

# **Uso del $^{137}\text{Cs}$ y $^{210}\text{Pb}$ en Estudios de Erosión y Sedimentación en Ambientes Semiáridos y Templados**

*A. Navas*

**Departamento de Edafología.  
Estación Experimental de Aula Dei. CSIC  
Apartado 202. 50080 Zaragoza**

## **Introducción**

En el área mediterránea el riesgo de cambios ambientales que pueden conducir a la desertificación, amenaza especialmente a las zonas áridas y semiáridas. Al menos el 40% de España está afectada por diferentes grados de erosión y en la parte nororiental de la península, en el centro de la cuenca del Ebro existen paisajes donde el suelo ha desaparecido completamente. Las pérdidas de suelo fértil en ambientes edáficos donde no es renovable, amenaza gravemente la sostenibilidad de los agroecosistemas. Otros efectos indirectos, no menos importantes, asociados a la pérdida de suelo, transporte de partículas y su depósito afecta a infraestructuras hidráulicas por la colmatación de canales y embalses que suponen pérdidas económicas elevadas.

La necesidad de implementar medidas de conservación en un contexto de sostenibilidad de los recursos, requiere conocer la magnitud de la pérdida de suelo, el suministro de sedimentos y su posterior depósito. Con esta finalidad, utilizamos las técnicas radiométricas ( $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$ ), ampliamente difundidas a nivel internacional (Ritchie, et al., 1970; Walling, et al., 1986; Chappell, et al., 1998; Loughran, et al., 1996), para evaluar el impacto ambiental de la erosión y sedimentación sobre la sostenibilidad de los recursos de agua y suelo en zonas semiáridas y templadas de ambientes Mediterráneos.

## **Material y métodos**

Para el estudio de la erosión y redistribución del suelo se han seleccionado laderas de fisiografías representativas sobre formaciones detríticas terciarias y variedad de suelos (Regosoles, Cambisoles, Kastanozems) en ambientes semiáridos (Las Bardenas: 400 mm) y templados de la montaña pirenaica (La Jacetania: 800 mm). El análisis de la sedimentación e historia de la colmatación se aborda en el embalse de Barasona (Graus).

La aplicación de la técnica y el procedimiento analítico se explican en detalle en Navas (1995). Las muestras secas al aire, se tamizan (2 mm) y analizan los radionucleidos de emisión gamma mediante un detector 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  $^{137}\text{Cs}$  (662-keV),  $^{210}\text{Pb}$  (47-keV) y  $^{226}\text{Ra}$  (352-keV del  $^{214}\text{Pb}$ ) en  $\text{Bq kg}^{-1}$ . El tiempo de conteo es de 30000 s lo que proporciona una precisión analítica de las medidas en torno al 10%.

En las zonas de estudio se establecen los inventarios de referencia de  $^{137}\text{Cs}$ . La comparación entre los inventarios del radioisótopo medidos en las laderas con los de referencia permite el cálculo de los residuales de  $^{137}\text{Cs}$  y la estimación de la pérdida o ganancia de suelo tras la calibración de los datos radioisotópicos (Brown et al., 1981).

### **Inventarios de $^{137}\text{Cs}$ : el gradiente climático**

Los inventarios de referencia se estiman a partir de al menos 9 muestras de sitios estables (Sutherland, 1994). En el ambiente semiárido es de  $190 (\pm 20) \text{ mBqcm}^{-2}$  y en el templado de  $400 (\pm 25) \text{ mBq cm}^{-2}$ . Los perfiles de  $^{137}\text{Cs}$  estables muestran la típica forma de acumulación en los 10 cm superiores y la rápida disminución en profundidad hasta niveles no detectables por debajo de los 30 cm (Navas y Machín, 1991). En el ambiente templado las concentraciones son en promedio un 50% superiores a las del semiárido.

En general, en laderas tipo - cresta, talud y base - se encuentra una secuencia de perfiles: estable, erosionado, de sedimentación y perfiles mezclados por el cultivo (Figura 1). No obstante, en los ambientes Mediterráneos, diversidad de factores tales como afloramientos rocosos, pedregosidad, islas de vegetación, etc., modifican las pautas normales de generación, transporte y sedimentación de partículas que implican una gran variedad de perfiles de  $^{137}\text{Cs}$  en un mismo tramo de la pendiente (Navas y Walling, 1992).

### **Efectos del uso del suelo, la pendiente, orientación y la cobertura vegetal sobre la redistribución del suelo.**

En el ambiente semiárido se analizó la distribución del suelo en dos sectores de una misma cuenca (cabecera y base), cuyas laderas difieren en pendiente, longitud y vegetación. La distribución del radioisótopo en los transectos refleja el efecto de la cubierta vegetal y el cultivo en la movilización del suelo (Figura 2). La mayor erosión y aporte de sedimentos se produce en la ladera de base de la cuenca que es la de menor porcentaje de cubierta vegetal y mayor superficie de suelo cultivado (Navas, 2003). El cultivo en estos ambientes semiáridos, es un factor primordial de la severa pérdida de suelo que se registra incluso en suaves pendientes, en tasas superiores a las de su regeneración natural (Quine et al., 1994).

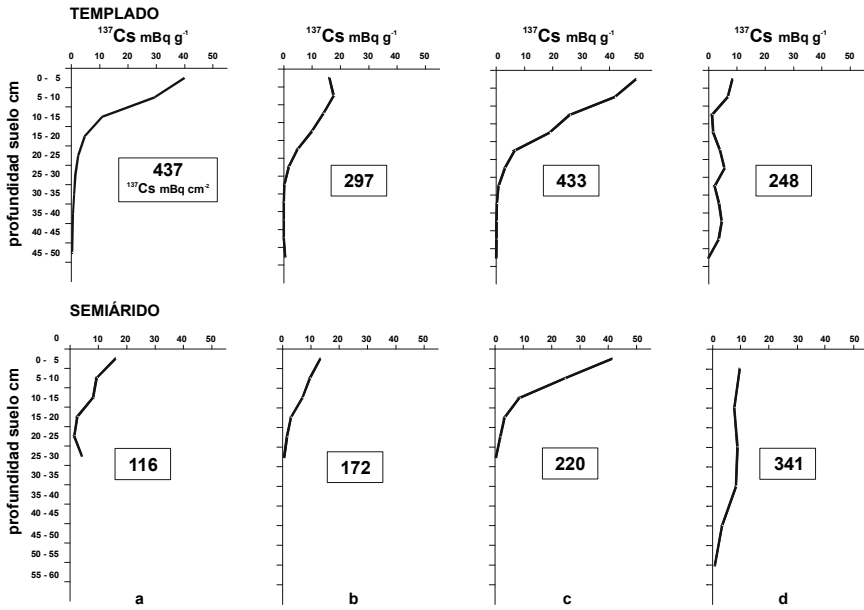


Figura 1. Secuencia de perfiles: estable, erosionado, de sedimentación y mezclados por el cultivo en laderas tipo de ambientes semiáridos y templados.

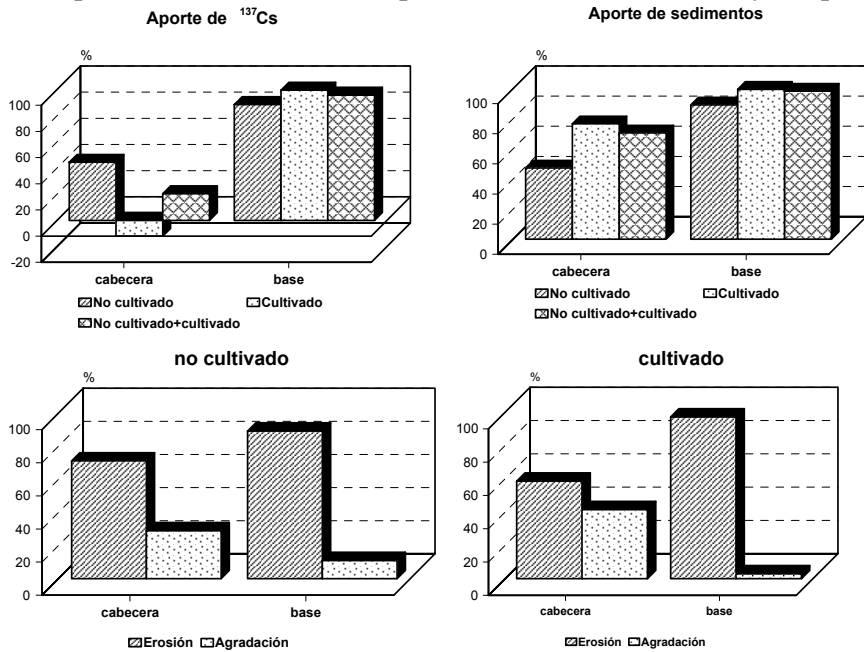
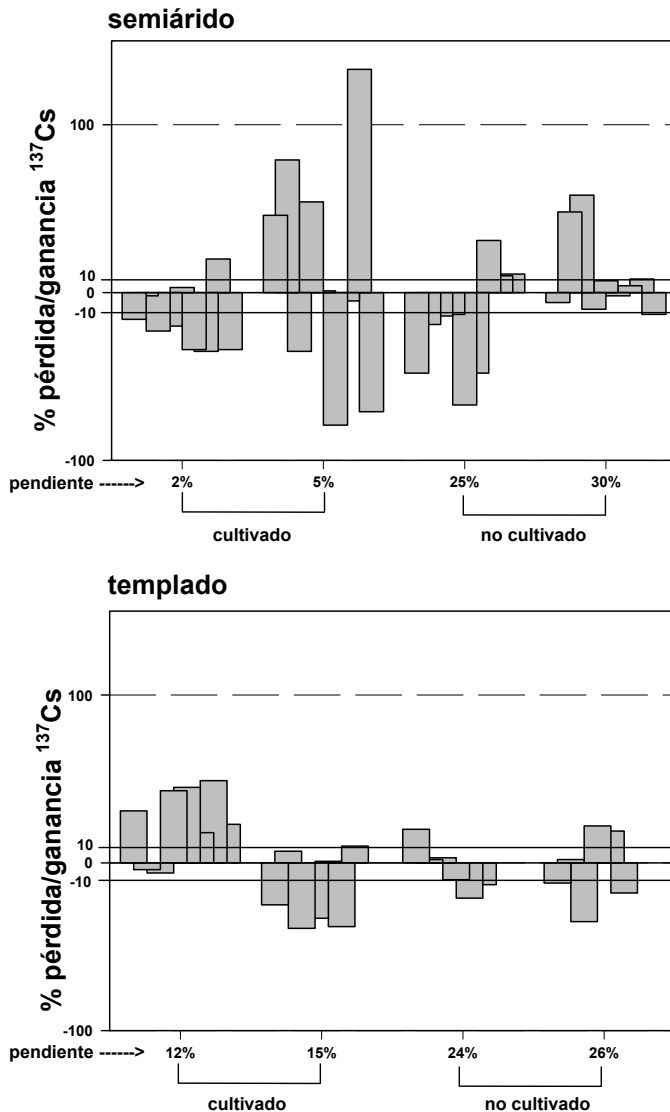


Figura 2. Aporte de  $^{137}\text{Cs}$  y sedimentos y distribución porcentual de las superficies de erosión y sedimentación en laderas de cabecera y base de la cuenca estudiada.

El efecto del cultivo en emplazamientos de ambos ambientes (Figura 3) evidencia que las mayores desviaciones con respecto al inventario de referencia se registran en el ambiente semiárido. Los sitios cultivados de ambos ambientes tienen la mayor variabilidad en las actividades de  $^{137}\text{Cs}$  y en la redistribución del suelo (Navas et al., 1997).



**Figura 3.-** Desviaciones porcentuales respecto al inventario de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  en campos no cultivados y cultivados de ambientes semiáridos y templados.

En cuanto al efecto de la orientación de las laderas, éste tiene una gran incidencia en los ambientes mediterráneos tanto sobre la vegetación como en el desarrollo del suelo y su ciclo del agua. En el ambiente templado la distinta

orientación de las laderas que determina el tipo y grado de recubrimiento vegetal es un factor primordial en la movilización del suelo (Navas et al., 2003). La pérdida de suelo es muy superior en la ladera suroeste con vegetación de matorral donde la erosión es severa (Cuadro 1). En contraposición, en la ladera noreste predomina, incluso en pendientes elevadas, la estabilidad del suelo que está protegido por una densa cubierta vegetal.

**Cuadro 1. Velocidades de erosión y sedimentación en emplazamientos en laderas de distinta orientación y cobertera vegetal.**

orientación y vegetación	sitio	$^{137}\text{Cs}$ mBq cm <sup>-2</sup>	erosión (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	sedimentación (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
NE bosque	1	437		0.9
	2	400		-
	3	430		0.8
	4	404		0.1
	5	400		-
SW matorral	1	175	26.4	
	2	162	29.5	
	3	280	11.6	
	4	282	14.3	

### Sedimentación en embalses

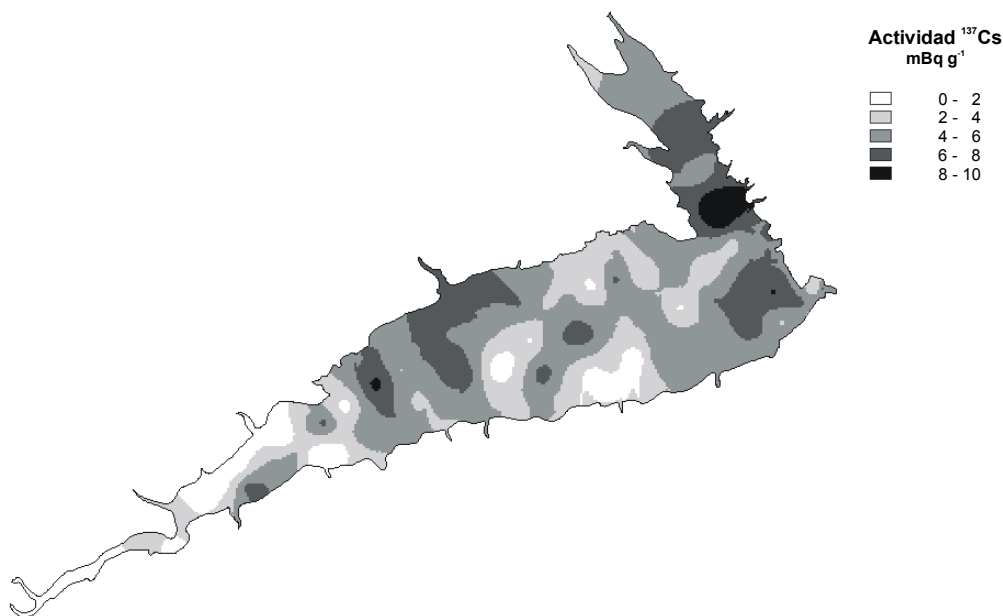
En España, son numerosos los embalses construidos a lo largo del siglo XX para la regulación de ríos y el almacenamiento de agua para usos diversos. Cargas importantes de sedimentos pueden alcanzar los cauces y finalmente acumularse en los embalses, deteriorando tanto la calidad del agua como su capacidad de almacenamiento. Como se ha evidenciado, la dinámica de generación y movilización de sedimentos es muy activa en algunos ambientes de la cuenca del Ebro. La capacidad del embalse de Barasona, situado al final de cuenca del río Ésera (1224 km<sup>2</sup>) es de 92 hm<sup>3</sup> ocupa 690 ha y suministra agua para el regadío de 105.000 ha. Desde su construcción en 1932 ha perdido más de un tercio de su capacidad de almacenamiento.

Las técnicas radiométricas de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  aplicadas a los sedimentos acumulados en el embalse de Barasona, permiten analizar la dinámica sedimentaria y su cronología (Navas et al., 1998).

En el vaso del embalse, la distribución de las granulometrías de los sedimentos sigue las pautas esperadas con acumulación de gruesos en la desembocadura del río en el embalse donde predominan los mecanismos tractivos. En contraposición las partículas finas se acumulan cerca de la presa donde la lámina de agua es más profunda y predomina un régimen lacustrino.

La mayoría de los sedimentos superficiales en Barasona tiene actividades de  $^{137}\text{Cs}$  entre 3 y 6  $\text{mBq g}^{-1}$ . Los máximos de la fracción más fina y de  $^{137}\text{Cs}$  ( $9 \text{ mBq g}^{-1}$ ) están asociados mientras que las áreas de menor actividad de  $^{137}\text{Cs}$  ( $1 \text{ mBq g}^{-1}$ ) aparecen en la cabecera donde predomina la arena (Figura 4).

La sedimentología del relleno analizada en 4 sondeos a lo largo del eje central del cauce sumergido del río (Valero et al., 1999), y su datación mediante  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  arroja distintas tasas de sedimentación en los diversos ambientes sedimentarios del embalse y en los distintos periodos, que están en relación con el propio funcionamiento del embalse (apertura de compuertas, recrecimiento) y la frecuencia de avenidas. Las tasas medias de sedimentación son mayores en el delta de cola (10 - 15  $\text{cm/año}$ ) y zona meridional (11 - 13  $\text{cm/año}$ ) que en la zona central (4  $\text{cm/año}$ ).



**Figura 4.- Distribución de las actividades de  $^{137}\text{Cs}$  en los sedimentos superficiales del relleno sedimentario del embalse de Barasona.**

## Conclusiones

Los radioisótopos  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  son trazadores efectivos del movimiento del suelo y acumulación de sedimentos. En los ambientes Mediterráneos tanto templados como semiáridos, factores fisiográficos (longitud, gradiente y orientación de la ladera), climáticos (gradiente de precipitaciones), de vegetación (tipo y porcentaje) afectan muy significativamente a la erosión y redistribución del suelo.

El uso del suelo también es otro factor de gran importancia que afecta a ambos ambientes, pero muy especialmente al semiárido. Si bien en ambos el cultivo en pendiente es un factor principal de pérdida de suelo. En el ambiente semiárido estudiado, el factor de cultivo predomina sobre la pendiente como causa principal de erosión, ya que la cubierta de matorral protege eficazmente al suelo de la erosión. Para la reducción de pérdida de suelo se debe, por tanto, prestar especial atención al uso de suelos cultivados.

Por otra parte, las técnicas radiométricas son muy útiles para obtener información de los procesos de relleno sedimentario de embalses y así prever pautas de funcionamiento y operación de las infraestructuras hidráulicas. Los casos de estudio presentados evidencian la fragilidad de los ambientes Mediterráneos y la necesidad de implementar prácticas de manejo racionales para la conservación de los recursos de agua y suelos.

## Referencias

- Brown, R.B., Kling, G.F., Cutshall, N.H. (1981) Agricultural erosion indicated by  $^{137}\text{Cs}$  redistribution: II. Estimates of erosion rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1191-1197.
- Chappell, A., Warren, A., Oliver, M.A., Charlton, M. (1998) The utility of  $^{137}\text{Cs}$  for measuring soil redistribution rates in southwest Niger. *Geoderma* 81, 313-337.
- Loughran, R.J. y Elliott, G.L. (1996) Rates of soil erosion in Australia determined by the caesium-137 technique: a national reconnaissance survey. International Association of Hydrological Sciences Publication No. 236 pp. 275-282
- Matisoff, G., Bonniwell, E.C., Whiting, P.J., (2002) Soil erosion and sediment sources in an Ohio watershed using beryllium-7, cesium-137, and lead-210. *J. Environ. Qual.* 31, 54-61.
- Navas, A., (1995) Cuantificación de la erosión mediante el radioisótopo cesio-137. Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología, 8, 16 pp. Geoforma Ediciones. Logroño.
- Navas, A. (2002) Erosion and sedimentation features in Mediterranean landscapes assessed by fallout  $^{137}\text{Cs}$ . *Nucleus*, 31.
- 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 M. Sala, J. L. Rubio y J. M. García-Ruiz (Editores): Soil erosion studies in Spain, 191-202.
- Navas, A. y Walling, D. (1992) Using caesium-137 to assess sediment movement in a semiarid upland environment in Spain. En D. E. Walling, T. R. Davies y B. Hasholt (Editores): Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, International Association Hydrological Sciences (IAHS) Publ. n° 209, 129-138.
- Navas, A., García- Ruiz, J.M., Machín, J., Lasanta, T., Walling, D., Quine, T. Valero, B. (1997) Aspects of soil erosion in dry farming land in two changing environments of the central Ebro valley, Spain. En: D. E. Walling, J. L. Probst (Edsitores). Human Impact on Erosion and Sedimentation, IAHS 245, 13-20. Wallingford.
- Navas, A., Machín, J. y Soto, J. (2003) Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout  $^{137}\text{Cs}$ . Agriculture, Ecosystems & Environment (aceptado) .
- Navas, A., Valero, B., Machín, J. y Walling, D. (1998) Los sedimentos del embalse de Joaquín Costa y la historia de su depósito. *Limnética*, 14: 93-112.
- Quine, T., Navas, A. Walling, D.E., 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., McHenry, J.R., Gill, A.C., Hawks, P.H. (1970) Distribution of fallout cesium-137 in sediment profiles. *Health Phys.* 19, 334.
- Sutherland, R.A. (1994) Spatial variability of  $^{137}\text{Cs}$  and the influence of sampling on estimates of sediment redistribution. *Catena* 21, 57-71.
- Valero-Garcés, B.L., Navas, A., Machín, J. y Walling, D. (1999) Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 28, 23-41.
- 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, UK. International Association of Hydrological Sciences Publication, No. 159: 423-435.

Referencia de este artículo:

- Navas A. (2004): Uso del  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  en estudios de erosión y sedimentación en ambientes semiáridos y templados. En: L. Barbero y M.P. Mata (Eds.). *Geoquímica Isotópica Aplicada al Medioambiente*, Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía (ISSN: 1698-5478), 1, 149-156.