

# Caracterización de $^{137}\text{Cs}$ en suelos representativos de agrosistemas mediterráneos

L. Gaspar<sup>1</sup>, J. Machín<sup>1</sup>, M. López-Vicente<sup>1</sup> y A. Navas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei. EEAD-CSIC. Apdo. 13034-50080 Zaragoza (España). Email: [lgaspar@eead.csic.es](mailto:lgaspar@eead.csic.es)

## Resumen

El cesio 137 es un isótopo artificial altamente reactivo introducido en la estratosfera como subproducto de ensayos y accidentes nucleares. Tras una distribución a escala planetaria se deposita en la superficie del suelo asociado a las precipitaciones, quedando fuertemente adsorbido en la fracción fina del suelo. Debido a su limitada migración postdepósito, el movimiento del radioisótopo se asocia al movimiento de las partículas de suelo siendo un eficaz radiotrazador de la redistribución del suelo.

En este estudio se caracteriza el contenido de  $^{137}\text{Cs}$  en dos suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña en el sector central del borde norte de la cuenca del Ebro (España), donde la precipitación media anual es de 550 mm. Con objeto de conocer la distribución en profundidad del radioisótopo se han obtenido perfiles seccionados con una profundidad de muestreo mínima que permite retener el perfil completo de  $^{137}\text{Cs}$  en Leptosoles y Gypsisoles.

Se registró un amplio rango de variación del contenido de  $^{137}\text{Cs}$ , con valores de actividad que varían entre valores no detectables a máximos de  $34 \text{ Bq kg}^{-1}$ , e inventarios que alcanzan un máximo de  $2081 \text{ Bq m}^{-2}$ . Los resultados sugieren que la actividad de  $^{137}\text{Cs}$  se ve afectada por el uso y tipo de suelo, registrando los valores medios más altos en Leptosoles no cultivados y los más bajos en Gypsisoles cultivados.

Estos resultados sugieren que los niveles de  $^{137}\text{Cs}$  en suelos mediterráneos están fuertemente condicionados por el uso del suelo.

**Palabras clave:**  $^{137}\text{Cs}$ ; clasificación de la FAO; erosión y depósito; agroecosistemas Mediterráneos.

## Introducción

Los suelos poseen un umbral específico de estabilidad que varía en función del tipo de suelo, es decir, una capacidad para asimilar la influencia de los agentes de la naturaleza y las intervenciones humanas sin entrar en procesos de deterioro. Las causas más comunes de la degradación de los suelos son la erosión, los cambios y gestión del uso del suelo, la compactación y el sobrepastoreo. Los procesos de erosión y la consecuente degradación asociada que sufren los suelos a nivel planetario representan un grave problema para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente, disminuyendo la extensión de suelos productivos y favoreciendo el avance de la desertificación especialmente en los agroecosistemas mediterráneos.

El uso de radioisótopos ambientales como técnica para documentar patrones espaciales de la redistribución del suelo y estimar tasas de erosión surge de la necesidad de solventar las dificultades y limitaciones asociadas a las técnicas clásicas de medida de la erosión, siendo el radioisótopo Cesio-137 un efectivo trazador del movimiento suelo en ambientes mediterráneos (Navas et al., 2012). Trabajos recientes han demostrado el potencial del  $^{137}\text{Cs}$  para cuantificar la erosión del suelo en estos frágiles agrosistemas

(Gaspar et al., 2011), evidenciando el papel primordial del uso del suelo y la influencia del tipo de suelo en la distribución del radioisótopo (Gaspar, 2011).

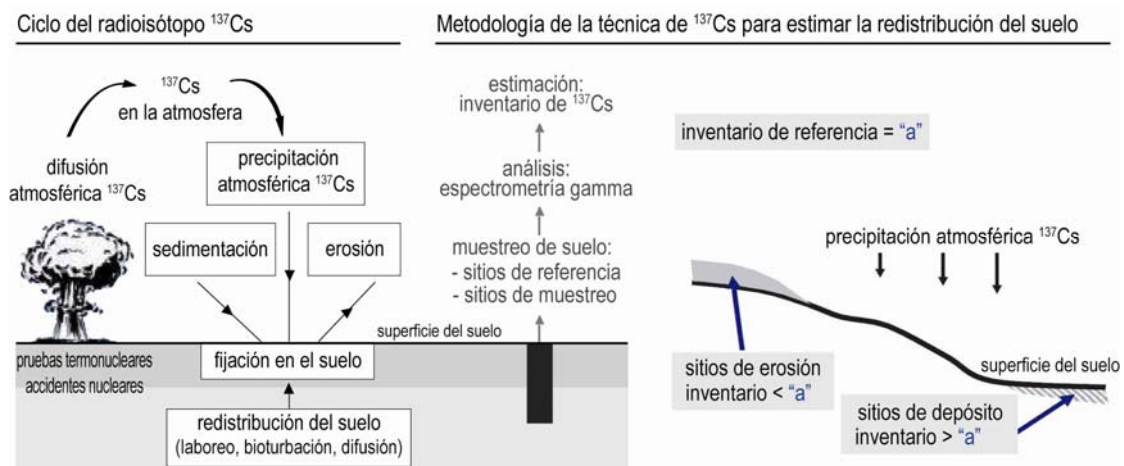
El objetivo de este trabajo es caracterizar el contenido de  $^{137}\text{Cs}$  en dos suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña y determinar la distribución en profundidad de la actividad de  $^{137}\text{Cs}$  en función del tipo y uso del suelo en sitios de erosión y depósito.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Metodología de la técnica de $^{137}\text{Cs}$

El isótopo artificial  $^{137}\text{Cs}$  tiene una vida media de 30 años y fue introducido en la atmósfera como subproducto de los ensayos nucleares que tuvieron lugar entre los años 50 y 70. Tras su difusión y distribución a escala planetaria, el depósito de  $^{137}\text{Cs}$  asociado a las precipitaciones y al efecto de la gravedad se inicia en 1954 y finaliza en los años 80, registrando su pico máximo en 1963 (Ritchie y Ritchie, 1995). El  $^{137}\text{Cs}$  es altamente reactivo y una vez que alcanza la superficie del suelo queda fuertemente adsorbido en la fracción fina por las arcillas y la materia orgánica (He y Walling, 1996). Debido a la insignificante migración postdepósito, la distribución de  $^{137}\text{Cs}$  está controlada por el movimiento de las partículas de suelo y condicionada por los procesos de erosión y sedimentación (Figura 1).

La actividad de  $^{137}\text{Cs}$  en las muestras de suelo se ha medido con un detector coaxial de germanio hiperpuro, de alta resolución (1.9 KeV) y bajo fondo, con una eficiencia del 30 %. Para su calibración se han utilizado muestras de estándares certificados con la misma geometría que las muestras a analizar.



**Figura 1.** Ciclo del radioisótopo  $^{137}\text{Cs}$  y metodología de la técnica para estimar la redistribución del suelo.

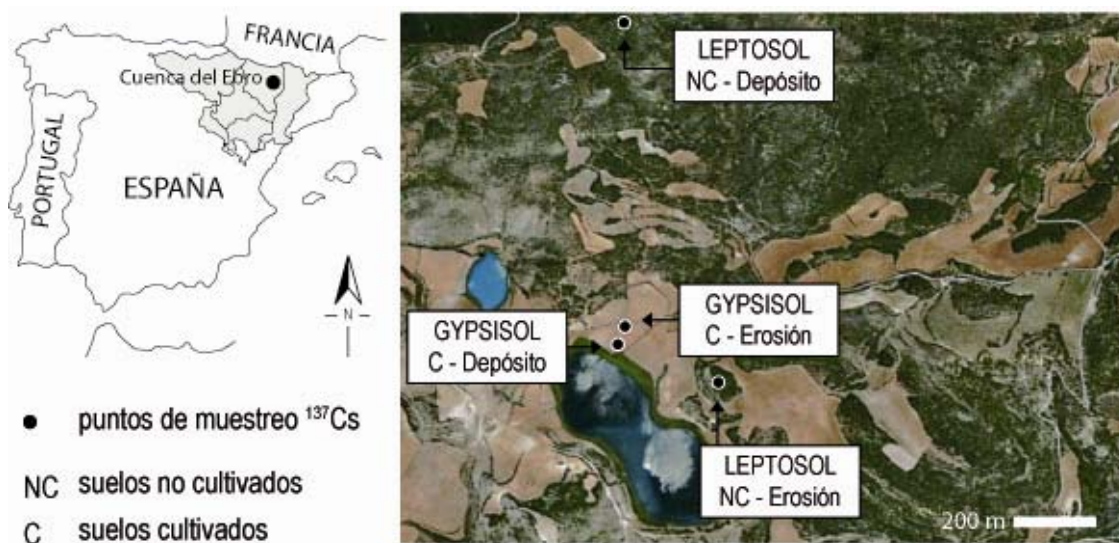
Las emisiones de  $^{137}\text{Cs}$  se miden a una longitud de 662 KeV. El número total de muestras analizadas ha sido de 27, con un tiempo de conteo aproximado de 30.000 segundos, obteniendo una precisión analítica de  $\pm 5\%$  (95 % nivel de confianza).

Para cada muestra de suelo analizada se obtiene un valor de actividad por unidad de masa ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) que se convierte en una medida de carga por unidad de área conocida como inventario ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) teniendo en cuenta la densidad de la muestra de suelo, siendo el inventario total de  $^{137}\text{Cs}$  en un punto la suma de los inventarios de cada intervalo del perfil seccionado de suelo. La técnica se basa en la comparación de los inventarios en cada punto con el inventario de referencia en el área de estudio (Figura 1).

## 2.2. Área de estudio

La zona de estudio se sitúa al este de la provincia de Huesca (NE de España), en la margen izquierda de la cuenca del Ebro (borde N-NE), entre los ríos Cinca y Noguera Ribargozana, cerca del límite norte de la depresión del Ebro, donde la precipitación media anual es de 550 mm (Figura 2).

Con objeto de caracterizar el contenido de  $^{137}\text{Cs}$  y conocer su distribución en profundidad se han seleccionado 4 perfiles seccionados en Leptosoles y Gypsisoles háplicos que se corresponden a distintos usos de suelo, no cultivados y cultivados, respectivamente, en sitios tanto de erosión como de depósito (Figura 2). Se ha utilizado un muestreador automático de 8 cm de diámetro, alcanzando una profundidad máxima de 55 cm. Los perfiles son seccionados a intervalos de 5 cm, obteniendo un total de 27 muestras.

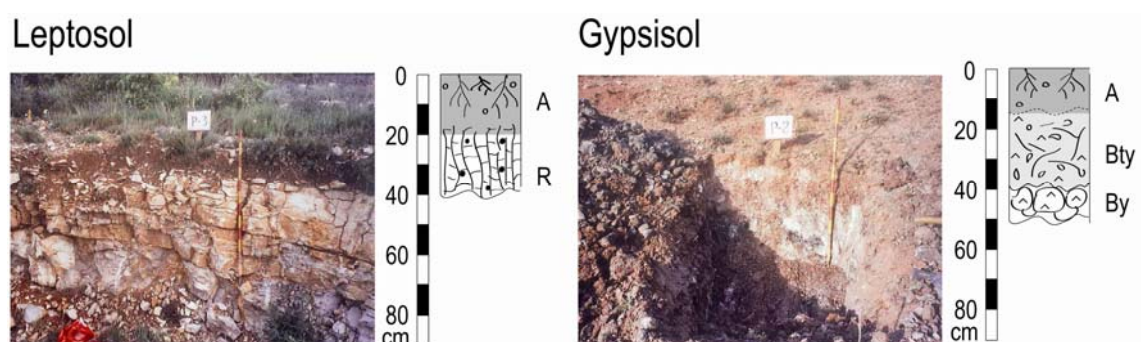


**Figura 2.** Localización del área de estudio y situación de los 4 puntos de muestreo.

Asimismo, y con objeto de caracterizar estos dos suelos tipo predominantes en el área de estudio, se han llevado a cabo dos calicatas en un Leptosol y en un Gypsisol (FAO, 1998). En cada perfil de suelo se ha medido la profundidad de cada horizonte y se ha esquematizado el perfil en base al número de horizontes, su color, presencia de raíces, estructura y pedregosidad. Asimismo, se ha obtenido una muestra de suelo en cada horizonte para determinar las principales propiedades físico-químicas del suelo, porcentaje de pedregosidad (> 2mm), contenido de la fracción arena, limo y arcilla, contenido de materia orgánica (MO), el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ) (Figura 3).

El Leptosol Háptico se caracteriza por un perfil muy somero y poco desarrollado de tipo A-R, en el que la roca madre aflora a los 20 cm de profundidad. El horizonte A presenta una textura arcillo limosa y una pedregosidad del 25 %. El pH es alcalino (7.9) y presenta un alto contenido de materia orgánica (4.0 %). La conductividad eléctrica es baja ( $0.609 \text{ dSm}^{-1}$ ) y los carbonatos alcanzan una concentración del 34 %. En el área de estudio estos suelos están cubiertos mayoritariamente por zonas de bosque y matorral denso.

El perfil Gypsisol Háptico presenta una textura franco arcillo limosa con un 33 % de arcilla, 67 % de limo y prácticamente sin fracción arena. La pedregosidad es baja (16 %), el pH es ligeramente alcalino (7.6) y la conductividad eléctrica alcanza valores altos de  $2.407 \text{ dSm}^{-1}$ . Es un suelo pobre en materia orgánica (0.8 %) y con un contenido medio de carbonatos bajo (7 %). Presenta un perfil bien desarrollado de tipo A-B. Estos suelos se desarrollan sobre materiales de relleno como depósitos aluviales y coluviales cubiertos por una escasa vegetación, y destinados mayoritariamente a campos de cultivo.



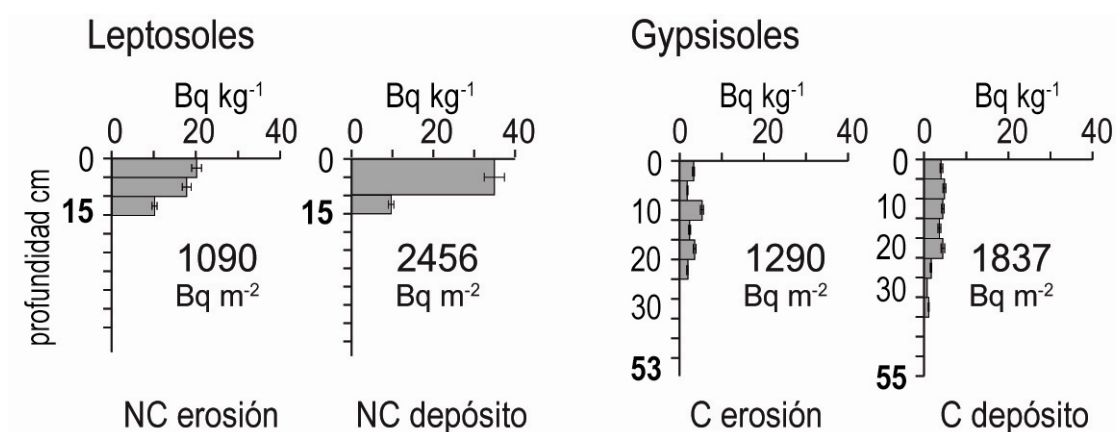
**Figura 3.** Foto y esquema del Leptosol háptico y del Gypsisol háptico.

### 3. Resultados

Los valores de actividad ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) e inventario ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) de  $^{137}\text{Cs}$  en el total de las muestras de intervalos ( $n=27$ ) presentan un elevado rango de variación. Las actividades de  $^{137}\text{Cs}$  varían entre valores mínimos no detectables a máximos de  $34.2 \text{ Bq kg}^{-1}$  siendo  $4.9 (\pm 7.7) \text{ Bq kg}^{-1}$  el valor medio. El inventario de  $^{137}\text{Cs}$  varía entre 0 y  $2081.3 \text{ Bq m}^{-2}$  con un valor medio de  $247.1 (\pm 397.8) \text{ Bq m}^{-2}$ . Este alto rango de variación se explica por la distribución en profundidad del radioisótopo, tanto en suelos naturales como cultivados, y porque los puntos de muestreo corresponden tanto a sitios de erosión y depósito.

El muestreo detallado en incrementos de profundidad permite el análisis de la distribución de los perfiles de actividad de  $^{137}\text{Cs}$  y su relación con el tipo y uso del suelo. Asimismo, comparando el inventario total de  $^{137}\text{Cs}$  en cada punto respecto al inventario de referencia de la zona de estudio, estimado en  $1570 \text{ Bq m}^{-2}$  (Soto y Navas, 2008), es posible identificar sitios de erosión o depósito de suelo (p. ej. Wallbrink y Murray, 1993; Walling et al., 1995).

Los perfiles de  $^{137}\text{Cs}$  en Leptosoles no cultivados se caracterizan por una distribución decreciente, con valores máximos en el horizonte superficial y una disminución exponencial con la profundidad (Figura 4). Son suelos someros en los que difícilmente se pueden discriminar intervalos de profundidad de 5 cm, y donde los perfiles de  $^{137}\text{Cs}$  se restringen a los primeros 15 cm de profundidad. La erosión o depósito de suelo se identifica respectivamente por la significativa disminución o aumento de la actividad de  $^{137}\text{Cs}$  en los primeros centímetros del perfil, así como por un inventario en el punto respectivamente menor o mayor al inventario de referencia (Figura 4).



**Figura 4.** Distribución en profundidad de la actividad de  $^{137}\text{Cs}$ , error de la medida e inventario total de  $^{137}\text{Cs}$  en Leptosoles no cultivados y Gypsisoles cultivados, en sitios de erosión y depósito. *En negrita se marca la profundidad de muestreo.*

En los Gypsisoles cultivados se produce una mezcla del suelo arado y el radioisótopo  $^{137}\text{Cs}$  presenta una distribución homogénea a lo largo del perfil de suelo (Figura 4). La erosión se caracteriza por una actividad de  $^{137}\text{Cs}$  significativamente menor en los sucesivos incrementos de profundidad y un inventario total en el punto menor al de referencia. El depósito se caracteriza por un perfil de  $^{137}\text{Cs}$  alargado que llega hasta los 40 cm de profundidad, junto a un valor de inventario de  $^{137}\text{Cs}$  mayor al de referencia.

#### 4. Conclusiones

El uso del  $^{137}\text{Cs}$  ha permitido caracterizar el contenido radioisotópico en dos suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña, evidenciando que los diferentes tipos y usos de suelo afectan a la variabilidad de la actividad e inventario de  $^{137}\text{Cs}$ , pudiendo identificar sitios de erosión y depósito.

#### Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto de la CICYT: EROMED (CGL2011-25486/BTE).

#### Bibliografía

- FAO, 1998. World Reference Base. Rome, 91 pp.
- Gaspar, L. 2011. Evaluación de la movilización y pérdida de suelo en agrosistemas de secano mediante los radiotrazadores  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ . *Tesis Doctoral*, Universidad de Zaragoza, 455 p.
- Gaspar, L., Navas, A., Walling, D.E., Machín, J. y Gómez Arozamena, J. 2011. Using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *Catena* doi: 10.1016/j.catena.2011.01.004.
- He, Q. y Walling, D.E. 1996. Interpreting particle size effects in the absorption of  $^{137}\text{Cs}$  and unsupported  $^{210}\text{Pb}$  by mineral soils and sediments. *Journal of Environmental Radioactivity* 30, 117-137.
- Navas, A., López-Vicente, M., Gaspar, L. y Machín, J. 2012. Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout  $^{137}\text{Cs}$  and GIS. *Geomorphology* doi:10.1016/j.geomorph.2012.03.018.
- Ritchie, J.C. y Ritchie, C.A. 1995.  $^{137}\text{Cs}$  use in erosion and sediment deposition studies: Promises and problems. *IAEA-TECHDOC-828*, 111-124.
- Soto, J. y Navas, A. 2008. A simple model of Cs-137 profiles to estimate soil redistribution in cultivated stony soils. *Radiation Measurements* 43, 1285-1293.
- Wallbrink, P.J., Murray, A.S. 1993. The use of fallout radionuclide as indicators of erosion processes. *Hydrologic Processes* 7, 297-304.
- Walling, D.E., Quine, T.A. 1995. The use of fallout radionuclide in soil erosion investigations. In: *Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation*. IAEA Publ. International Atomic Energy Agency Publication ST1/PUB/947, 597-619.