

MANEJO DE EXPLOTACIONES FORESTALES Y PÉRDIDA DE SUELO EN ZONAS DE ELEVADA PENDIENTE DEL PAIS VASCO

J. M. EDESO (1), A. MERINO (2), M. J. GONZÁLEZ (3) & P. MARAURI (3)

(1) Área de Topografía, Escuela Técnica de Ingenieros de Minas,
Universidad del País Vasco, 01006 Vitoria

(2) Departamento de Edafología y Química Agrícola, Escuela Politécnica Superior, Universidad
de Santiago de Compostela, 27002 Lugo

(3) Departamento de Geografía Física, Facultad de Geografía,
Universidad del País Vasco, 01006 Vitoria

Resumen: En este trabajo se evalúa el efecto de tres tipos de preparación del terreno habituales en plantaciones forestales del norte peninsular sobre las pérdidas de suelo por erosión. En el estudio se comparó el manejo convencional, en el que parte importante de los restos de corta permanecen en la superficie del terreno, con dos técnicas de preparación intensivas en las que se extraen los restos de corta y el horizonte orgánico, seguido, en ocasiones, de arado profundo a favor de la pendiente. El trabajo se centró en el período de mayor potencial de erosión, los meses siguientes a las labores de tala y preparación del terreno. Se estudiaron un total de 39 plantaciones de pino radiata recientemente taladas, localizadas en zonas de fuerte pendiente (40-50%) y sobre suelos de propiedades similares, desarrollados sobre argilitas. En los tres tratamientos evaluados las relaciones escorrentía / precipitación fueron elevadas, lo que indica una baja infiltración de los suelos. Las labores de preparación del terreno produjeron descensos importantes del contenido de materia orgánica y aumentos de la densidad aparente del suelo. En relación a estos efectos, se observaron aumentos de la escorrentía superficial y de la erodibilidad del suelo, así como retrasos considerables del establecimiento de la vegetación herbácea. Como resultado, las pérdidas de suelo por erosión aumentaron de manera importante. Estos resultados indican que para evitar la degradación de estos suelos, las labores de preparación del terreno deben mantener los restos de corta en superficie y reducir las perturbaciones mecánicas del suelo.

Palabras claves: Erosión, deforestación, manejo forestal, materia orgánica del suelo.

Summary: The purpose of this study is to evaluate the effect of 3 post harvesting management systems usually used in a mountainous region of Northern Spain on soil loss. The techniques evaluated were a) conventional stem-only harvesting, b) whole-tree harvesting and humus layer removal and c) whole-tree harvesting and humus layer removal followed by down-slope deep ploughing. Soil erosion was measured in a total of 39 recently clearfelled radiata pine plantations over the period between the stand harvesting and establishment of understory vegetation. They were located on slopes with gradients of between 40 and 50%. For all treatments the associated runoff-rainfall ratios were high, indicating inherent low permeability of the soil. Intense site preparation resulted in considerable decreases in soil organic matter and increases in bulk density, which decreased the hydraulic conductivity and subsequently produced high

her runoff. These deteriorations of soil properties delayed the establishment of pioneer vegetation thus extending the period of high erosion. In the ploughed soils the higher soil erodibility and the lack of protective of slash and vegetation cover resulted in a four-fold increase of soil losses when compared with no mechanical site preparation. The results indicate that, in order to maintain the soil productivity and for conservation purposes, harvesting management should minimize the soil disturbances and maintain the slash and vegetative cover.

Keywords: Erosion, forest harvesting, logging residues management, soil organic matter.

1. Introducción

En las zonas de fuerte pendiente, frecuentemente ocupadas por plantaciones forestales, el control de la erosión del suelo es crítico para conservar este recurso no renovable. Algunas labores forestales, diseñadas para reducir la vegetación competidora y acondicionar el suelo para la siguiente rotación, incluyen la retirada (o la quema) de residuos de corta y en algunos casos también del horizonte orgánico del suelo. En algunas explotaciones, el suelo sufre perturbaciones mecánicas que se producen por el paso de maquinaria pesada o por laboreo. En las zonas de elevadas pendientes estas operaciones pueden incrementar las tasas de erosión, especialmente durante los meses siguientes a la corta, en los que todavía no se ha desarrollado la vegetación (Beasley, 1979; Miller *et al.*, 1988). Además del problema que supone la pérdida de suelo en sí, la erosión puede potenciar la pérdida de nutrientes, con las consiguiente repercusión sobre la productividad en suelos con baja fertilidad. Además, la transferencia de sedimentos y nutrientes a través de la escorrentía repercute negativamente en la calidad de las aguas (McColl y Renard, 1990; White, 1996).

Este trabajo presenta los principales resultados de un estudio realizado en diferentes plantaciones forestales de Guipúzcoa y Vizcaya. En muchas de las explotaciones de esta zona se practica una preparación intensa del terreno, en la que se eliminan los restos de corta y el horizonte orgánico del suelo y, posteriormente, se practica un arado profundo ("arado de monte") a favor de la pendiente. Puesto que estas labores se realizan sin ninguna medida de conservación, el riesgo de erosión es elevado (Edeso *et al.*, 1994). Además, la pérdida de suelo podría ser la causa de la reducción de nutrientes observada en la zona después de estas operaciones (Merino *et al.*, 1997).

Estudios anteriores realizados en otras áreas de España han evaluado los efectos de las técnicas de repoblación sobre la erosión (Ortigosa, 1989; Ternan *et al.*, 1996). En el norte peninsular diferentes trabajos (recopilados por Benito *et al.*, 1991) han determinado las pérdidas de suelo que se producen después de los incendios. Sin embargo, la influencia de las labores de tala y preparación del terreno no se ha abordado con suficiente profundidad en esta zona, donde las plantaciones de tipo comercial ocupan una superficie considerable. Así pues, el propósito del presente estudio es evaluar los efectos de la tala forestal y las labores de preparación del terreno sobre las pérdidas de suelo por erosión. Los resultados proporcionarían una información útil para desarrollar estrategias de protección del suelo en estas plantaciones.

2. Materiales y métodos

Descripción del ambiente de estudio.

El presente trabajo se realizó en diferentes explotaciones dedicadas a plantaciones de *Pinus radiata* de Vizcaya y Guipúzcoa (fig 1). La temperatura media anual entre los diferentes lugares varía entre 11 y 14 °C, mientras que la precipitación oscila entre 1200 y 1800 mm año⁻¹. El régimen de los suelos en todos ellos es Údico, con un período corto de sequía en verano, y el de temperatura, Mésico (Merino, 1990). Todas las plantaciones se asientan sobre suelos de propiedades similares, desarrollados sobre argilitas. Las propiedades de los mismos fueron descritas en un trabajo anterior (Merino *et al.*, 1997), y algunos de los datos relevantes se encuentran recogidas en la Tabla 1. En forma resumida, los suelos están formados por un horizonte A órico y un B cámbico o gleico. Por encima de ellos se desarrolla un horizonte O, com-

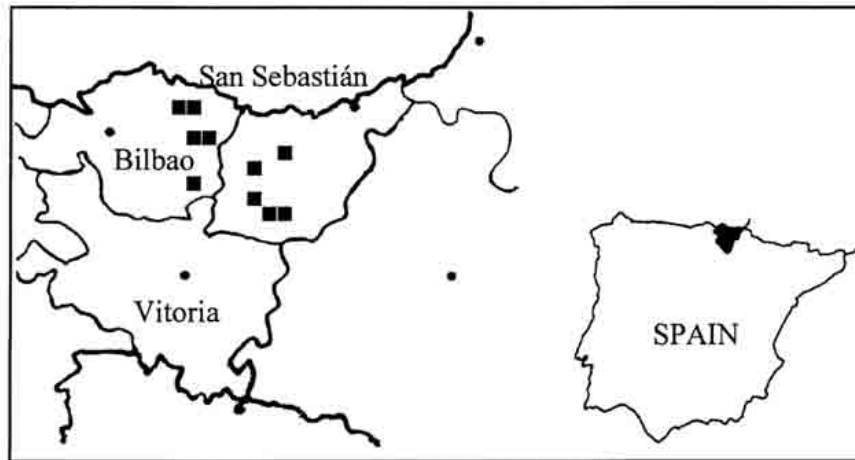


Fig. 1. Localización de las plantaciones estudiadas.
Location of the forestlands studied.

Hor.	Prof. cm	D. A. g cm ⁻³	Arc.. %	M. O. %	N %	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	CICe
							cmolc kg ⁻¹				
A	0-15	1.16	32.6	6.86	0.23	4.34	3.04	1.62	0.32	5.11	10.25
AB	15-20	1.49	33.1	3.59	0.13	4.15	1.10	0.59	0.19	6.95	8.96
B	20-70	1.47	34.0	1.71	0.08	4.40	0.73	0.79	0.16	5.84	7.64

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de suelos bajo plantaciones maduras de *Pinus radiata* desarrollados sobre argilitas del País Vasco. Los datos son valores medios de 24 perfiles de suelo (Merino *et al.*, 1997).
Physical and chemical properties of soils under mature plantations of *Pinus radiata* developed on argillites from Basque Country. The data are averages from 24 soil profiles.

puesto por capas L y F, que no suele superar los 40 mm de espesor. Se clasifican mayoritariamente como Cambisoles déstricos o gleicos. Como principales propiedades puede destacarse las texturas finas (desde arcillosa hasta franco limo arcilloso), la elevada densidad aparente, la baja conductividad hidráulica, que determina en ocasiones condiciones anaeróbicas temporales, los moderados-altos contenidos en materia orgánica en el horizonte A y el carácter fuertemente ácido. La micas, la caolinita y los óxidos de Fe son los minerales más abundantes de la fracción arcilla.

Diseño del experimento.

Se seleccionaron un total de 39 explotaciones recientemente taladas, localizadas en pendientes de 40-50 %, con superficie mínima de 0.5 ha y longitud de 60-80 m. En estas parcelas la estimación de las pérdidas de erosión se realizó mediante agujas de erosión (29 parcelas) o parcelas de escorrentía-erosión (10 parcelas) según se describe a continuación.

Agujas de erosión. Las parcelas en las que se instalaron fueron taladas entre mayo y junio de 1993 y en ellas se practicaron diferentes labores de preparación del terreno para la próxima plantación.

- En 10 parcelas se practicó un manejo de tipo convencional, en el que una parte importante de los restos de la tala se distribuyeron sobre la superficie del suelo. El tránsito de maquinaria pesada fue escaso y apenas eran visibles alteraciones superficiales de los suelos (parcelas T).
- En otras 8 plantaciones se realizaron tareas de preparación del terreno consistentes en la retirada de restos de tala, decapado del horizonte orgánico y extracción de tocones (parcelas TE).

- c) En 11 plantaciones, además de las labores anteriores, se practicó un arado profundo, de hasta 50 cm de profundidad (“arado de monte”) a favor de la pendiente y sin ninguna medida de conservación (parcelas TES).

En julio de 1993 se fijaron al suelo las agujas de erosión (Haigh, 1977), de 6 mm de diámetro y 80 cm de largo. La pérdida de suelo se midió desde ese mes hasta Septiembre de 1994. En cada parcela las agujas se instalaron en dos áreas localizadas en el tercio inferior de la ladera. En cada una de estas áreas se fijaron 9 agujas para lo que se siguió un patrón en malla (3 x3, la separación de las agujas fue de 1.5 m). Las pérdidas o ganancias de suelo se calcularon a partir de la variación media de la longitud expuesta de la aguja y de la densidad aparente de los 5 cm superiores del suelo. Las mediciones se efectuaron 8 veces a lo largo de los 15 meses de estudio.

Parcelas de escorrentía-erosión. Con el objeto de obtener información sobre el flujo superficial de agua y la pérdida de suelo durante los meses siguientes al aprovechamiento, se seleccionaron otras 10 plantaciones taladas recientemente, en las que se establecieron parcelas de experimentación. En 3 de estas parcelas se practicó un manejo de tipo convencional (T), mientras que en las 7 restantes se realizaron labores intensas de preparación del suelo. Tres de estas recibieron un manejo de tipo TE (extracción de restos de corta y decapado del horizonte orgánico) y otras 4, un manejo de tipo TES (extracción, decapado y arado de monte). En cada una de ellas se instalaron dos parcelas cerradas de 5 m de largo y 2 m de ancho. Desde enero a julio de 1994 se tomaron mensualmente datos de escorrentía, pérdida de sedimento y cobertura vegetal. La escorrentía y las pérdidas de sedimento se recogieron por medio de colectores Gerlach (Gerlach, 1967). La elección de parcelas de pequeño tamaño se basó en el elevado número de parcelas de experimentación incluidas en el diseño experimental y en las elevadas precipitaciones de la zona, para las que parcelas de mayor tamaño exigirían infraestructura de mayor envergadura.

Toma de muestras y análisis de suelos.

Las muestras de suelo se tomaron 5-6 meses después de la preparación del terreno. En cada sitio se seleccionaron al azar 9 puntos fuera de las vías de extracción directa de troncos, en los que se tomó una muestra de suelo mineral de los 12 cm superficiales mediante el empleo de un cilindro de acero (50 mm de diámetro). Con las 9 tomas se confeccionaron 3 muestras compuestas, que fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm. Paralelamente, se tomaron 3 muestras para la determinación de densidad aparente, mediante el empleo de cilindros de acero (40 mm de longitud y 55 mm de diámetro interno), las cuales fueron secadas a 105 °C.

En las muestras de suelo se analizó C total con autoanalizador LECO. El pH se determinó en KCl 0.1 M con electrodo de vidrio. Los cationes de cambio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y Al^{3+}) se analizaron mediante extracción con NH_4Cl al pH del suelo y medida con espectrofotometría de absorción o emisión atómica. La capacidad de intercambio catiónica efectiva (eCIC) se calculó mediante la suma de cationes básicos y Al. La saturación de bases fue estimada a partir de la eCIC. La textura se realizó con el método de la pipeta, en muestras atacadas con H_2O_2 y HCl. La separación de partículas siguió el sistema internacional (Gutián y Carballas, 1975).

En cuanto al análisis estadístico, se realizaron análisis de correlación, de regresión y análisis de varianza (test de Tukey), para lo que se empleó el paquete informático SPSS.

3. Resultados

Evaluación de la erosión por medio de agujas de erosión

En la figura 2a se representan las tasas medias de pérdida de suelo medidas con las agujas de erosión para el período desde julio de 1993 hasta septiembre de 1994. Las mayores pérdidas se produjeron en las parcelas donde se realizaron labores de acondicionamiento del terreno (parcelas TE y TES). El efecto más acusado tuvo lugar en las plantaciones donde se retiraron los residuos de corta y se practicó un arado profundo (TES), en los que la erosión fue 10 veces superior a la registrada en los suelos sin acondicionar (T).

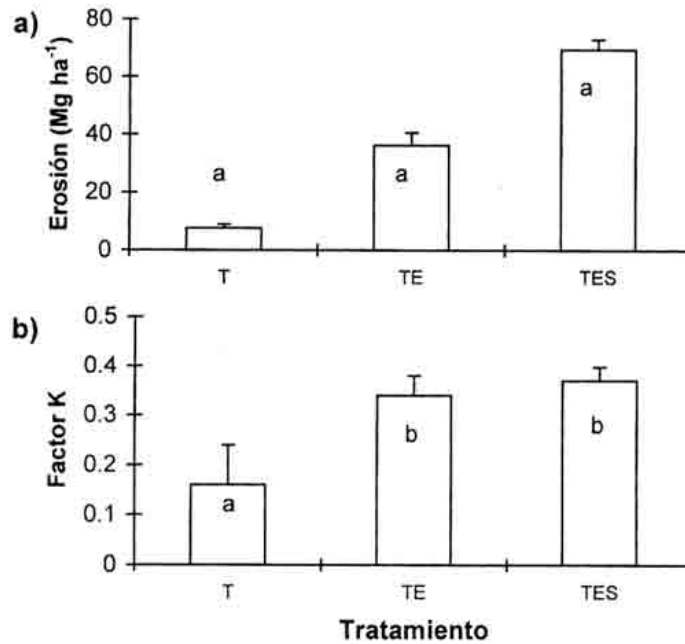


Fig. 2. Pérdidas de suelo medidas por las agujas de erosión (a) y factor K de erodibilidad (b) de los suelos después de diferentes tratamientos de preparación del terreno. T, tala sin extracción de restos de corta ni arado; TE, tala seguida de extracción de restos de corta y del horizonte orgánico; TES, tala, extracción de restos y arado. $a > b > c$, diferencias de las propiedades de los suelos (test de Tukey)

Soil loss measured by erosion pins (a) and erodibility-K factor (b) of the soils after different forest harvesting managements. T, stem-only harvested. TE, whole-tree harvested and litter removal. TES, whole-tree harvested, litter removal and ploughing. $a > b > c$, differences in soil properties, Tukey test.

En las parcelas T y TE, la mayor parte de las pérdidas tuvieron lugar durante los 4 meses siguientes a la preparación del terreno, durante los cuales se produjeron el 90 % del total de la erosión medida en el período de estudio. En las parcelas TES el período de intensa erosión se prolongó hasta los 9 meses posteriores a esas labores (fig. 3).

El aumento de erosión que se produjo después de la preparación del terreno estuvo ligado a modificaciones en algunas de las propiedades de los suelos. El análisis de suelos, realizado 6 meses después de la

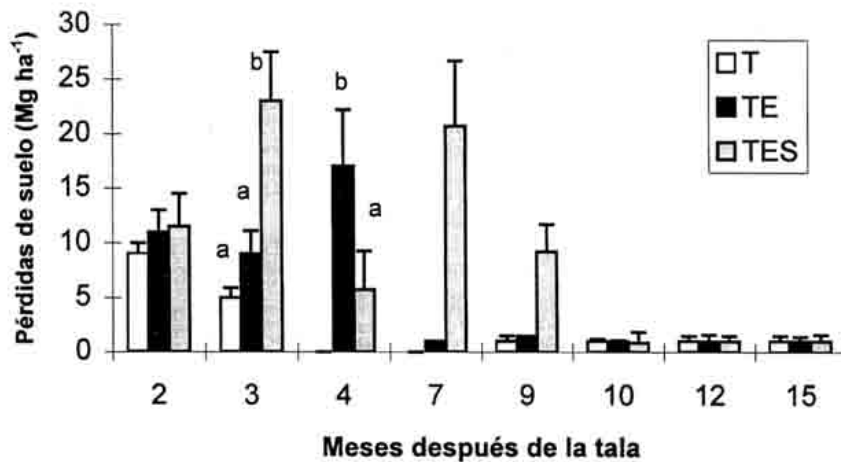


Figura 3. Pérdida de suelo a lo largo del período de estudio, determinada por agujas de erosión (para explicación, ver la figura 2). *Accumulated soil loss measured by erosion pins following different harvesting managements. For explanation, see the figure 2.*

tala, reveló descensos del contenido de materia orgánica, así como aumentos de la densidad aparente (Tabla 2). Las alteraciones más importantes se produjeron en las parcelas TES, donde se encontraron descensos de materia orgánica del 65 % ($p < 0.001$) y aumentos de la densidad aparente del 17 % ($p < 0.05$) con respecto a los suelos de las plantaciones sin talar. La correlación negativa entre la pérdida de suelo medida con las agujas y el contenido de materia orgánica ($r = -0.69$, $p < 0.01$) indica la influencia de este último factor. En relación a la pérdida de materia orgánica, los suelos en los que se realizó este tratamiento experimentaron aumentos substanciales del factor K de la USLE, lo que confirma su mayor susceptibilidad frente a la erosión (Fig. 2b).

Tratamiento	Materia orgánica (%)	Densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)	Gravas (%)	Arcilla (%)
Plantación	6.9 a	1.16 a	17.1 a	32.3 a
T	6.2 ab	1.25 ab	19.0 a	32.2 a
TE	3.9 bc	1.17 ab	23.6 a	34.5 a
TES	2.4 c	1.35 b	18.1 a	29.6 a

Tabla 2. Valores medios del contenido de materia orgánica, densidad aparente, gravas y arcilla del horizonte mineral superficial del suelo (0-15 cm) en diferentes manejos forestales después de la tala. T, tala sin extracción de restos de corta ni arado; TE, tala seguida de extracción de restos de corta y del horizonte orgánico; TES, tala, extracción de restos y arado. $a > b > c$, diferencias de las propiedades de los suelos (test de Tuckey)

Average of soil organic matter, bulk density, coarse elements and clay content down to 15 cm depth of mineral soils under different harvesting managements. T, stem-only harvested. TE, whole-tree harvested and litter removal. TES, whole-tree harvested, litter removal and ploughing. $a > b > c$, differences in soil properties, Tukey test.

Parcelas de erosión-escorrentía

Cubierta vegetal y escorrentía. En los suelos de las parcelas de tipo T, la cubierta vegetal (principalmente especies herbáceas) aumentó rápidamente, ocupando en el séptimo mes casi el 90 % de la superficie (fig. 4a). A diferencia de las anteriores, en las parcelas TE y TES el desarrollo de la vegetación fue mucho más lento, por lo que la superficie se mantuvo con escasa protección durante la mayor parte del período de estudio. De hecho, en el séptimo mes más del 50 % de la superficie continuaba sin vegetación.

La Tabla 3 muestra los valores de escorrentía y coeficiente de escorrentía (escorrentía / precipitación) para el período de enero a julio de 1994, en el que se registró un total de precipitación de 700-800 mm (según la localización). Estos valores son próximos a los valores medios para ese mismo período, que oscilan entre 800 y 900 mm. En comparación con la técnica convencional (T), las parcelas con manejo intensivo (TES) mostraron aumentos medios del nivel de escorrentía de 100 mm para ese período. Sin embargo, debido a la variabilidad encontrada en estas últimas parcelas, las diferencias no resultaron significativas. La evolución de la escorrentía a lo largo del período de estudio se muestra en la figura 4b. Como se puede observar, la mayor parte de la misma se generó en los meses de mayor precipitación, enero y abril. En estos meses la cantidad de escorrentía fue considerablemente superior en las parcelas en las que se realizaron labores intensivas (TE y TES) con respecto a los suelos con manejo convencional (T).

En todos los tratamientos evaluados los coeficientes de escorrentía fueron siempre superiores al 60 % (fig. 4c), lo que refleja una baja conductividad hidráulica del suelo. No obstante, los mayores coeficientes se observaron siempre en los suelos donde se realizaron labores más intensas (TES), en las que se registraron valores de hasta 80 %.

Erosión. El análisis de la varianza permitió diferenciar 2 grupos de parcelas en función de las pérdidas totales por erosión registradas en el período de estudio (Tabla 3). En comparación con la técnica convencional, los dos tratamientos de preparación del terreno (TE y TES) mostraron elevadas tasas de pérdida de suelo por erosión. La mayor generación de sedimentos tuvo lugar en los suelos con tratamiento más intensivo (TES), lo que coincidió con las mayores cantidades de escorrentía y las menores coberturas vegetales. De este modo, para los 7 meses de estudio las pérdidas de suelo en las parcelas con tratamiento fueron

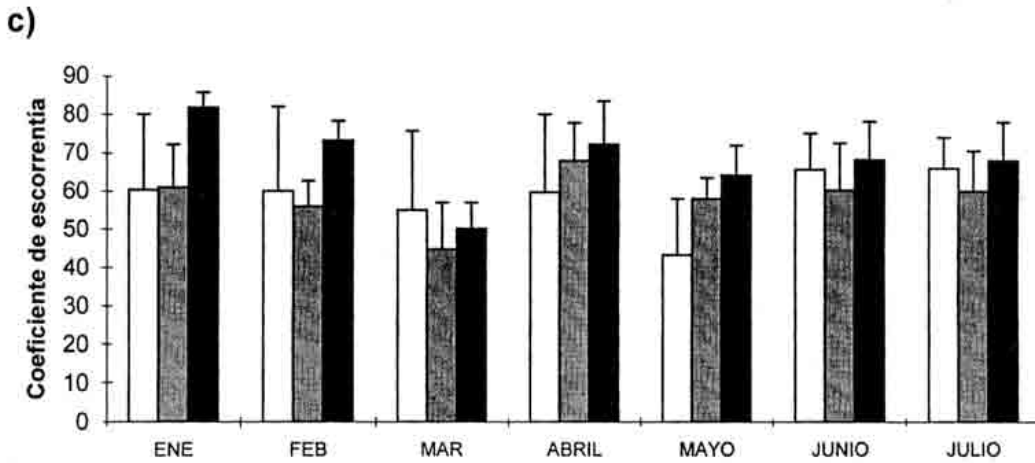
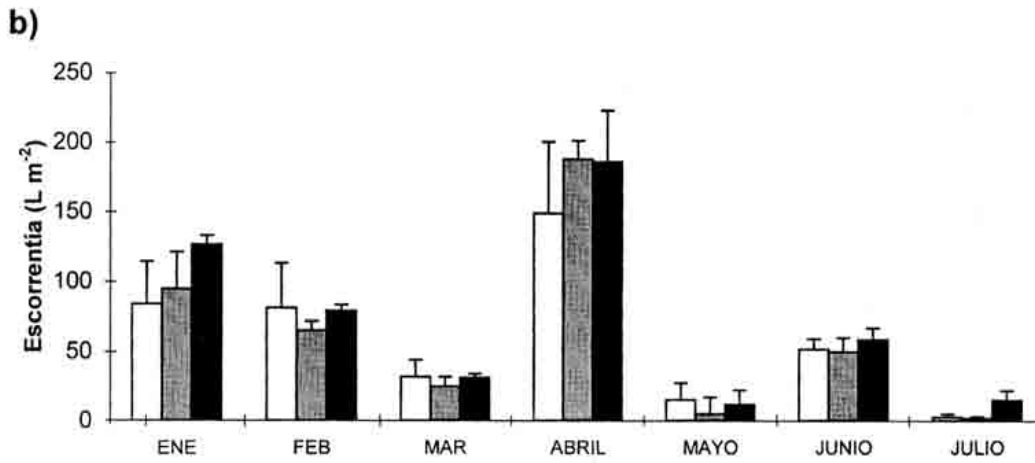
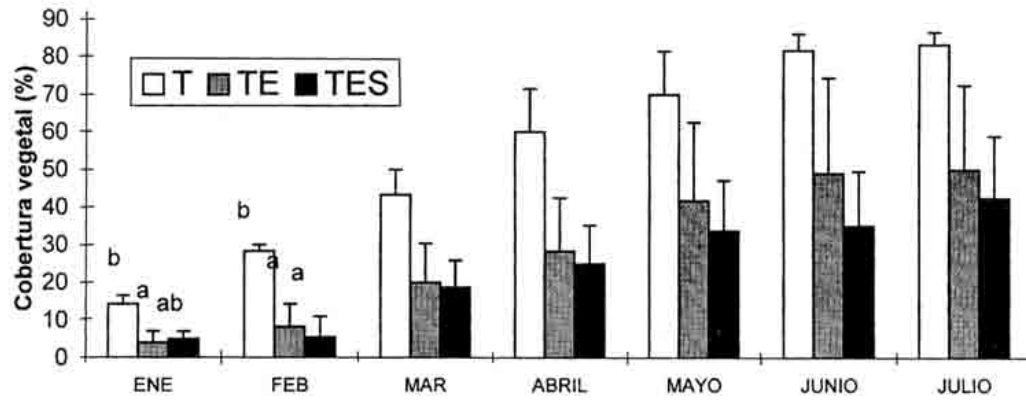


Figura 4. Datos de las parcelas de escorrentía-erosión. Desarrollo de la vegetación herbácea (a), escorrentía (b) y coeficientes de escorrentía (c) en los tres manejos forestales evaluados (para explicación, ver la figura 2)
Runoff, runoff coefficients and vegetation cover (runoff-erosion plots) in the three harvesting managements studied. For explanation, see the figure 2.

Tratamiento	Escorrentía (L m ⁻²)	Coefficiente de Escorrentía (%)	Producción de sedimentos (g m ⁻²)	Concentración de sedimentos (g m ⁻² mm ⁻¹)	Factor K
T	439.9 a	58.6 a	932.0 a	1.71 a	0.27 a
TE	474.6 a	58.3 a	2330.1 b	4.06 ab	0.30 ab
TES	543.7 a	68.2 b	3969.1 b	5.57 b	0.46 b

Tabla 3. Valores medios de precipitación, escorrentía, producción de sedimentos y concentración de sedimentos (producción de sedimentos / escorrentía) y factor K de erodibilidad en las parcelas de escorrentía-erosión para los diferentes manejos forestales evaluados, durante el periodo enero-julio 94.

Mean values of rainfall, runoff, sediment yield and sediment concentration (sediment yield / runoff) measured in the erosion plots for different harvesting management for the period January -July 94.

2.5 (TE) y 4 (TES) veces superiores a las observadas en suelos con manejo convencional (T, Tabla 3). También puede señalarse que, en algunos suelos donde se practicó laboreo (TES), se apreciaron costras de hasta 4 mm de espesor.

En comparación con las plantaciones sin talar, donde mediciones previas revelaron pérdidas inferiores a 1 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Edeso *et al.*, 1994), todas las parcelas taladas mostraron incrementos de la erosión. La mayor parte de los sedimentos se generaron en los meses de enero y abril, en los que se perdieron el 55 (T), 60 (TE) y 70 % (TES) del total producido en el período de estudio. En todos los tratamientos, las pérdidas mensuales de sedimentos se relacionaron estrechamente con la escorrentía, especialmente en las parcelas TES, y en menor medida con la cubierta vegetal (Tabla 4). La escasa relación con la cubierta vegetal observada en los suelos con tratamiento convencional posiblemente se debió al efecto ejercido por los residuos de corta.

Las concentraciones mensuales de sedimentos (producción de sedimento / escorrentía) fueron significativamente inferiores en las parcelas con manejo convencional (T) que en las sometidas a labores intensivas del suelo (TE, TES; Tabla 3, fig. 5b). Coincidiendo con el desarrollo de la vegetación, se pudo observar una tendencia de disminución de la concentración de sedimentos con el tiempo.

4. Discusión

Los resultados de este trabajo muestran que las labores de preparación del terreno que incluyen la eliminación de los restos de corta conducen a aumentos substanciales de la escorrentía y de las pérdidas de suelo por erosión.

Todas las parcelas estudiadas mostraron elevadas escorrentías, posiblemente por la baja conductividad hidráulica del suelo, derivada del elevado contenido en arcilla. No obstante, puesto que la precipitación fue abundante durante el período de estudio, la elevada humedad del suelo durante la mayor parte del período de estudio también pudo favorecer el flujo superficial por saturación.

Aunque las parcelas en las que se practicó el arado mostraron las mayores cantidades de escorrentía, los valores no difirieron significativamente del resto de los tratamientos evaluados. Esta falta de significación pudo deberse a la variabilidad producida por la diferente intensidad de las labores de preparación del terreno. Las mayores escorrentías encontradas en varias de estas parcelas pudieron generarse como consecuencia de la eliminación de los restos de corta y de los cambios en las propiedades de los suelos, particularmente la pérdida de materia orgánica y el aumento de la densidad aparente.

La reducción de materia orgánica y el aumento de la densidad aparente observado en el presente estudio después de la preparación del terreno fueron producidas principalmente por la aparición en superficie de material de suelo procedente del horizonte subsuperficial. Puesto que este horizonte B es más denso y más pobre en materia orgánica, la capa superficial resultante es compacta y muestra una baja conductividad hidráulica. No obstante, parte de la compactación también pudo derivarse del empleo de maquinaria pesada. Otros estudios han mostrado también los efectos adversos de la preparación de los suelos foresta-

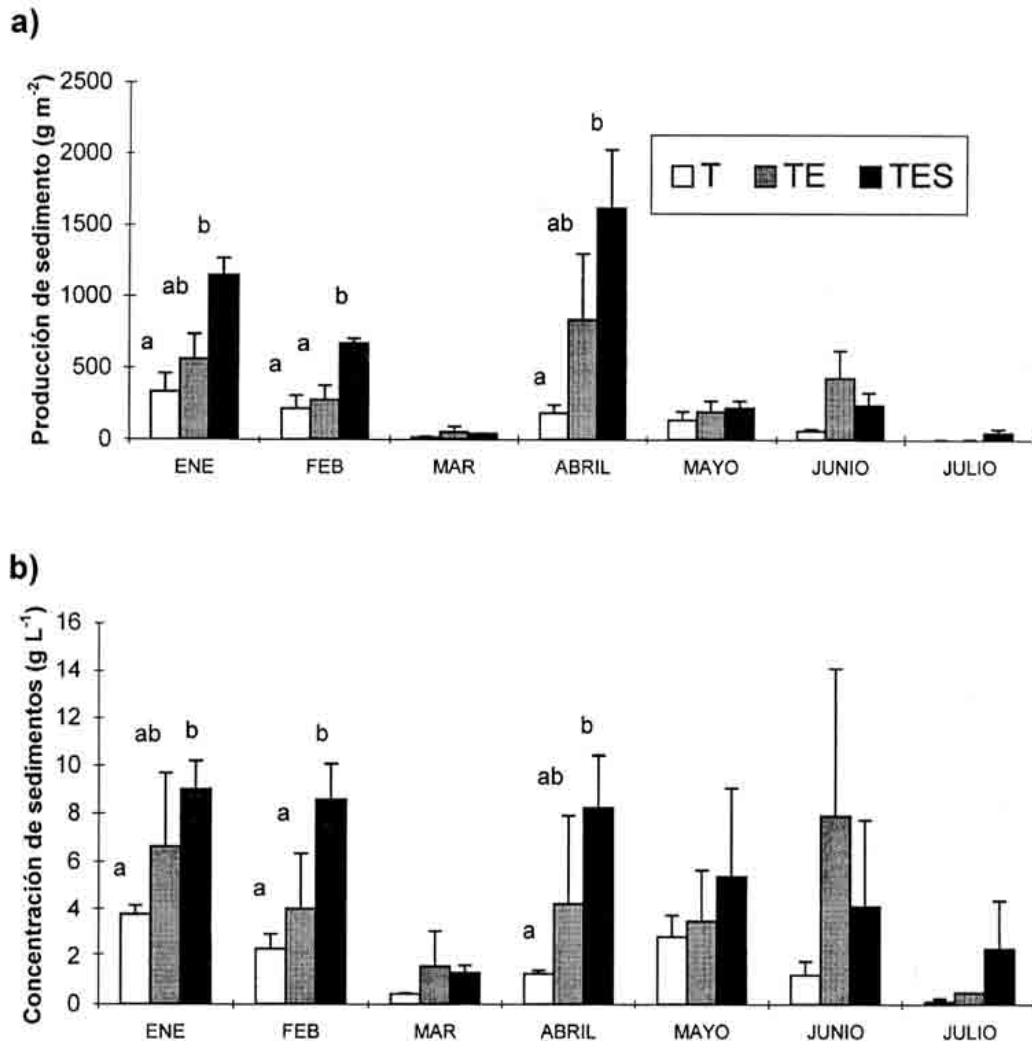


Fig. 5. Producción de sedimentos y concentración de sedimentos (parcelas de erosión-sedimentación) en diferentes manejos forestales después de la tala. Para explicación, ver la figura 2.
Sediment yield and sediment concentration (runoff-erosion plots) under different harvesting managements. For explanation, see the figure 2

les sobre la degradación de la estructura, compactación e infiltración del suelo (Alegre *et al.*, 1986; Huang *et al.*, 1986; Lal, 1996a). Algunos autores (Albadalejo *et al.*, 1994) han observado que parte de la pérdida de infiltración responde a la reducción de la macroporosidad como consecuencia de la pérdida de materia orgánica en el suelo. Por consiguiente, estas prácticas no mejoran la baja conductividad hidráulica de estos suelos, sino que, por el contrario, las modificaciones que producen en las propiedades del suelo empeoran sus condiciones físicas.

El aumento del factor K de erodibilidad y las mayores concentraciones de sedimentos encontrados en los suelos sometidos a tratamientos intensos indican que el incremento de la erosión no sólo fue debido a la mayor escorrentía, sino también a las mayor susceptibilidad del suelo frente a la erosión. Puesto que la materia orgánica está directamente implicada en la formación y estabilidad de los agregados grandes del suelo, resistentes a la erosión, la mayor pérdida de suelo observada puede estar asociada con la pérdida de materia orgánica del horizonte superficial del suelo. Aunque en este trabajo no se evaluó el efecto de estas

	CH (n=21)			HR (n=21)			HRP (n=28)			All (n=70)		
	PP	ES	CV	PP	ES	CV	PP	ES	CV	PP	ES	CV
PS	0.46*	0.70**	-0.29	0.46*	0.67*	-0.33	0.88**	0.96**	-0.45*	0.59**	0.75**	-0.42**
PP		0.76**	-0.04		0.94**	-0.02		0.92**	-0.02		0.87**	0.20
CV			0.10			-0.10			-0.43*			0.33

* Significativo ($p < 0.05$); ** muy significativo ($p < 0.001$)

* Significant ($p < 0.05$); ** highly significant ($p < 0.001$)

Tabla 4. Índices de correlación entre la producción mensual de sedimento (PS), precipitación (PP), escorrentía (ES) y cubierta vegetal (CV).

Correlation indices between monthly sediment yield (PS), monthly rainfall (PP), runoff (ES) and contact vegetation cover (CV)

prácticas sobre la estructura, un estudio de Ternan *et al.* (1996), realizado en el centro de España, muestra cómo las labores forestales producen descensos de la estabilidad de agregados del suelo.

La mayor parte de la generación de sedimentos tuvo lugar durante el período comprendido entre la tala y el desarrollo de la vegetación herbácea, lo que concuerda con estudios realizados en otros suelos forestales (Beasley, 1979; Díaz-Fierros, *et al.*, 1987; Lal, 1996a). En comparación con el manejo convencional, las labores intensivas retrasaron considerablemente el establecimiento de la vegetación pionera. En relación a ello, el impacto directo de las gotas de lluvia pudo ser la causa del desarrollo de costras superficiales observado en estos suelos, fenómeno descrito también por Mwendera y Feyen (1994).

El escaso desarrollo de la vegetación en estos suelos fue debido posiblemente a la degradación de algunas de las propiedades del suelo. La reducción de materia orgánica y el aumento de la densidad aparente tienen una influencia negativa sobre la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo. De este modo, los valores de densidad aparente observados en los suelos con tratamiento intensivo, superior a 1.35 g cm^{-3} , resultan restrictivos para el crecimiento de las plantas (Froehlich, 1979). Al mismo tiempo, la reducción de N, S y Ca observada en estos mismos suelos (Merino *et al.*, 1997) puede dificultar también el establecimiento de la vegetación. A su vez, el retraso en el desarrollo de ésta puede tener también repercusiones en la recuperación de las propiedades del suelo, puesto que el desarrollo vegetal, especialmente de plantas herbáceas, contribuiría a restituir los niveles de materia orgánica y a mejorar las propiedades físicas del suelo.

Diferentes experimentos realizados en otras zonas han observado también aumentos considerables de la erosión después de la preparación del terreno (Beasley, 1979; Ortigosa, 1989; Farrish *et al.*, 1993; Lal, 1996b). Las tasas de pérdida de suelo registradas en las parcelas con preparación intensa son superiores a las observadas por Miller *et al.* (1988) para tratamientos similares. Son comparables, sin embargo, a las encontradas por Díaz-Fierros *et al.* (1987) en zonas forestales de Galicia afectadas por incendios.

Los tasas de erosión determinadas por ambos métodos, agujas y parcelas de escorrentía, son del mismo orden de magnitud. No obstante debe considerarse que los diferentes períodos de estudio y el reducido tamaño de las parcelas de erosión no permiten una comparación precisa de los datos obtenidos por ambos métodos. Díaz-Fierros *et al.* (1987) encontraron menores tasas de erosión en las parcelas de escorrentía frente a las agujas, y lo atribuyeron al hecho de que este último método no evalúa apropiadamente la heterogeneidad de la erosión que se produce en una superficie. En nuestro estudio, el reducido tamaño de las parcelas de escorrentía pudo reducir la energía del flujo y la cantidad de escorrentía superficial, lo que podría infraestimar la pérdida de suelo.

Aunque el presente trabajo no fue diseñado para evaluar la USLE como método de predicción de la pérdida de suelo en estas condiciones, se realizaron cálculos para comparar los datos estimados por medio de esta ecuación con los obtenidos en el campo. Cabe considerar, a priori, que la aplicación de la USLE para estas zonas presenta la limitación de las fuertes pendientes, superiores para las que este método empírico fue diseñado. La predicción se realizó empleando los valores de factor R dados por el ICONA (1988) para esta zona, y que oscilaron entre 200 y 330. Con ello, la erosión estimada para los diferentes tratamientos se cifró en 16 (T), 54 (TE) y 70 (TES) $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, valores del mismo orden de magnitud a las pérdidas medias observadas con las agujas de erosión. De hecho, el análisis de correlación mostró una moderada relación entre los valores medidos y los estimados por esta ecuación ($r = 0.64$, $p < 0.01$).

5. Conclusiones

Aunque el presente estudio constituye un primera evaluación, los resultados parecen indicar que en las zonas forestales estudiadas, las labores de tala y preparación intensa del terreno incrementan la escorrentía superficial y la pérdida de suelo por erosión. La mayor parte de la pérdida de suelo se restringe a los meses siguientes a la tala forestal, sin embargo, las elevadas tasas de erosión que se producen después de la preparación intensiva sugieren que la explotación continua de plantaciones forestales en rotaciones de corta duración pueden tener una importante repercusión en la conservación y fertilidad de los suelos. Los resultados sugieren que estas técnicas de preparación intensa no deberían ser practicadas en estas zonas de elevada pendiente e intensa precipitación, con gran riesgo de erosión.

Agradecimientos

La elaboración de este trabajo se realizó en el marco del proyecto "Las Repercusiones de los Cambios de Uso del Suelo en la Pérdida de Recursos Ambientales y en la Dinámica del Ecosistema", financiado por la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Los autores agradecen al Dr. Artemi Cerdá del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia, cuyas sugerencias han ayudado a mejorar diferentes aspectos del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Albadalejo, J., Martínez-Mena, C., García, C. & Castillo, V.** (1994): Changes in soil physical properties induced by soil degradation. En *Trans. Int. Congr. Soil Sci. 15 th, Acapulco, Mexico. Viena*. ISSS, 250-251.
- Alegre, J. C., Cassel, D. K. & Bandy, D. E.** (1986): Effects of land clearing and subsequent management on soil physical properties. *Soil Science Society America Journal*, 50, 1379-1384.
- Beasley, R. S.** (1979): Intensive site preparation and sediment losses on steep watersheds in the Gulf Coastal Plain. *Soil Science Society America Journal*, 43, 412-417.
- Benito, E., Soto, B. & Díaz-Fierros, F.** (1991): Soil erosion studies in NW Spain. En SALA, M., RUBIO, J. L. & GARCÍA-RUIZ, J. M. (eds.). *Soil Erosion Studies in Spain*. Logroño. Geoforma Ediciones.
- Díaz-Fierros, F., Benito, E. & Pérez, M.** (1987): Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burnt forest area in Galicia (NW Spain). *Catena*, 14, 189-199.
- Edeso, J. M., González, M. L., Merino, A., Marauri, P. & Larrión, J. A.** (1994): Primeros datos sobre las pérdidas de suelo en explotaciones forestales en la vertiente cantábrica del País Vasco. En GARCÍA-RUIZ, J. M. & LASANTA, T (eds.). *Efectos Geomorfológicos del abandono de tierras*. Zaragoza. Sociedad Española de Geomorfología, 21-30.
- Farrish, K. W., Adams, J. C. & Thompson, C. V.** (1993): Soil conservation practices on clearcut forestlands in Louisiana. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48, 136-139.
- Froehlich, H. A.** (1979). Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young ponderosa pine. *Journal of Soil and Water Conservation*, 34, 276-278.
- Gerlach, T.** (1967): Hillslope troughs for measuring sediment movement. In *Field methods for the study of slope and fluvial processes. Rev. Geom. Dyn.*, 4, 173-175.
- Guitián, F & Carballas, T.** (1975). *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro, Santiago.
- Haigh, M. J.** (1977): The use of erosion pins in the study of slope evolution. *British Geomorphology Group Technological Bulletin*, 18, 31-49.
- Huang, J., Lacey, S. T. & Ryan, P. J.** (1996): Impact of forest harvesting on the hydraulic properties of surface soil. *Soil Science*, 161, 79-86.
- ICONA** (1988): *Agresividad de la lluvia en España*. Madrid: ICONA, 38 p.

- Lal, R.** (1996a): Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. I. Soil Physical and Hydrological properties. *Land Degradation & Development*, 7, 19-45.
- Lal, R.** (1996b): Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. II. Runoff, soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation & Development*, 7, 99-119.
- McCool, D. K. & Renard, K. G.** (1990): Water erosion and water quality. *Advances in Soil Science*, 13, 174-185.
- Merino, A.** (1990): Bioclimatología de Gipuzkoa. *Lurralde*, 13, 63-116.
- Merino, A., Edeso, J. M., González, M. J. & Marauri, P.** (1997): Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *Forest Ecology and Management* (in press).
- Miller, E. L., Beasley, R. S. & Lawson, E. R.** (1988): Forest harvest and site preparation effects on erosion and sedimentation in the Ouachita Mountains. *Journal of Environmental Quality*, 17, 219-225.
- Mwendera, E. J. & Feyen, J.** (1994): Effects of tillage and rainfall on soil surface roughness and properties. *Soil Technology*, 7, 93-103.
- Ortigosa, L.** (1989): Microtopographic evolution and erosion on afforested mountain slopes. *Pirineos*, 133, 77-98.
- Ternan, J. L., Willians, A. G., Elmes, A. & Fitzjohn, C.** (1996): The effectiveness of bench-terracing and afforestation for erosion control on Raña sediments in Central Spain. *Land Degradation & Development*, 7, 337-351.
- White, S.** (1996): Comparison of runoff and sediment yield for two neighbouring catchments in the Philippines. *Cuaternario y Geomorfología*, 10, 59-77.