosque*, Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Vol 14 (2), Chile, 1993, pp: 11-18.
- ▯ **Kitamura, Y.**, “Seasonal characteristics of rainfall-runoff in the catchment area covered by tropical forests: case study in the catchment of Muda and Pedu Reservoirs of Malaysia”, *Journal of Irrigation Engineering and Rural Planning*, Vol. N°19, Japón, 1990, pp. 32-47.
- ▯ **Lavabre, J.; Semperre-Torres, D. y Cernesson, F.**, “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, Francia, 1991, pp: 121-132.
- ▯ **Lindholm, P. y Stenbeck, I.**, “Rainfall, soil loss and the effect of vegetation cover; Results of measurements in a tree plantation area in West Pokot District of Kenya”. International Rural Development Center, University of Agricultural Sciences, Working Paper N° 244, Uppsala, Suecia, 1993, 25 pp.
- ▯ **Linsley, R., Kohler, M., and Paulus, J.**, *Hidrología para Ingeniero*, Editorial McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 1977, 386 pp.
- ▯ **Llamas, J.**, *Hidrología General*, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, España, 1993, 635 pp.
- ▯ **López et al.**, *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Tragsa-Tragsatec, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España , 1994, 898 pp.
- ▯ **López, F.**, *Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental*. Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España, 1998, 851 pp.
- ▯ **Lucero, A.**, “Análisis probabilístico espacial y temporal de las precipitaciones pluviales anuales de la VII Región”, Tesis para optar al título de Ingeniero, Universidad de Talca,

Chile, 1997, 83 pp.

- ▯ **Manubag, J.**, “Rainfall interception, surface runoff and sedimentation of dipterocarp stand, mixed forest and grassland at the Central Mindanao University forest reservation”, *Journal of agriculture, Food and nutrition*, Vol. 7 N° 1, Filipinas, 1985, pp: 43-54.
- ▯ **Mendelhall, W y Reinmuth, J.**, *Estadística para Administración y Economía*, Grupo editorial Iberoamericana, Tercera edición, México, 1981, 707 pp.
- ▯ **Míntegui, J. Y López, F.**, *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación*, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz, España, 1990, 306 pp.
- ▯ **Oyarzún, C., Huber, A. y Vásquez, S.**, “Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* I: Redistribución de las precipitaciones”, *Revista Bosque* 6 (1), Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 1985, pp: 3-14.
- ▯ **Pizarro, R., González, P., Wittersheim, M., Saavedra, J. y Soto, C.**, *Elementos Técnicos de Hidrología III*, Proyecto Regional Mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas de América Latina y el Caribe, UNESCO-ORCYT, Editorial Universidad de Talca, Chile, 1993, 125 pp.
- ▯ **Pizarro, R. Y Novoa, P.**, *Elementos Técnicos de Hidrología I*, CONAF, Chile, 1986, pp: 41-48.
- ▯ **Reinhart, K., Eschner, A. y Trimble, G.**, “Effects on streamflow of four forest practices in the mountains of West Virginia”. U. S. Forest Services Research Paper, Washington, Estados Unidos, 1963, NE-1, 79 pp.
- ▯ **Rodier, J.**, “Caracteres generaux de l'hydrologie superficielle des zones arides et semi-arides en Afrique-leurs consequences sur les etudes des ingenieurs”, Service Hydrologique, ORSTOM, Francia, 1990, 19 pp.
- ▯ **Rossi, P. et al.**, “Concentration times influenced by rainfall intensity and canopy in sloping fields”, *Rivista di Agronomia*, Vol. 28, N° 4, Italia, 1994, pp: 392-399.
- ▯ **Sharda, V. et al.**, “Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by bluegum plantations, part II, monthly water balances at different rainfall and runoff probabilities”, *Journal of Hydrology*, Vol 103, N° 3-4, Estados Unidos, 1988, pp: 347-355.
- ▯ **Singh, V.**, “Applied modeling in catchment hydrology”, Water Resources Publication, Colorado, Estados Unidos, 1982, 563 pp.
- ▯ **Témez, J.**, *Calculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Carreteras, España, 1978, 113 pp.