

ARTICULOS

Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile

Rainfall, runoff and suspended sediment yield in a catchment near Valdivia, Chile

C.D.O.: 116.2

ANDRES IROUME A.

Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The results of a comparative analysis of rainfall, runoff and suspended sediment yield for two 12-month periods in a catchment area near the city of Valdivia, Chile, are presented. The periods are: December 1983-November 1984 which can be considered an average year, and December 1988-November 1989 that corresponds to a dry year. Rainfall and runoff for the period December 1983-November 1984 were estimated at 2,170 and 1,150 mm, respectively, representing a runoff coefficient of 0.53. For the period December 1988-November 1989, rainfall and runoff were 1,485 and 655 mm with a runoff coefficient of 0.44. Suspended sediment yields were estimated at 90.3 and 2.6 t/km²/year for the December 1983-November 1984 and December 1988-November 1989 periods respectively.

RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis comparativo de la precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a la ciudad de Valdivia, X Región, Chile, para dos períodos de 12 meses de duración. Los períodos son: diciembre 1983-noviembre 1984, que se puede considerar normal, de acuerdo a los antecedentes de precipitación del área, y diciembre 1988-noviembre 1989, que corresponde a un año seco. La precipitación y la escorrentía para el período diciembre 1983-noviembre 1984 fueron estimadas en 2.170 y 1.150 mm, respectivamente, y el coeficiente de escorrentía en 0.53. Para la etapa diciembre 1988-noviembre 1989 la precipitación y escorrentía fueron 1.485 y 655 mm, y el coeficiente de escorrentía 0.44. La degradación específica fue estimada en 90.3 y 2.6 t/km²/año para el período diciembre 1983-noviembre 1984 y diciembre 1988-noviembre 1989, respectivamente.

INTRODUCCION

La construcción de caminos, el uso del fuego para preparar los sitios y la cosecha a tala rasa son algunas de las actividades relacionadas al desarrollo del sector forestal del país. Aun cuando la erosión y degradación de los suelos y el aumento en el transporte de sedimentos en los ríos están, en muchos casos, asociados a estas actividades (Gayoso e Iroumé, 1984; Durgin, 1985; Swift, 1985; Lootens y Lumbu, 1986), no hay suficientes datos cuantita-

tivos relacionados con los impactos silviculturales en suelos y ríos del sur de Chile.

Este trabajo describe los resultados sobre precipitación, escorrentía y transporte de sedimentos en una cuenca semiforestada cercana a la ciudad de Valdivia, en la X Región de Chile. Estos antecedentes permiten apreciar el comportamiento hidrológico y las tasas de transporte de sedimentos en suspensión para dos períodos anuales, uno de los cuales puede considerarse representativo de las condiciones climáticas promedio del área, y

el otro corresponde a las de un año extremadamente seco.

AREA DE ESTUDIO

La cuenca estudiada tiene una superficie de 93 há y está localizada aproximadamente a 39°44'S y 73°10'W, a unos 15 km de la ciudad de Valdivia (Iroumé, 1990). Posee una densidad de drenaje de 3.3 km/km² y se ubica entre los 114 y 224 m.s.n.m. Está orientada hacia el norte, por lo que se encuentra directamente expuesta a los vientos predominantes durante el período de lluvias.

El clima del área es templado lluvioso con influencia mediterránea (Fuenzalida, 1965). La precipitación anual en la ciudad de Valdivia varía entre 1.400 y 2.936 mm, y el período comprendido entre mayo y agosto concentra el 70% de los 2.340 mm correspondientes a la precipitación promedio anual (Reyes, 1981). La temperatura media anual es de 12°C con un máximo medio mensual de 16.9°C en enero y un mínimo medio de 7.6°C en julio.

El sustrato geológico corresponde a la formación Piedra-Laja, que es un complejo metamórfico compuesto principalmente por esquistos micáceos con intercalación de lentes de cuarzo (Illies, 1970). Los suelos son de la Serie Correltúe (Andic Dystrochrept) desarrollados a partir de cenizas volcánicas (Gayoso e Iroumé, 1984).

Cerca de un 27% de la superficie se encuentra bajo bosques nativos formados por especies arbóreas como *Nothofagus obliqua*, *Nothofagus dombevi*, *Drimys winteri*. Un 33% está cubierto por *Pinus radiata* (D. Don) plantados entre 1976 y 1982, y el 40% restante corresponde a praderas (Iroumé, 1990).

La precipitación y escorrentía de la cuenca están siendo monitoreadas en forma continua desde julio de 1988, luego de la instalación de un pluviógrafo y la construcción de una estación artificial de aforo compuesta por un muro vertedero de pared delgada y dotada de un limnógrafo.

METODOLOGIA

La precipitación para el período diciembre 1983-noviembre 1984 se estimó a partir de mediciones realizadas en las estaciones pluviométricas de Isla Teja (Valdivia) y Fundo Huape Tres Esteros, ubi-

cadadas a 15 y 5 km de distancia de la cuenca (Iroumé, 1990). En el caso del período diciembre 1988-noviembre 1989 la precipitación se obtuvo del monitoreo continuo en el pluviógrafo disponible en la cuenca.

Las precipitaciones de los períodos diciembre (año i-1)-noviembre (año i), registradas en la estación Isla Teja (Valdivia), son modeladas a través de la distribución de Goodrich. La función de densidad acumulada está dada por:

$$F(x \leq X) = 1 - \exp [-A(x - x_1)^{1/N}] \quad (1)$$

con $x_1 \leq x \leq \infty$. Los parámetros A, X₁ y N se obtienen igualando los tres primeros momentos de la función con los de la muestra (Heras, 1976).

Para determinar los caudales y la escorrentía durante el período diciembre 1983-noviembre 1984 se efectuaron 132 mediciones del nivel de aguas, cada 5 días, durante períodos sin lluvias y cada 1 ó 2 días en épocas de lluvias (Iroumé, 1990). En el caso del período diciembre 1988-noviembre 1989, la escorrentía y los caudales se obtuvieron del monitoreo continuo de niveles de agua registrados en el limnógrafo disponible en la cuenca.

Para estimar la carga de sedimentos en suspensión, en ambos períodos, se tomaron manualmente muestras de agua en la sección de aforo. La concentración de sedimentos en suspensión se evaluó filtrando las muestras de agua y analizándolas en laboratorio, de acuerdo a los procedimientos sugeridos por la Dirección General de Aguas de Chile (Dirección General de Aguas, 1988). Se desarrolló una relación simple de transporte (Van Sickle y Beschta, 1983) entre la concentración (C en mg/l) y el caudal al momento del muestreo (Q en l/s) de la forma:

$$C = a Q^b \quad (2)$$

En esta expresión *a* y *b* son parámetros que dependen de la cubierta vegetal y de las características climáticas, físicas e hidrológicas de la cuenca (Marchi *et al.*, 1986; Probst, 1986). El factor *a* es pequeño en cursos que drenan cuencas; cuyos suelos no son fácilmente erosionables o donde no se producen modificaciones en la geometría de los cauces (Müller y Förstner, 1968). El exponente *b* varía entre 0 y 2.5 y expresa la intensidad de las fuerzas erosivas, representada por el gradiente y la sección transversal del cauce.

La carga mensual de sedimentos en suspensión se calculó usando el método del balance parcial (Probst, 1986):

$$T_m = \sum [C(\Phi) Q(\Phi) t(\Phi)] \quad (3)$$

donde T_m es la carga mensual de sedimentos en suspensión, n es el número de fases (cada fase corresponde al período entre dos registros consecutivos de nivel de agua en el cauce), y $C(\Phi)$, $Q(\Phi)$ y $t(\Phi)$ son la concentración media, el caudal medio y la duración de cada fase.

RESULTADOS

Precipitación. Para el período diciembre 1983-noviembre 1984 la precipitación en la cuenca fue estimada en 2.170 mm. La mayor precipitación mensual ocurrió en mayo de 1984 y fue de 445 mm, mientras que la menor precipitación mensual fue en noviembre de 1983, donde se registraron 30 mm (figura 1a). Los meses de mayo, junio, julio y agosto, con un total de 1.343 mm, concentraron el 62% de la precipitación total del período. En los meses de septiembre y octubre también se presentaron precipitaciones de importancia (230 y 255 mm, respectivamente), y que son comparables a las mayores precipitaciones mensuales registradas en el período diciembre 1988-noviembre 1989.

En el caso del período diciembre 1988-noviembre 1989, la precipitación registrada en la cuenca fue de sólo 1.485 mm. La mayor precipitación mensual ocurrió en junio de 1989 y fue de 351 mm, siendo la menor precipitación mensual en febrero de 1989, donde se registraron 27 mm. Los meses de mayor precipitación fueron mayo, junio, julio y agosto con un total de 1.038 mm, que corresponde al 70% de la precipitación total del período. En los demás meses se registraron precipitaciones inferiores a 83 mm (figura 1b).

La precipitación para el período diciembre 1983-noviembre 1984 en la estación Isla Teja, Valdivia, fue de 2.294 mm y le corresponde una probabilidad de no excedencia del orden del 50% (figura 2). Por otra parte, la precipitación registrada durante diciembre 1988 a noviembre 1989 ha sido una de las menores para los períodos diciembre de un año cualquiera a noviembre del año siguiente, de acuerdo al análisis de los datos de la estación Isla Teja, en Valdivia, y le correspondería una probabilidad de no excedencia inferior al 3% (figura 2).

Debido a esto, el primer período analizado puede ser considerado como representativo de las condiciones promedio para el área, mientras que el segundo corresponde a un año seco.

Escorrentía y coeficientes de escorrentía. La escorrentía total de la cuenca para el período diciembre 1983-noviembre 1984 fue estimada en 1.150 mm. La mayor escorrentía mensual ocurrió en octubre de 1984 y fue de 264 mm, mientras que la menor fue en enero de 1984 con 26 mm, representando el 23% y 2%, respectivamente, del total para el período (figura 1a).

En el caso del período diciembre 1988-noviembre 1989, la escorrentía registrada en la cuenca fue de sólo 655 mm. La mayor escorrentía mensual ocurrió en agosto de 1989 y fue de 129 mm, siendo la menor en febrero de 1989 con 13 mm. Estos valores representan el 20% y el 2%, respectivamente, del total (figura 1b).

En ambos períodos, las mayores escorrentías mensuales ocurrieron meses después de las mayores precipitaciones mensuales (figura 1), lo que refleja la capacidad de almacenamiento de la cuenca. Esta capacidad es, sin duda, influida por las elevadas tasas de evapotranspiración que se producen durante los meses de verano, que pueden reducir las reservas de agua del suelo hasta 250 cm de profundidad en terrenos bajo plantaciones y hasta 100 cm bajo praderas (Huber *et al.*, 1985). Las precipitaciones de los primeros meses del invierno servirían para recuperar estas reservas, ya que sólo después de este período se recobran los niveles de escorrentía. Esto se confirma en el caso del período diciembre 1983-noviembre 1984, donde las altas escorrentías de los meses de septiembre, octubre y noviembre son consecuencia de la elevada pluviosidad de septiembre y octubre, que encontró a los suelos con niveles altos de humedad luego de las lluvias de los meses anteriores. Esto no ocurre con el período diciembre 1988-noviembre 1989, donde luego de un máximo en el mes de agosto, después de las lluvias de invierno, las escorrentías de los meses siguientes disminuyen asociadas a precipitaciones relativamente bajas.

Para el período diciembre 1983-noviembre 1984, que, de acuerdo al análisis de precipitaciones, puede ser considerado como un período normal, se estimó un coeficiente de escorrentía de 0.53 (figura 3). En el caso del período diciembre 1988-noviembre 1989, que corresponde a un período seco el coeficiente de escorrentía es de 0.44. No existen datos para comparar estos coeficientes con

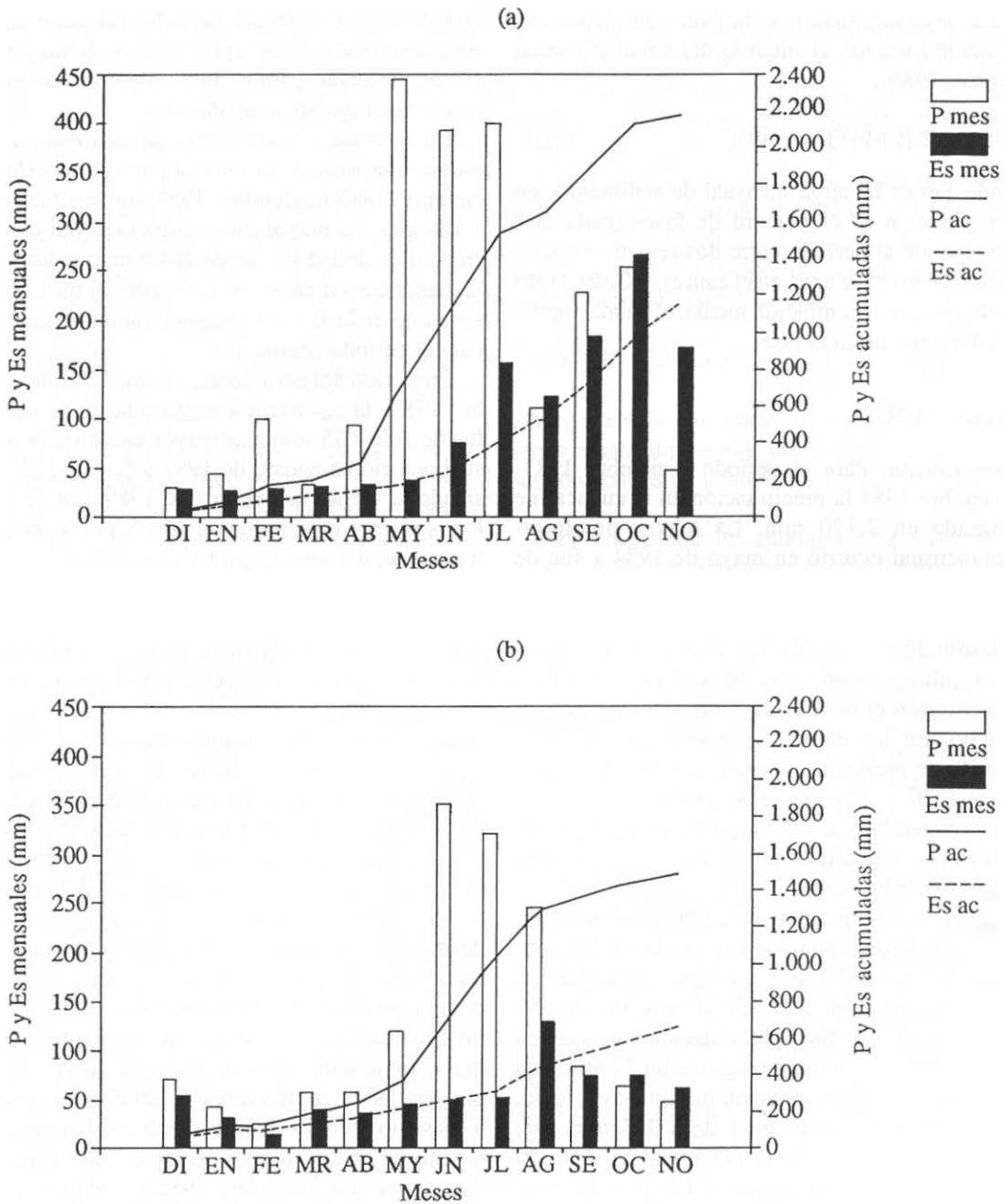


Fig. 1. Precipitación (P) y escorrentía (Es) para los períodos diciembre 1983-noviembre 1984 (a) y diciembre 1988-Noviembre 1989 (b).

Precipitation (P) and runoff (Es) for the December 1983-November 1984 period (a) and the December 1988-November 1989 period (b).

las otras cuencas del área, pero coinciden con los mencionados por diversos autores (Lootens y Lumby, 1986; Probst, 1986).

En ambos períodos el menor coeficiente de escorrentía mensual fue en junio (0.08 en 1984 y 0.14 en 1989) y el mayor en noviembre (3.72 en

1984 y 1.33 en 1989). La tendencia es también similar en los dos períodos, ya que los coeficientes de escorrentía mensuales disminuyen a partir del mes de noviembre y comienzan a recuperarse desde agosto en adelante. Los bajos coeficientes de escorrentía observados durante los meses de invier-

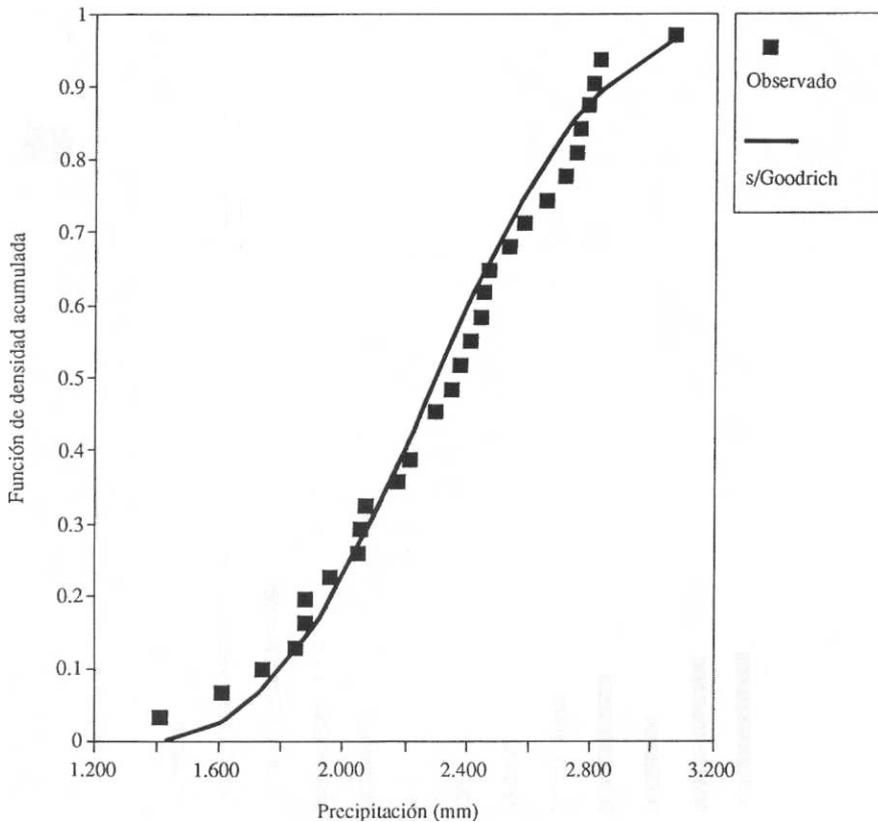


Fig. 2. Frecuencias de las precipitaciones totales de los períodos desde diciembre (año i-1) hasta noviembre (año i) en estación Isla Teja, Valdivia.
 Total Rainfall Frequency for the period from December (year i-1) to November (year i) at Isla Teja Gauging Station, Valdivia.

no están asociados al hecho de que los mayores caudales medios mensuales se producen meses después de las mayores precipitaciones mensuales. Por su parte, los relativamente altos coeficientes de escorrentía del período primavera-verano se deben a que los caudales en esos meses son generados en parte importante por las precipitaciones de los meses anteriores.

Curva de transporte. Para el período diciembre 1983-noviembre 1984 la curva de transporte corresponde a:

$$C = 1.75 Q^{0.93} (r = 0.878) \quad (4)$$

mientras que para el período diciembre 1988-noviembre 1989 la curva de transporte es:

$$C = 0.0112 Q^{1.86} (r = 0.760) \quad (5)$$

Ambos coeficientes son significativos a un nivel $p = 0.01$. Sin embargo, tal como se aprecia en

figura 4, hay una diferencia significativa entre ambas curvas. El menor valor para el coeficiente a en el período 1988-1989, comparado con el obtenido para el período 1983-1984, puede deberse a la inexistencia de actividades agrícolas y forestales entre los dos períodos. Las últimas actividades en la cuenca correspondieron a quema de desechos y plantación de 6.3 há cerca de la sección de aforo, sector que permaneció con una baja cobertura vegetal hasta fines de 1983 (Iroumé, 1990). Esta situación puede haber contribuido a un valor relativamente alto de a durante el primer período, ya que las pérdidas de suelo pueden afectar la concentración de sedimentos en suspensión en los cauces hasta 8 ó 10 meses después de la preparación de los sitios (Hamlett *et al.*, 1983; Walling, 1988).

El mayor valor del exponente b medido entre 1983-1984, comparado con el correspondiente al período 1988-1989, puede deberse a un reacomodo de los cauces luego de dos períodos consecutivos extremadamente secos (años 1988 y 1989). Estos

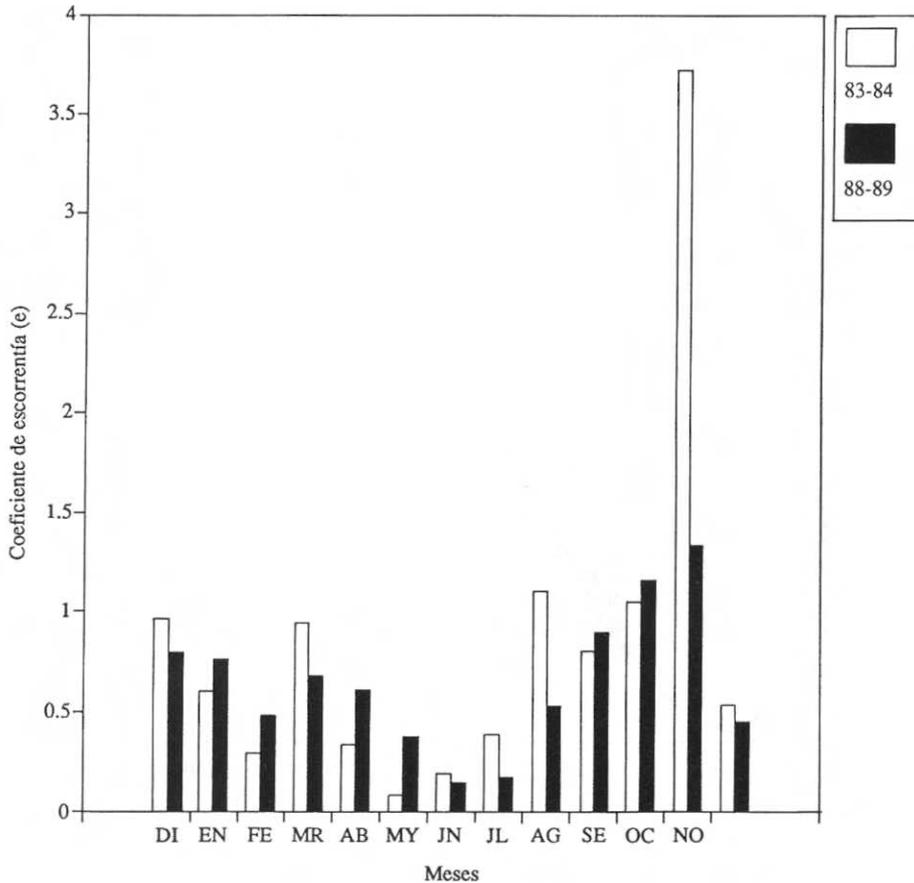


Fig. 3. Coeficientes de escorrentía mensuales y totales para los dos períodos estudiados.
 Monthly and total runoff coefficients for both periods studied.

dos últimos años son los de menor precipitación entre 1960 y 1990, de acuerdo a los registros de la estación Isla Teja.

Carga de sedimentos en suspensión. La carga total de sedimentos en suspensión para el período diciembre 1983-noviembre 1984 se estimó en 84.2 t ó 90.3 t/km²/año, mientras que la del período diciembre 1988-noviembre 1989 en 2.4 t ó 2.6 t/km²/año (cuadro 1). Debido a las relativamente buenas relaciones entre caudal y concentración de sedimentos, la distribución de las cargas mensuales de sedimentos es similar a la de los caudales mensuales (cuadro 1).

No existe información cuantitativa para comparar estas tasas con las de otras cuencas en la X Región. Rovira (1984) estimó para el área una degradación específica de 3.000 t/km²/año, pero este valor fue obtenido utilizando las ecuaciones de Fournier, válidas supuestamente para cuencas de superficie superior a 100 km² (López y Blanco,

1976). Las 90.3 t/km²/año estimadas entre diciembre de 1983 y noviembre de 1984 son 1.6 veces la degradación promedio de terrenos montañosos bajo bosques inalterados en Nueva Zelanda (O'Loughlin *et al.*, 1984), y entre 4 a 8 veces mayor que las tasas medias desde áreas boscosas en USA (Beasley y Granillo, 1988).

La tasa de 90.3 t/km²/año parece ligeramente alta para las características de la cuenca, pero pudo ser causada por las pérdidas de suelo de las 6.3 há plantadas en 1982. La baja degradación específica registrada entre diciembre de 1988 y noviembre 1989 (2.6 t/km²/año) puede ser consecuencia de una menor disponibilidad de sedimentos producida por la escasa precipitación y escorrentía de ese período, el que, además, fue precedido por el período diciembre 1987-noviembre 1988, que, como ya se mencionó, es el más seco de los que se tiene registro entre 1960 y 1990 en la ciudad de Valdivia.

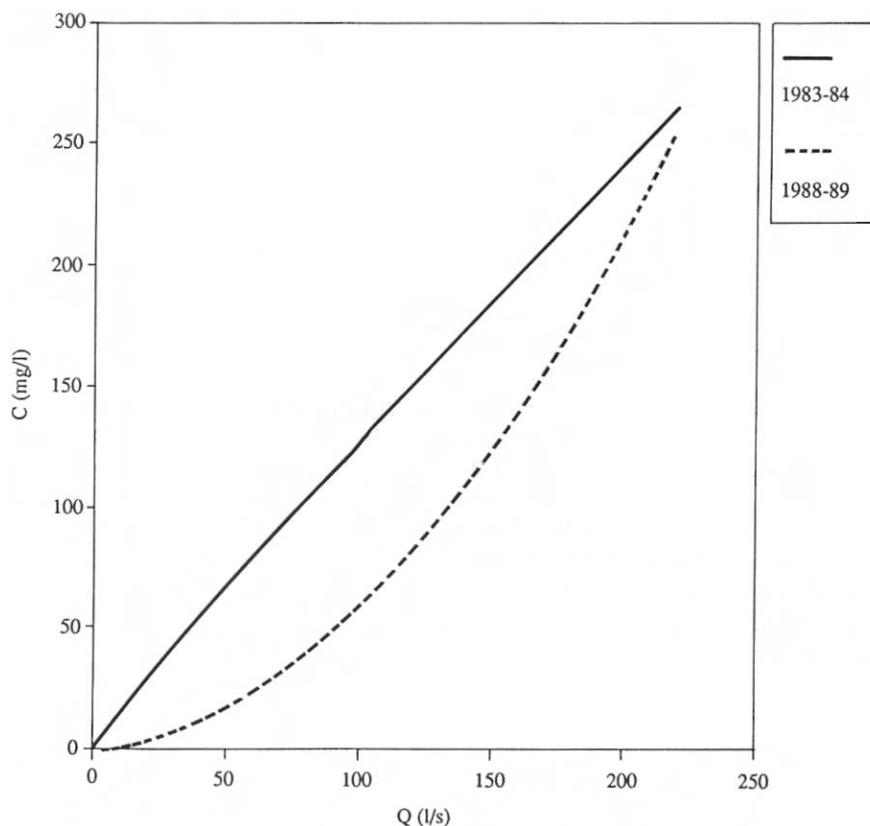


Fig. 4. Relaciones entre concentración de sedimentos en suspensión (C) y caudal (Q) para los dos períodos estudiados.

Relationship between suspended sediment concentration (C) and discharge (Q) for both periods studied.

CUADRO 1

Caudales (Q) y carga de sedimentos en suspensión

Discharge (Q) and suspended sediment loads

Mes	PERIODO 1983-1984			Mes	PERIODO 1988-1989		
	Q	Sedimentos susp.			Q	Sedimentos susp.	
	l/s	t	t/km ²		l/s	t	t/km ²
Diciembre	10	0.372	0.399	Diciembre	19	0.137	0.147
Enero	9	0.338	0.363	Enero	11	0.026	0.028
Febrero	11	0.439	0.471	Febrero	5	0.003	0.003
Marzo	11	0.451	0.484	Marzo	13	0.050	0.054
Abril	12	0.589	0.632	abril	13	0.040	0.043
Mayo	13	0.837	0.898	Mayo	15	0.074	0.079
Junio	26	3.128	3.356	Junio	17	0.096	0.103
Julio	54	8.248	8.850	Julio	18	0.117	0.126
Agosto	43	8.268	8.871	Agosto	45	1.690	1.813
Septiembre	66	19.676	21.112	Septiembre	27	0.102	0.109
Octubre	92	27.433	29.435	Octubre	26	0.013	0.014
Noviembre	62	14.388	15.438	Noviembre	22	0.058	0.062
Total		84.167	90.309	Total		2.406	2.581

Según mediciones realizadas entre diciembre de 1983 y noviembre de 1984, el transporte de fondo representa menos del 0.5% del transporte total anual desde la cuenca. Por este motivo se puede considerar que la carga anual de sedimentos en suspensión corresponde prácticamente al 100% de la carga total de sedimentos.

CONCLUSIONES

En este estudio se presenta información sobre precipitación, escorrentía y carga de sedimentos en suspensión para dos períodos de 12 meses en una cuenca cercana a la ciudad de Valdivia, en la X Región de Chile. De acuerdo al patrón de precipitaciones registradas en la estación Isla Teja, Valdivia, el primer período (diciembre 1983 a noviembre 1984) puede considerarse como representativo de las condiciones promedio del clima del área, mientras que el segundo período (diciembre 1988-noviembre 1989) corresponde a un año muy seco.

La precipitación y la escorrentía total para el período diciembre 1983-noviembre 1984 fueron estimadas en 2.170 y 1.150 mm, respectivamente, y el correspondiente coeficiente de escorrentía en 0.53. Para el período diciembre 1988-noviembre 1989 la precipitación y la escorrentía total medidas fueron de 1.485 y 655 mm, respectivamente, y el coeficiente de escorrentía de 0.44.

En ambos períodos las máximas escorrentías mensuales ocurrieron meses después de las máximas precipitaciones mensuales. Las tendencias de los coeficientes de escorrentía mensuales son también similares en ambos períodos: los coeficientes de escorrentía disminuyen a partir de noviembre y comienzan a aumentar desde agosto.

La degradación específica para el período diciembre 1983-noviembre 1984 fue de 90.3 t/km²/año, mientras que la del período diciembre 1988-noviembre 1989 fue de 2.6 t/km²/año. No existe información cuantitativa para comparar estas tasas con otras que han sido estimadas para el área. Comparándolas con las de cuencas de áreas forestadas en climas templados, la tasa de 90.3 t/km²/año parece relativamente alta, pero pérdidas de suelo ocurridas antes del primer período estudiado pueden haber contribuido a este valor. La baja degradación específica observada en el segundo período (2.6 t/km²/año) puede ser consecuencia de una reducida disponibilidad de sedimentos debido a

las bajas precipitaciones tanto del período mismo como de las del inmediatamente anterior.

La alta variabilidad en la precipitación, escorrentía y producción de sedimentos, entre ambos períodos estudiados, no permiten apreciar adecuadamente el comportamiento promedio de la cuenca. Mediciones en un largo plazo pueden proporcionar una perspectiva adecuada de los procesos de generación de escorrentía y transporte de sedimentos en la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el auspicio del Proyecto S-91-26 de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile.

BIBLIOGRAFIA

- BEASLEY, R.S. y A.B. GRANILLO. 1988. "Sediment and water yield from managed forest on flat coastal plain sites", *Water Resour. Res.* 24(2): 361-366.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1988. *Manual de terreno y Centros de filtrado*. Departamento de Hidrología, Laboratorio Hidrológico, Santiago, Chile, 35 pp.
- DURGIN, P.B. 1985. "Burning changes the erodibility of forest soils", *J. Soil Water Conserv.* 40(3): 351-358.
- FUENZALIDA, H. 1965. *Clima*. En *Geografía Económica de Chile*. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, Chile, pp. 99-151.
- GAYOSO, J. y A. IROUME. 1984. "Soil disturbance from logging in southern Chile", en *Proc. of the Symposium on Effects of forest land use on erosion and slope stability*. Honolulu, Hawaii. C. O'LOUGHLIN Y A. PEARCE (eds.), Environment and Policy Institute, East-West Center, Honolulu, Hawaii, pp. 203-209.
- HAMLET, J.M., J.L. BAKER Y H.P. JOHNSON. 1983. "Channel morphology changes and sediment yield for a small agricultural watershed in Iowa", *Trans. ASAE* 26(5): 1390-1396.
- HERAS, R. 1976. *Hidrología y recursos hidráulicos* (Tomo I). Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, 839 pp.
- HUBER, A., C. OYARZUN y A. ELLIES. 1985. "Balance hídrico entre plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II. Humedad del suelo y evapotranspiración", *Bosque* 6(2): 74-82.
- ILLIES, H. 1970. *Geología de los alrededores de Valdivia y volcanismo y tectónica en márgenes del Pacífico en Chile meridional*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 64 pp.
- IROUME, A. 1990. "Assessment of runoff and suspended sediment yield in a partially forested catchment in Southern Chile", *Water Resour. Res.* 26(11): 2637-2642.
- LOOTENS, M. y S. LUMBU. 1986. "Suspended sediment production in a suburban tropical basin (Lubumbashi, Zaire)", *Hydrol. Sci. J.* 3(1): 39-49.
- LOPEZ, F. y M. BLANCO. 1976. *Hidrología Forestal* (1ª Parte). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección Publicaciones, Madrid, 387 pp.

- MARCHI, L., G. TRISORIO-LIUZZI y P. ZANFRAMUNDO. 1986. "Analisi dei deflussi torbidi nei piccoli bacini del Sub-Appenino Dauno", *Quaderni di Idronomia Montana* 6: 95-121.
- MÜLLER, G. y U. FÖRSTNER. 1968. "General relationship between suspended sediment concentration and water discharge in the Alpenrhein and some other rivers", *Nature* 217: 244-245.
- O'LOUGHLIN, C.L., L.K. ROWE Y A.J. PEARCE. 1984. "Hydrology of mid-altitude tussock grasslands, upper Waipori Catchment, Otago: I-Erosion, sediment yields and water quality", *J. Hydrol. N.Z.* 23(2): 45-59.
- PROBST, J.L. 1986. Dissolved and suspended matter transported by the Girou River (France): Mechanical and chemical erosion rates in a calcareous molasse basin", *Hydrol. Sci. J.* 31(1): 61-79.
- REYES, J.C. 1981. *Características de las precipitaciones de Valdivia: 1960-1976*. Tesis. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1981.
- ROVIRA, A. 1984. *Geografía de los suelos*. Tomo V Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar, Santiago, 180 pp.
- SWIFT, L.W., Jr. 1985. "Forest road design to minimize erosion in the southern Appalachians". En *Proc. of Forestry and Water Quality*, a Mid-South Symp., Little Rock, arkansas, B.G. BLACKMON (ed.). Dept. of Forest Resour., Coop. Ext. Serv., University of Arkansas, Little Rock, pp. 141-151.
- VAN SICKLE, J. y R.L. BESCHTA. 1983. "Supply-based models of suspended sediment transport in streams", *Water Resour. Res.* 19(3): 768-778.
- WALLING, D.E. 1988. "Erosion and sediment yield research - Some recent perspectives", *J. Hydrol.* 100: 113-141.