

TRAZADORES RADIOISOTÓPICOS DE LA REDISTRIBUCIÓN DEL SUELO: SU APLICACIÓN EN LADERAS MEDITERRÁNEAS

A. NAVAS¹, J. MACHÍN¹, J. SOTO³, B. VALERO²

^{1,2} Estación Experimental de Aula Dei. Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apartado 202. 50.080 Zaragoza. Spain. anavas@eead.csic.es.

³ Dpto. Ciencias Médicas y Quirúrgicas. Universidad de Cantabria. Avda. Cardenal Herrera Oria s/n. 39011 Santander. Spain.

Abstract. In the central part of the Ebro basin, there areas with a high risk of desertification due to hydric erosion. Application of radiotracers to assess soil movement on slopes offer a valuable potential to identify sediment sources as well as to discriminate erosion or agradation areas. In this work we apply radiometric techniques on slopes of the central South Pyrenean region. The soil redistribution seems to be affected by the physiographic position and orientation, besides land uses and vegetation cover also affect the soil losses.

Key words: erosion, slopes, orientation, land cover and uses, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, Aragón, Spain.

Resumen. El sector central de la cuenca del Ebro presenta zonas con alto riesgo de desertificación por erosión hídrica que conllevan importantes efectos ambientales y costes socioeconómicos por la pérdida de suelo. Los isótopos radiotrazadores del movimiento del suelo presentan un importante potencial para identificar fuentes de aportes y discriminar áreas de erosión y depósito. En este trabajo se aplican técnicas radiométricas en laderas de cuencas de la región surpirenaica comprendidas entre las isoyetas de 400 y 800 mm. Se demuestra el efecto de la posición y orientación de las laderas, así como de los usos del suelo y la cobertera vegetal en los procesos erosivos de redistribución del suelo.

Palabras clave: erosión, laderas, orientación, cubierta vegetal, usos del suelo, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, Aragón, España.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de erosión en el área Mediterránea suponen una amenaza ambiental y de estabilidad social por el riesgo de desertificación. En el Noreste de España, el sector central del valle del Ebro es el más proclive a la erosión por sus limitantes edáficos, climáticos y de vegetación. Además de las pérdidas económicas por la

disminución de productividad que conlleva la pérdida de suelo hay que considerar otros elevados costes indirectos derivados del posterior depósito de partículas y el consiguiente aterramiento de canales y embalses.

Las técnicas radiométricas presentan un indudable potencial para la medida del movimiento del suelo. Su distribución a nivel mundial tras los ensayos nucleares de los años 1950-70 y su asociación estrecha

con las partículas de suelo (Rogowski y Tamura, 1970) con las que se transporta por procesos físicos permiten la medida de la erosión en medios muy diversos. El interés ambiental de su aplicación en laderas de ambientes mediterráneos es indudable, ya que es generalizada la escasa protección de la superficie del suelo por una cobertura vegetal densa. En consecuencia en estos ambientes es primordial conservar el recurso suelo por ser éste eminentemente no renovable.

La utilización del ^{137}Cs se inició a finales de 1970 en Estados Unidos (Ritchie *et al.*, 1974) y en los años 1980-90 su uso se generaliza y difunde en Europa (Walling *et al.*, 1986). En España, Navas y Machín (1991), Navas y Walling (1992) han confirmado la potencialidad del ^{137}Cs como radiotrazador del movimiento de las partículas de suelo en las muy diversas condiciones ambientales mediterráneas.

La aplicación de radiotrazadores en diversos ambientes del sector central de la cuenca del Ebro ha evidenciado que la dinámica de movilización de partículas de suelo es muy activa (Quine *et al.*, 1994) y que son muy variadas las áreas fuentes que pueden suministrar cargas importantes de sedimentos que se depositan en los embalses (Navas *et al.*, 1997). En este contexto es de interés el uso de radiotrazadores para la evaluación de los procesos erosivo-sedimentarios cuyas afecciones ambientales afectan a gran variedad de agroecosistemas amenazando su sostenibilidad.

En este trabajo presentamos los resultados de la aplicación de ^{137}Cs y ^{210}Pb para evaluar la dinámica y la distribución espacial de las partículas movilizadas en laderas de la región central surpirenaica. Estas técnicas radiométricas se utilizan para identificar fuentes de aportes, determinar el balance de sedimentos y cuantificar las tasas de erosión - sedimentación así como para analizar los efectos de factores fisiográficos

(posición y orientación de las laderas) y de usos del suelo en su movilización.

MATERIAL Y MÉTODOS

El cesio 137 (^{137}Cs) y el plomo 210 (^{210}Pb) son los radioisótopos más comúnmente utilizados en estudios de erosión y sedimentación. El movimiento de partículas de suelo puede ser trazado mediante el análisis de la distribución espacial de estos radioisótopos en el perfil del suelo. El ^{137}Cs es un radioisótopo artificial de 30.17 años de vida media y altamente reactivo. Las características de este radiotrazador y su aplicación en las condiciones climáticas y fisiográficas de los ambientes mediterráneos se detallan en Navas (1995). El ^{210}Pb es un radioisótopo natural de 22.2. años de vida media perteneciente a la serie del ^{238}U , que también es adsorbido por las partículas de suelo y redistribuido con ellas por procesos de erosión y sedimentación. El contenido de ^{210}Pb en suelos se genera por la desintegración radiactiva in situ de ^{226}Ra con el que está en equilibrio y que se denomina ^{210}Pb soportado. La diferencia entre los contenidos de ^{226}Ra y del total de ^{210}Pb en la muestra de suelo determina el ^{210}Pb en exceso que es el que se incorpora al suelo desde la atmósfera (^{222}Rn). Las concentraciones de ^{210}Pb en exceso en el perfil del suelo nos indican si existe erosión o acumulación de sedimentos en el punto de muestreo.

La erosión y movilización del suelo se ha estudiado en laderas de fisiografías representativas de la región central surpirenaica sobre materiales de formaciones detríticas terciarias comprendidas en la orla de isoyetas de 400 a 800 mm. Los suelos son Regosoles y Cambisoles calcáreos y Kastanozems en las zonas de umbría de alta pluviometría.

En las laderas estudiadas se establecieron transectos donde se muestrearon puntos con un espaciado de unos 20 a 50 m. Las

muestras de suelos se extrajeron con un sondeador automático de 8 cm de diámetro hasta una profundidad de 40 – 55 cm con objeto de retener el perfil completo de los radioisótopos. Las muestras de los transectos secas y molidas se pesan y una parte representativa de la fracción fina (<2 mm) se analiza por espectrometría de rayos gamma mediante un detector de coaxial de germanio hiperpuro (EG&G ORTEC HPGe) de alta resolución y baja energía acoplado a un amplificador y analizador ORTEC multicanal. El detector con una eficiencia del 20%, resolución de 1,86 keV mide las emisiones gamma de ^{137}Cs (662-keV) y ^{210}Pb (47-keV) ^{226}Ra (352-keV del ^{214}Pb) en Bq kg^{-1} . El tiempo de conteo es de 30000 s lo que proporciona una precisión analítica de las medidas en torno al 10%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los perfiles de ^{137}Cs permiten diferenciar a lo largo de los transectos las zonas estables, de depósito o erosionadas (Figura 1). En la cresta y talud de las laderas predomi-

nan los perfiles de ^{137}Cs de disminución exponencial de su concentración en profundidad. El radioisótopo se acumula fundamentalmente en los 10 cm superiores, reflejando su fuerte adsorción en la fracción fina del suelo. La erosión o depósito se identifican respectivamente por la significativa disminución o aumento de la concentración de ^{137}Cs en el horizonte superficial del suelo, y por los niveles de actividad de ^{137}Cs respectivamente más bajos o más altos que los de referencia. La base de las laderas, de suave pendiente se dedica generalmente al cultivo. El laboreo determina la mezcla del suelo, y en consecuencia el perfil del ^{137}Cs se homogeneiza en toda su profundidad. La acumulación de sedimentos en la base de las vertientes produce perfiles alargados de ^{137}Cs (más de 50 cm de profundidad) y altos valores de actividad. No obstante, la actividad agrícola desencadena una intensa erosión que se refleja en el predominio de bajos niveles de actividad y en la escasa concentración de ^{137}Cs a lo largo del perfil. La desviación con respecto a la carga de referencia del radioisótopo, expresado como porcentaje de pérdida o ganancia de

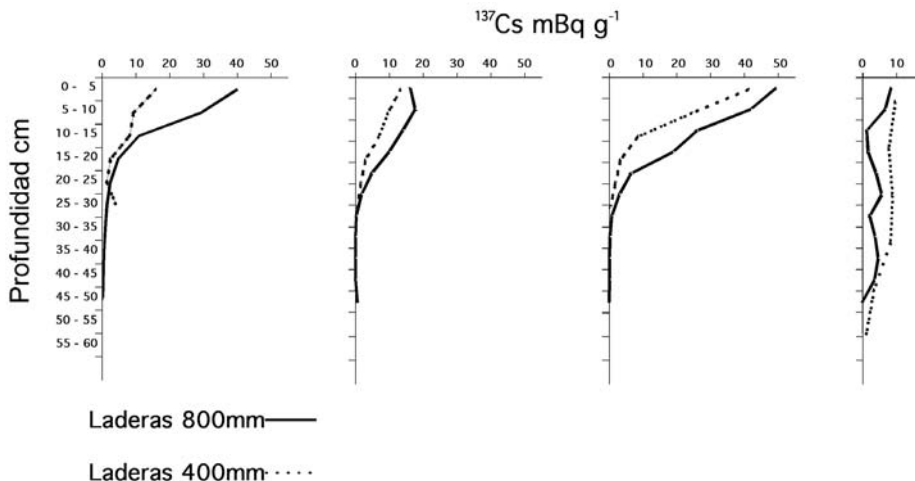


FIGURA 1: Distribución de perfiles de ^{137}Cs de la cresta a la base de las laderas muestreadas en las zonas de estudio.

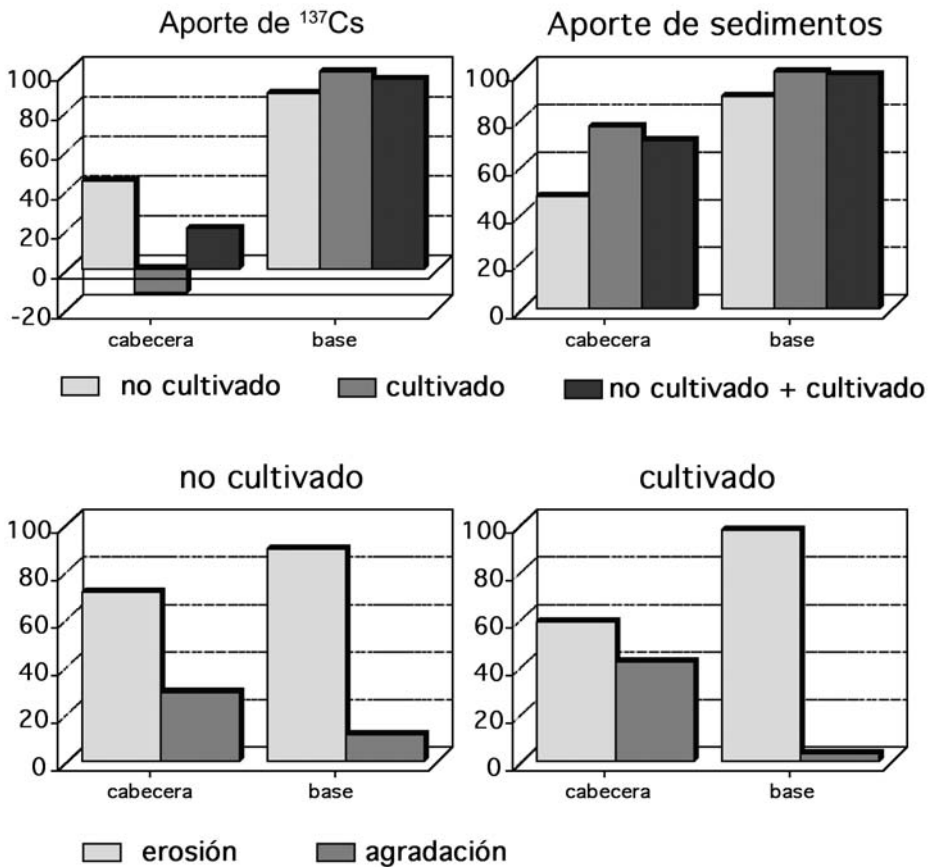


FIGURA 2: Aporte de ^{137}Cs y sedimentos y distribución porcentual de las superficies de erosión y sedimentación en laderas de cabecera y base de la cuenca estudiada.

^{137}Cs refleja la movilidad del sedimento y la distribución de la erosión o depósito a lo largo de las laderas.

El efecto de la posición de las laderas, en cabecera o base de una pequeña cuenca, y del cultivo sobre el movimiento del suelo y el aporte de sedimentos se puede observar en los resultados representados en la Figura 2. En cabecera se registra un menor aporte de ^{137}Cs a partir de la mitad inferior de la vertiente, cuando la inflexión de la pendiente favorece el depósito de sedimentos. Por el contrario, en la base de la cuenca, existe a lo largo de toda la vertiente un claro predominio de pérdida de ^{137}Cs . El cálculo de sedi-

mentos estimado a partir de las medidas de ^{137}Cs pone de manifiesto la diferencia entre los porcentajes aportados en la base de la cuenca que son superiores a los de cabecera, así como también el mayor aporte de sedimentos procedente de la zona cultivada respecto de la no cultivada. La mayor superficie porcentual de erosión se produce en la base de la cuenca tanto en la parte no cultivada como en la cultivada y la mayor sedimentación se registra en la parte cultivada de ladera de cabecera.

El efecto de la orientación y pendiente de la ladera se estudió en otra pequeña cuenca de montaña de 800 mm de precipitación

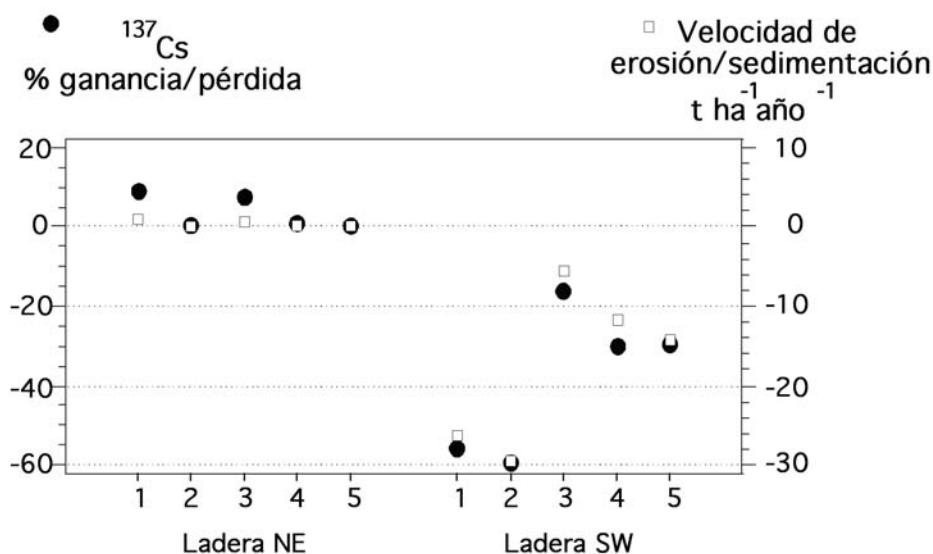


FIGURA 3: Porcentaje de pérdida y ganancia de ^{137}Cs con respecto al valor de referencia para el área y velocidades de erosión y sedimentación en laderas de diferente pendiente y orientación de una cuenca de montaña.

anual en la que se realizaron dos transectos con cinco muestras en cada uno. En la tabla 1 se presentan valores de actividad que corresponden a perfiles de ^{137}Cs y ^{210}Pb encontrados. Altas concentraciones de ^{137}Cs y ^{210}Pb en los primeros 10 cm de los perfiles P1 y P2 indican sedimentación, por el contrario las bajas actividades de ^{137}Cs y por debajo del límite de detección del ^{210}Pb en P3 y P4 corresponden a perfiles típicos de erosión.

Como se puede observar en la Figura 3, en la vertiente SW (43 % de pendiente) todos los puntos presentan perfiles de erosión, siendo los de mayor pendiente los que presentan las mayores pérdidas del radioisótopo con respecto al inventario de referencia lo que demuestra la relación entre topografía y pérdida de ^{137}Cs . Por el contrario en la vertiente NE de menor pendiente (31%) predominan los puntos estables o de ligera sedimentación y además su menor insolación que determina un mayor cubrimiento vegetal protege al suelo de la erosión. La calibración

de los datos de ^{137}Cs para el cálculo de las tasas de erosión y sedimentación permite estimar que en la vertiente SW las tasas de erosión superan a las de formación del suelo, por lo que el proceso de pérdida es irreversible y hace que esta ladera sea fundamentalmente suministradora de sedimentos.

CONCLUSIONES

Las técnicas radiométricas ofrecen un gran potencial para la evaluación de procesos de erosión y sedimentación en ambientes mediterráneos y permiten identificar áreas de erosión, lo que es necesario para el diseño de estrategias efectivas de conservación del suelo y su sostenibilidad en condiciones ambientales de calidad.

En las laderas estudiadas, las prácticas agrícolas son un factor primordial en el desencadenamiento de la erosión. Asimismo la orientación de las vertientes y el grado de cobertera vegetal afectan directamente a la

TABLA 1: Concentraciones de ^{137}Cs y ^{137}Pb en perfiles de erosión y depósito.

	profundidad cm	^{137}Cs		^{210}Pb total		^{210}Pb soportado		^{210}Pb en exceso	
		Bq kg ⁻¹							
		P 3	P 4	P 3	P 4	P 3	P 4	P 3	P 4
erosión	0-5	16.1	17.2	31.7	33.7	22.8	23.7	LID	LID
	5-10	17.6	8.8	29.3	21.5	25.0	25.4	LID	LID
	10-15	13.9	4.9	40.4	22.5	31.6	24.9	-	-
	15-20	9.9	1.6	24.5	28.7	26.5	27.8	-	-
	20-25	4.8	0.4	30.9	28.0	31.1	26.5	-	-
	25-30	1.7	0.2	35.8	28.2	29.3	27.6	-	-
	30-35	0.2	1.6	23.2	24.7	28.9	25.0	-	-
		P 1	P 2	P 1	P 2	P 1	P 2	P 1	P 2
sedimentación	0-5	40.0	45.4	60.8	74.5	25.1	21.7	35.7	52.8
	5-10	29.4	38.5	38.8	51.1	24.0	24.1	14.8	27.0
	10-15	10.9	23.7	28.6	31.4	25.4	26.0	LID	LID
	15-20	4.7	9.6	25.0	29.4	27.6	25.2	-	-
	20-25	2.4	4.3	26.4	22.5	25.6	25.1	-	-
	25-30	1.4	2.0	34.6	25.9	27.8	25.1	-	-
	30-35	1.0	0.0	31.0	29.3	28.9	23.8	-	-
	35-40	0.6	0.0	32.8	18.6	28.3	24.6	-	-
	40-45	0.0	0.5	24.8	15.8	29.6	22.9	-	-
	45-50	0.3		31.2		29.0		-	

pérdida se suelo. Por tanto, en los ambientes estudiados se debería considerar preferentemente el control de la erosión en tierras de cultivo y en laderas orientadas al sol que son los ambientes de mayor fragilidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada mediante los proyectos CICYT "Evaluación de la erosión del suelo en agroecosistemas mediterráneos mediante cesio 137 y plomo

210 : factores, validación y modelización en una cuenca del valle del Ebro, RADIERO (REN2002-02702/GLO)" y "Evaluación de procesos de desertificación en agroecosistemas mediterráneos: modelización predictiva y radioisotópica, REM (CGL2005-02009/BTE).

REFERENCIAS

Navas, A. (1995): Cuantificación de la erosión mediante el radioisótopo cesio-137. Cuadernos Técnicos de la Sociedad

- Española de Geomorfología nº8. 16 p. *Geoforma Ediciones*. Logroño.
- Navas, A. y Machín, J. (1991): A preliminary research on the use of cesium-137 to investigate soil erosion in the semiarid landscape of the central Ebro river valley. En: *Soil erosion studies in Spain*, M.Sala, J.L. Rubio y J.M. Garcia-Ruiz (eds.), 191-202.
- Navas, A. y Walling, D. (1992): Using caesium-137 to assess sediment movement in a semiarid upland environment in Spain. *IAHS* 209,129-138.
- Navas, A., García-Ruiz, J.M., Machín, J., Lasanta, T., Walling, D., Quine, T. y Valero, B. (1997): Aspects of soil erosion in dry farming land in two changing environments of the central Ebro valley, Spain. *IAHS* 245,13-20.
- Quine, T., Navas, A., Walling, D.E. y Machín, J. (1994): Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near Las Bardenas in the Central Ebro River Basin, Spain. *Land Degrad. Rehabil.* 5, 41-55.
- Ritchie, J.C., Spraberry, J.A. y McHenry, J.R. (1974): Estimating soil erosion from the redistribution of caesium-137. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 137-139.
- Rogowski, A.S. y Tamura, T. (1970): Environmental mobility of caesium-137. *Radiation-Bot.* 10, 35-45.
- Walling, D.E., Bradley, S.B. y Wilkinson, C.J. (1986): A caesium-137 budget approach to the investigation of sediment delivery from a small agricultural drainage basin in Devon, U.K. En: *Drainage Basin Sediment Delivery*, R.F. Hadley (ed.), IAHS 159, 423-435.