

Características físicas y químicas de los sedimentos erosionados desde suelos con plantaciones forestales

Physical and chemical characteristics of eroded sediments from soils with forest plantations

C.D.O.: 116.2

CARLOS OYARZUN

Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The effect of timber cutting on the physico-chemical characteristics of eroded sediments was studied in a *Pinus radiata* plantation on soils derived from metamorphic rocks, in a mountain watershed of the Coastal Mountain Range (IX Region). Statistically different particle size distributions were found between eroded sediment and the original soil. Most of the eroded sediments consisted of particles with sizes corresponding to fine and very fine silt (2-16 μm). The chemical enrichment ratios of the eroded sediments were generally greater than one, indicating that the lost material is of high nutritive quality.

RESUMEN

Se estudiaron los efectos de la tala rasa sobre las propiedades fisicoquímicas de los sedimentos erosionados en una plantación de *Pinus radiata*, establecida sobre suelos derivados de rocas metamórficas, en una cuenca de montaña de la Cordillera de la Costa (IX Región). Se encontraron diferencias significativas en las distribuciones de tamaño de partículas entre los sedimentos erosionados y el suelo original. La mayoría de los sedimentos consistieron de partículas con tamaños correspondientes a limos finos y muy finos (2-26 μm). Los cocientes de enriquecimiento químico de los sedimentos erosionados generalmente fueron mayores que uno, es decir, el material perdido por erosión es de alta calidad nutritiva.

INTRODUCCION

Las evaluaciones de la erosión generalmente sólo consideran la cantidad de suelo perdido y desestiman las características físicas y químicas de los sedimentos erosionados. Sin embargo, las características de los sedimentos son a menudo tan importantes como la cantidad, ya que afectan el transporte y la depositación y están asociados estrechamente con los contaminantes. Debido a su importancia en los mecanismos de transporte y depositación, la distribución del tamaño medio del grano de los sedimentos es un factor importante en modelos de erosión del suelo y transporte de químicos recientemente desarrollados para evaluar la contaminación desde fuentes no puntuales. Recientemente, los modelos de predicción de erosión tales como Creams, Answers y Wepp han incorpo-

rado rutinas de tamaño de partículas que aumentan la potencialidad para una evaluación más segura del movimiento y transporte de sedimentos.

Habitualmente ha sido reconocido que el proceso de erosión es selectivo con algunos componentes físicos del suelo. La erosión tiende a remover las partículas más pequeñas y livianas de la superficie del suelo. Los nutrientes adsorbidos son transportados principalmente por la materia orgánica y las partículas más finas del suelo (Young *et al.*, 1986). Esta selectividad a menudo causa que los sedimentos erosionados muestren diferentes características físicas y químicas con respecto al suelo del que se han originado.

A medida que la severidad de la erosión se incrementa, todos los cocientes de enriquecimiento físico y químico de los sedimentos erosionados aumentarán debido a que la matriz completa del

suelo tenderá a ser dispersada y transportada. Los sedimentos erosionados desde suelos cohesivos usualmente consisten de partículas primarias y de agregados, mientras que los sedimentos provenientes de suelos no cohesivos consisten principalmente de partículas primarias.

Los datos disponibles sobre la distribución de tamaño de las partículas de los sedimentos erosionados son relativamente escasos. El conocimiento de esta información es importante como indicador del transporte potencial de contaminantes provenientes de pesticidas y nutrientes. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo son estudiar los efectos de la erosión del suelo sobre la distribución de tamaño de las partículas de los sedimentos erosionados y determinar los cocientes de enriquecimiento fisicoquímico de estos sedimentos, en plantaciones de *Pinus radiata* establecidas en la Cordillera de la Costa (IX Región)

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio. En un trabajo anterior (Oyarzún, 1993) se ha descrito la localización y las características del área de estudio, el cual está situado en un sector de la cuenca del río Picoiquén en la Cordillera de la Costa. IX región (37°46'S. 72°46'O, 725 m s.n.m.). Los suelos pertenecen a la serie Nahuelbuta y de acuerdo con la taxonomía del USDA pueden ser señalados como Haplumbrept. En el cuadro 1 se presentan las principales características físicas y químicas del suelo en el sitio de las parcelas experimentales.

Tratamientos y recolección de sedimentos. En una plantación de *Pinus radiata* se realizó una tala rasa en el mes de mayo de 1991, donde se instalaron 6 parcelas experimentales, dos réplicas por tratamiento, que consideraban diferentes tipos de alteración del suelo. Ellas fueron: a) tala rasa, sin residuos; b) tala rasa, con residuos, y c) control, no alteradas. Los residuos de las parcelas consistieron principalmente de acículas y ramas con una cobertura promedio de 36 t ha⁻¹. La cobertura de las parcelas sin residuos consistió de fragmentos de rocas, tocones, suelo mineral y restos de raíces. Durante abril de 1992 estas dos parcelas fueron expuestas a una quema controlada y se les dejó una cierta cantidad de residuos (12 t ha⁻¹). Las dimensiones de las parcelas fueron 22 m de largo x 5 m de ancho con una pendiente de 12%. En las parcelas se instalaron muestreadores Coshocton N-

CUADRO 1

Características físicas y químicas del perfil del suelo, cuenca del río Picoiquén, IX Región.
Physical and chemical characteristics of soil profile, Picoiquén river watershed, IX Region.

Parámetros	Profundidad (cm)		
	0-10	20-30	50-60
% grava	18.2	21.4	25.9
% arena	48.8	48.4	52.0
% limo	26.6	26.9	19.6
% arcilla	6.4	3.3	2.5
densidad aparente (g cm ⁻³)	0.79	1.37	1.81
materia orgánica (%)	7.3	3.5	2.1
PH	5.05	5.54	5.03
NO ₃ (ppm)	8.4	6.2	2.8
P (ppm)	2.0	1.1	<1.0
K (meq 100 g ⁻¹)	0.27	0.24	0.32
Ca (meq 100 g ⁻¹)	2.35	4.54	1.75
Mg (meq 100 g ⁻¹)	0.85	0.74	0.73
Na (meq 100 g ⁻¹)	0.45	0.43	0.37
CIC (meq 100 g ⁻¹)	30.8	24.6	19.7

1 (Brakensiek *et al.*, 1979) para recoger los sedimentos erosionados.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación automática modelo Adías, instalada a 500 m de las parcelas. Con esta información se calcularon los valores de erosividad de la lluvia (EI), según el procedimiento indicado en Foster *et al.* (1981). El valor de EI para una precipitación determinada es el producto de la energía total de la lluvia y su intensidad máxima durante 30 minutos.

Los sedimentos erosionados en las parcelas experimentales se recolectaron aproximadamente una vez al mes, durante los años 1991-92. En cada muestreo se colectó 1 litro de sedimento suspendido, más el sedimento acumulado en las estructuras de los equipos de todas las parcelas, los cuales se transportaron al laboratorio para someterlos a diversos análisis físicos y químicos. Simultáneamente con la recolección de los sedimentos, se realizó un muestreo periódico del suelo de las parcelas experimentales. Se tomaron muestras compuestas en 3 niveles de profundidad (0-10, 20-30 y 50-60 cm) con un cilindro de 196 cm³.

Análisis de sedimentos. Las muestras de sedimentos primero fueron separadas con una malla de 63 µm y los sedimentos mayores a esta fracción analizados en condiciones no dispersadas, por

lo que las distribuciones de tamaño de estos sedimentos incluyeron partículas primarias y agregados. Para el análisis granulométrico de estos sedimentos se pesaron aproximadamente 50 g peso seco, los que se trataron con H₂O₂ para eliminar la materia orgánica (Lewis, 1984). Se secaron a 65°C durante 48 h y se pesaron, se tamizó en húmedo con mallas de 2.000, 1.000, 500, 250, 125 y 63 µm siguiendo las recomendaciones de Meyer y Scott (1983), se secó y se pesó. Luego, se separó una muestra de 50 ml de la fracción <63 µm, previamente homogeneizada, y se sometió a un baño ultrasónico para dispersar, separándose una submuestra de 5 ml y se le agregaron 20 ml de una solución electrolítica. Esta submuestra se analizó con un contador de partículas ELZONE 282 PC. El contador de partículas es un instrumento que ha sido utilizado especialmente para analizar las distribuciones de tamaño de la fracción <63 µm, entregando una información detallada de la granulometría del sedimento (Schiebe *et al.*, 1983; Stein, 1985). Los sedimentos en suspensión (<63 µm), previa eliminación de la materia orgánica y posterior dispersión, se analizaron directamente con el contador de partículas.

Los sedimentos recogidos se sometieron a análisis químico para determinar pH, materia orgánica y nutrientes (NO₃, P, K, Ca, Mg, Na). Se utilizaron métodos estándares de laboratorio: pH, con una relación suelo/agua 1:2.5; materia orgánica, mediante oxidación química con una solución de H₂O₂ de 150 vol; NO₃, extracción con K₂SO₄ 1N y determinación colorimétrica con ácido salicílico; P olsen, extracción con NaHCO₃ 0.5N pH 8.5 y determinación colorimétrica; K, Ca, Mg y Na de intercambio, extracción con acetato de amonio 1N y determinación por espectrofotometría de absorción del Ca y Mg, y de emisión del K y Na (Jackson, 1976).

Con la información obtenida de los análisis granulométricos y químicos de los sedimentos y del suelo se calcularon los cocientes de enriquecimiento físico y químico en los sedimentos. El cociente de enriquecimiento está definido como el contenido de una fracción granulométrica o química en el sedimento dividida por el contenido de esa fracción en igual masa de suelo (Young *et al.*, 1986)

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la distribución de tamaño de las partículas en los sedimentos y establecer diferencias significativas entre todos los pares de tratamientos, se utilizó el test estadístico Chi-cuadrado para bon-

dad de ajuste. Este test evalúa la hipótesis de que no existen diferencias en las distribuciones granulométricas de los sedimentos debido a los distintos tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Distribución de tamaños de sedimentos erosionados. Los cocientes promedio de enriquecimiento granulométrico (CE) durante 8 muestreos realizados en el período de estudio, para los tres tratamientos, se observan en el cuadro 2. Los valores muestran un enriquecimiento significativo de la fracción correspondiente a los limos (2-63 µm) y un enriquecimiento menor en la fracción arcillas (<2 µm), en las parcelas sometidas a tala rasa. En el caso de las parcelas control, los CE de los limos y arcillas son similares. En cambio, los porcentajes más pequeños del material erosionado corresponden a los tamaños superiores a 63 µm, a pesar de que el suelo posee un 49.8% de arena y 21.8% de grava. Sedimentos con tamaños superiores a 2.000 µm prácticamente no fueron erosionados en ninguno de los tratamientos.

CUADRO 2

Cocientes de enriquecimiento granulométrico de los sedimentos erosionados.
Granulometric enrichment ratios of eroded sediments.

Tratamientos	Tamaño de partículas (µm)			
	>2.000	2.000-63	63-2	<2
Control	0.02	0.37	2.88	2.69
Con residuos	0.05	0.30	3.18	1.54
Sin residuos	0.07	0.23	3.25	1.87

Muchos de los suelos para los cuales existen datos granulométricos de sedimentos erosionados han mostrado que grandes cantidades de estas partículas tienen tamaños menores que 2 µm. Diversos estudios han sugerido que durante el proceso de erosión la dispersión de partículas decrece, así como el tamaño de partículas disminuye o aumenta bajo un cierto rango de tamaños, probablemente alrededor de 20-2.000 µm. Sobre 2.000 µm la masa física de las partículas hace más difícil su dispersión y transporte, mientras que bajo 20 µm las fuerzas cohesivas entre las partículas impiden la dispersión (Young, 1980)

En las figuras 1 y 2 se observa que la granulometría de los sedimentos erosionados en todos los tratamientos es significativamente distinta de la matriz del suelo. Distribuciones de tamaño de partículas estadísticamente diferentes han sido encontradas por Swanson *et al.* (1965) entre sedimentos erosionados y la superficie del suelo. Cuando se compara la distribución de tamaños de la matriz del suelo con las curvas de distribución de los sedimentos de las parcelas, se observa que los porcentajes mayores de partículas erosionadas corresponden al rango 2-16 μm , es decir, limos muy finos y finos. Los valores D_{50} (tamaño del sedimento que corresponde al 50% de las partículas más pequeñas) para las muestras recogidas el 28-06-91 fueron 3.9, 4.7, 7.6 y 152 μm , en las parcelas control, sin residuos, con residuos y matriz del suelo, respectivamente (figura 1). En el caso del muestreo realizado el 20-09-91, los valores D_{50} fueron 3.2, 4.1 y 5.0 μm en las parcelas sin residuos, con residuos y control, respectivamente (figura 2).

Estos resultados indican que a lo menos el 80, 78 y 70% de los sedimentos estuvo formado por partículas entre 2-16 μm , en los tratamientos sin residuos, con residuos y control, respectivamente. Young (1980), citando a diversos autores, ha puntualizado que para suelos muy arenosos (50% > 50 μm en diámetro), la mayoría de los sedimentos

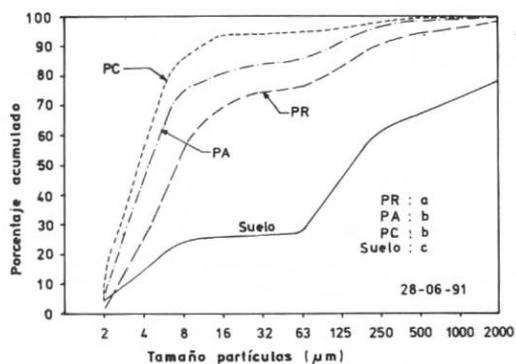


Figura 1. Distribución de tamaño de los sedimentos erosionados en las parcelas experimentales y el suelo, cuenca del río Picoiquén. PR=parcelas con residuos, PA=parcelas sin residuos, PC=parcelas control. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%. Size distribution of eroded sediments in the experimental plots and soil. Picoiquén river watershed. PR=residues plots, PA=no residues plots, PC-control plots. Different letters showing significant differences at the 5%.

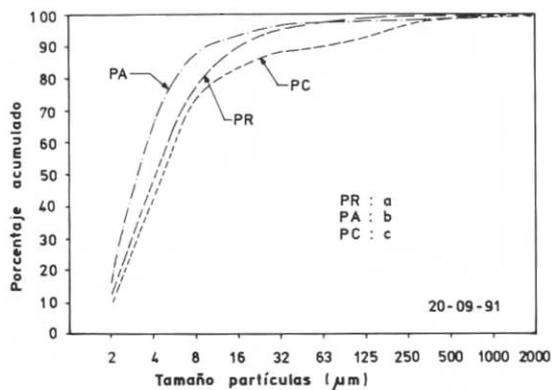


Figura 2. Distribución de tamaño de los sedimentos erosionados en las parcelas experimentales, cuenca del río Picoiquén. PR=parcelas con residuos, PA=parcelas sin residuos, PC=parcelas control. Letras distintas indican diferencias significativas al 5%. Size distribution of eroded sediments in the experimental plots, Picoiquén river watershed. PR=residues plots, PA=no residues plots, PC=control plots. Different letters showing significant differences at the 5%.

producto de procesos erosivos consisten de partículas mayores que 50 μm , debido a que los suelos arenosos no tienen buena agregación y entonces tienden a ser transportadas principalmente partículas primarias, con distribuciones de tamaño similares a la matriz del suelo. Mientras que los suelos con altos contenidos de limo (>33% de limo), los cuales poseen una mayor agregación, la fracción más erosionada está en el rango de los limos, con una mayoría de partículas entre 20-35 μm . Meyer *et al.* (1992) al analizar las características de los sedimentos producto de la erosión en suelos agrícolas, han mostrado la carencia de una relación directa entre textura del suelo y tamaño de los sedimentos. Suelos con altos contenidos de arena dan origen a sedimentos de partículas gruesas y suelos con altos contenidos de arcilla aún más gruesos. En cambio, los suelos con altos contenidos de limo generalmente dan origen a sedimentos de partículas no dispersadas más finas. Estudios realizados en plantaciones de *Pinus radiata* (Iroumé *et al.*, 1989), establecidas en suelos arcillosos, confirman esta tendencia, ya que el diámetro promedio del material arrastrado fue apreciablemente superior al diámetro promedio del suelo, atribuyéndolo a la participación de las arcillas que ayudan a formar agregados de mayor tamaño.

Los cocientes de enriquecimiento de las arcillas dependen de diversos factores tales como textura

del suelo, tipo de cobertura y características del escurrimiento y son normalmente mayores que uno, a lo menos para suelos con alto contenido de limo. En este estudio, los cocientes de enriquecimiento (CE) promedio de las arcillas (cuadro 2) fueron de 1.54, 1.87 y 2.69 en las parcelas con residuos, sin residuos y control, que corresponden al 6.2, 7.3 y 10.9% de los sedimentos erosionados, porcentajes levemente superiores a los de la matriz del suelo (cuadro 1). Young *et al.* (1986) determinaron valores de CE entre 1 y 1.5 para suelos agrícolas, mientras que Gabriels y Moldenhauer (1978) encontraron bajos porcentajes de arcilla dispersada en los sedimentos, comparada con el porcentaje de arcilla del suelo original.

Los resultados, aparentemente, indican que la cobertura de residuos en contacto con el suelo no tuvo una influencia definida sobre la distribución de tamaños de los sedimentos erosionados, mientras que la cobertura de acículas de las parcelas control ejerció un cierto efecto, disminuyendo el tamaño de las partículas. Cogo *et al.* (1983) y Gilley *et al.* (1986) determinaron un decrecimiento en el tamaño de las partículas cuando la cobertura de los residuos se incrementa en parcelas agrícolas. Sin embargo, este efecto ha sido significativo solamente en terrenos de superficie lisa, ya que la influencia de la cobertura sobre el tamaño de las partículas ha sido insignificante en terrenos con una superficie rugosa. Por otro lado, Khan *et al.* (1988) encontraron que los porcentajes de limo y arena de los sedimentos decrecen a medida que la cobertura de hojarasca se incrementa. Además, cuando la cobertura del dosel aumenta, el porcentaje de las arenas gruesas también aumenta.

Las distribuciones granulométricas de los sedimentos en suspensión en las parcelas control, tala rasa con residuos y tala rasa sin residuos están ilustradas en las figuras 3, 4 y 5, respectivamente, para el muestreo realizado el 28-06-91. Virtualmente todo el sedimento transportado por el escurrimiento superficial comprende partículas inferiores a 25 μm , ya que las partículas con diámetros superiores quedaron depositadas en las depresiones de las laderas. Las curvas granulométricas presentan una distribución normal con un tamaño medio aritmético de partículas correspondiente a limos muy finos (4.1-7.6 μm), y un tamaño modal comprendido entre limos muy finos y arcillas (2.9-4.4 μm).

En la figura 6 se presenta la relación entre la erosividad de la lluvia y el diámetro promedio de las partículas de los sedimentos erosionados para

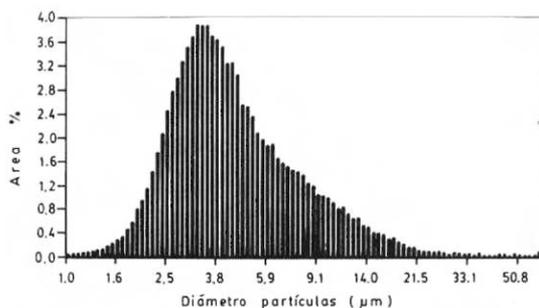


Figura 3. Distribución de tamaño de las partículas dispersadas en los sedimentos en suspensión (parcelas control).

Size distribution of dispersed particles in suspended sediments (control plots).

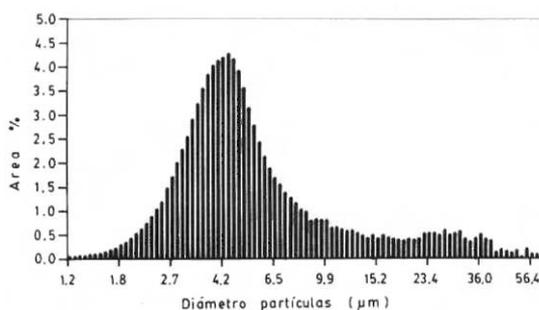


Figura 4. Distribución de tamaño de las partículas dispersadas en los sedimentos en suspensión (parcelas con residuos).

Size distribution of dispersed particles in suspended sediments (residues plots).

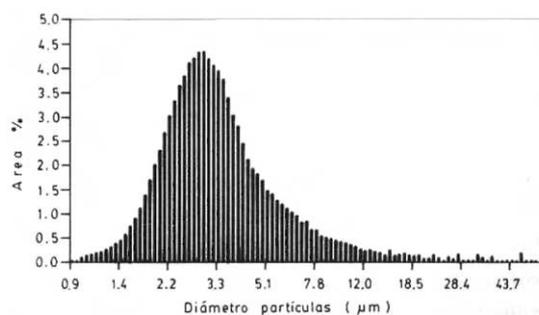


Figura 5. Distribución de tamaño de las partículas dispersadas en los sedimentos en suspensión (parcelas sin residuos).

Size distribution of dispersed particles in suspended sediments (no residues plots).

los diversos tratamientos. Se observa un leve decrecimiento del tamaño medio de las partículas dispersadas cuando aumenta la erosividad de la lluvia. Los efectos de la intensidad y duración de

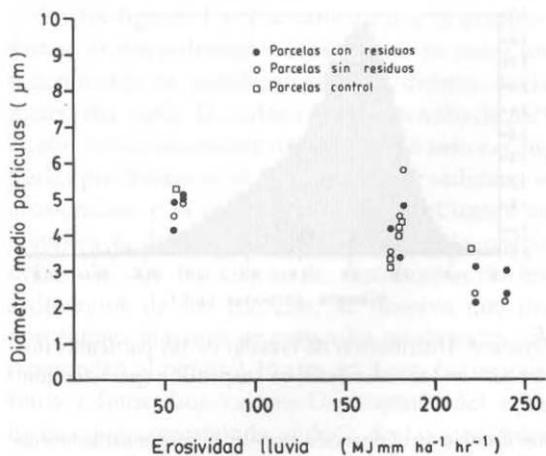


Figura 6. Diámetro promedio de partículas de los sedimentos erosionados para distintos valores de erosividad de la lluvia.

Particles mean diameter of eroded sediments for different values of rainfall erosivity.

las lluvias sobre la distribución de tamaño de las partículas dispersadas y transportadas han sido discutida por otros autores. Meyer y Harmon (1979) encontraron que el tamaño de los sedimentos erosionados sufría sólo pequeños cambios para diversas intensidades de precipitación. Sin embargo, Hamlett *et al.* (1987) determinaron que la distribución de tamaños en los sedimentos originados dentro de una pequeña cuenca agrícola, durante eventos severos de lluvia-escurrimiento, el porcentaje de partículas más pequeñas en el sedimento transportado se incrementaba.

También se ha demostrado que la pendiente de la ladera afecta el tamaño de las partículas erosionadas. En laderas sin cobertura vegetal, el porcentaje de material grueso transportado en el escurrimiento superficial se incrementa a medida que la pendiente aumenta hasta alrededor del 10%. Más allá de este valor, la proporción de sedimentos mayores que 50 μm tiende a permanecer relativamente constante (Young, 1980). Aunque también se ha reportado un aumento en los diámetros medios de los sedimentos arrastrados hasta pendientes de 60% (Iroumé *et al.*, 1989)

Enriquecimiento químico de los sedimentos erosionados. Los cocientes promedio de enriquecimiento químico (EQ) de los sedimentos erosionados fueron generalmente mayores que uno (cuadro 3), lo que confirma que la erosión no solamente es un proceso cuantitativo de pérdidas de suelo, sino que también cualitativo, ya que los

sedimentos poseen mayor calidad física y química que la matriz del suelo. Enriquecimientos de P fueron significativamente mayores que los de materia orgánica MO, K, Ca, Mg, Na y CIC en los sedimentos obtenidos de las parcelas taladas. Solamente existen pequeñas diferencias en los EQ de los sedimentos entre estos dos tratamientos. Sin embargo, si se consideran las tasas de erosión producidas en estos dos tratamientos, las pérdidas de nutrientes producidas en las parcelas sin residuos son significativamente mayores, ya que las pérdidas de suelo fueron de 2.128 kg h^{-1} y 1.349 kg ha^{-1} comparadas con 1.219 kg ha^{-1} y 243 kg ha^{-1} en las parcelas con residuos, durante el primer y segundo año postcosecha, respectivamente. En el caso de las parcelas control, las pérdidas de nutrientes totales son mínimas ya que las pérdidas de suelo fueron solamente de 48 y 72 kg ha^{-1} , durante estos dos años.

CUADRO 3

Cocientes promedio de enriquecimiento químico de los sedimentos erosionados.

Chemical enrichment mean ratios of eroded sediments.

Tratamientos	MO	P	K	Ca	Mg	Na	CIC
Control	3.51	4.23	3.83	2.02	4.56	1.10	1.65
Con residuos	1.75	3.50	2.15	1.43	2.05	0.95	1.20
Sin residuos	1.71	3.68	1.53	1.63	1.89	0.85	1.18

En la figura 7 se presentan los cocientes de enriquecimiento químico (EQ) detallados para cuatro mediciones realizadas durante el período de estudio. Los EQ mayores corresponden a P en los sedimentos de las parcelas sin residuos, durante el año 1992. También presentan valores altos los EQ de K y Mg en las parcelas control. En estudios realizados en suelos agrícolas (Young *et al.*, 1986), la mayoría de los parámetros químicos fueron correlacionados con el enriquecimiento de la fracción arcillas, debido a que las partículas más pequeñas, particularmente limos y arcillas, tienden a adsorber y transportar grandes cantidades de nutrientes debido a sus superficies específicas relativamente más grandes. En este caso, los sedimentos de las parcelas control presentan los mayores cocientes de EQ, lo que debiera estar relacionado con el hecho de que también poseen los más altos cocientes de enriquecimiento granulométrico de la fracción de arcillas.

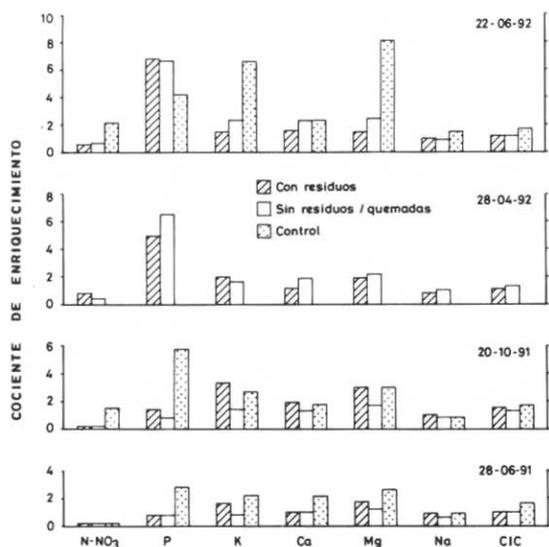


Figura 7. Cocientes de enriquecimiento químico de sedimentos erosionados en las parcelas experimentales, cuenca del río Picoicóquén.

Chemical enrichment ratios of eroded sediments in experimental plots, Picoicóquén river watershed.

Los resultados del presente estudio sugieren que en el suelo de las parcelas sometidas a tala rasa hubo una gran tasa de conversión de materia orgánica, ya que a pesar de que los sedimentos erosionados tuvieron cocientes de enriquecimiento parcial mayores que tres, el suelo superficial tuvo un aumento sostenido de la materia orgánica durante el período de mediciones. Los contenidos de materia orgánica del suelo presentaron un incremento en el nivel 0-10 cm de profundidad, desde un valor inicial en mayo de 1991 de 7.3%, hasta finalizar con valores entre 8.0-9.5% en septiembre de 1992, en estas parcelas. McClurkin *et al.* (1987) han reportado resultados similares en plantaciones manejadas de *Pinus taeda*, encontrando incrementos de la materia orgánica en el nivel 0-5 cm después de 3 años de mediciones. Esta situación ha sido atribuida al hecho de que las alteraciones en la radiación solar recibida y el microclima inducidas por el corte de los árboles tuvieron un fuerte impacto sobre la dinámica del piso forestal.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir lo siguiente:

1. La composición granulométrica de los sedi-

mentos erosionados desde plantaciones forestales de *Pinus radiata* en la fase postcosecha mostró un enriquecimiento significativo de la fracción correspondiente a los limos (2-63 μm) y un enriquecimiento menor en las arcillas (< 2 μm). A lo menos el 80, 78 y 70% de los sedimentos erosionados consistió en partículas entre 2-16 μm , en los tratamientos sin residuos, con residuos y control no alteradas, respectivamente.

2. Las curvas de distribución granulométrica de los sedimentos originados por la erosión fueron significativamente distintas a la de la matriz del suelo, independientemente de la cobertura del suelo.

3. Los cocientes de enriquecimiento químico de los sedimentos erosionados fueron generalmente mayores que 1, destacándose el elemento fósforo con los mayores cocientes EQ en todos los tratamientos.

4. Los terrenos forestales sometidos a tala rasa y sin una cobertura protectora de residuos sufren importantes pérdidas de nutrientes debido a una combinación de cocientes $\text{EQ} > 1$ y tasas relativamente altas de pérdidas de suelo por erosión.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado en el Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, de la Universidad de Concepción, y contó con financiamiento otorgado por la Cooperación Italiana (D.G.C.S. del M.A.E.). El autor agradece también la importante colaboración del Sr. Marco Cisternas en los análisis granulométricos realizados con el contador de partículas.

BIBLIOGRAFIA

- BRAKENSIEK, D.L., H.B. OSBORN, W.J. RAWLS. 1979. *Field manual for research in agricultural hydrology*. Agriculture Handbook 224. US Department of Agriculture. 550 pp.
- COGO, N.P., W.C. MOLDENHAUER, G.R. FOSTER. 1983. "Effect of crop residue, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates". *Soil Science Society of America Journal* 47: 1005-1008.
- FOSTER, G.R., D.K. McKOOL, K.G. RENARD, W.C. MOLDENHAUER. 1981. "Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units". *Journal of Soil and Water Conservation* 36(6): 355-359.
- GABRIELS, D., W.C. MOLDENHAUER. 1978. "Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of texture". *Soil Science Society of America Journal* 42: 954-958.
- GILLEY, J.E., S.C. FINKNER, R.G. SPOMER, L.N. MIELKE.

1986. "Size distribution of sediment as affected by corn residue". *Transactions of the ASAE* 29(5): 1273-1277.
- IROUME, A.B., J.A. GAYOSO, L. INFANTE. 1989. "Erosión hídrica y alteración del sitio en cosecha a tala rasa", *Revue d'écologie et de Biologie du Sol* 26(2): 171-180.
- JACKSON, M.L. 1976. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega S.A.. Barcelona. 662 pp.
- KHAN, M.J., E.J. MONKE, G.R. FOSTER. 1988. "Mulch cover and canopy effect on soil loss", *Transactions of the ASAE* 31(3): 706-711.
- LEWIS, D.W. 1984. *Practical Sedimentology*. Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, Pennsylvania, 229 pp.
- McCLURKIN, D.C., P.D. DUFFYL, N.S. NELSON. 1987. "Changes in forest floor and water quality following thinning and clearcutting of 20-year-old pine", *Journal of Environmental Quality* 16(3): 237-241.
- MEYER, L.D., W.C. HARMON. 1979. "Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes". *Transactions of the ASAE* 22(1): 100-103.
- MEYER, L.D. y S.H. SCOTT. 1983. "Possible errors during field evaluations of sediment size distributions", *Transactions of the ASAE* 26: 481-485.
- MEYER, L.D., D.E. LINE, W.C. HARMON. 1992. "Size characteristics of sediment from agricultural soils". *Journal of Soil and Water Conservation*, 47(1): 107-111.
- OYARZUN, C.E. 1993. "Evaluación del modelo USLE para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bio-Bio", *Bosque* 14(1): 45-54.
- SCHIEBE, F.R., N.H. WELCH, L. COOPER. 1983. "Measurement of fine silt and clay size distributions". *Transactions of the ASAE* 26: 491-494.
- STEIN, R. 1985. "Rapid grain-size analyzes of clay and silt fraction by Sedigraph 5000 D: comparison with Coulter Counter and Atterbeg methods", *Journal of Sedimentary Petrology* 55(4): 590-595.
- SWANSON, N.P., A.R. DEDRICK. HE. WEAKLY. 1965. "Soil particles and aggregates transported in runoff from simulated rainfall", *Transactions of the ASAE* 8(3): 437-440.
- YOUNG, R.A. 1980. "Characteristics of eroded sediment". *Transactions of the ASAE* 23(5): 1139-1142.
- YOUNG, R.A., A.E. OLNES. C.K. MUTCHLER, W. MOLDENHAUER. 1986. "Chemical and physical enrichments of sediment from cropland", *Transactions of the ASAE* 29(1): 165-169.