



EVOLUCIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SU CARACTERIZACIÓN CON Cs-137

Evolution of landslides by means of Cs-137

J. Soto⁽¹⁾, J. Gómez⁽¹⁾, A. González⁽²⁾, J. Remondo⁽²⁾, J.R. Díaz de Terán⁽²⁾,
A. Cendrero⁽²⁾ y J. Alcaide⁽³⁾

(1) *Área de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria. Avda. Cardenal Herrera Oria, s/n. 39011 Santander.*

(2) *Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Cantabria. Avda. de Los Castros, s/n. 39005 Santander. e-mail: diazjr@unican.es*

(3) *Departamento de Estudios Geoambientales. Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 N° 2909, La Coronela. Ciudad de La Habana. Cuba.*

Resumen: Se utiliza un nuevo método para la caracterización de los movimientos en masa ocurridos en las últimas década. El método está basado en la medida del isótopo radiactivo Cs-137 en distintos puntos del terreno afectado por el deslizamiento. Mediante este método se han estudiado tres deslizamientos recientes ocurridos en la cornisa cantábrica, España, en los cuales se han tomado muestras en un total de 15 puntos. Las muestras son obtenidas cada 5 cm de profundidad y posteriormente medidas por espectrometría gamma para determinar el perfil de Cs-137 en cada uno de los puntos estudiados. Los resultados obtenidos muestran diferencias importantes en los perfiles y en las cargas totales de Cesio relacionadas con la posición de los puntos en el terreno y con su evolución. Estas diferencias se han utilizado para caracterizar cronológicamente los movimientos y sus reactivaciones.

Palabras clave: Deslizamientos, cronología y evolución, datación isotópica, Cs-137.

Abstract: A new method for the study of some characteristics of the land movements it is presented in this work. The method is based on the measure of the radioactive isotope Cs-137 present in different points of a landslide. By means of this method, three recent landslides occurred in the Cantabrian range, Spain, have been studied. A total of fifteen samples of superficial deposit present, in and out of each landslide body were taken out to the analysis. For each sample, in order to obtain a profile of the Cs concentration, a measure of gamma spectrometry was taken off each 5 cm of deep. The result show important differences between the profiles and total concentration of each profile; these are related with their spatial distribution. These differences have been used to describe some landslide characteristics as age, evolution and possible affected area.

Keywords: Landslides, chronology and evolution, isotopic datation, Cs-137.



Soto, J., Gómez, J., González, A., Remondo, J., Díaz de Terán, J. R., Cendrero, A. y Alcaide, J. (2002). Evolución de los deslizamientos de ladera mediante su caracterización con Cs-137. *Rev. C. & G.*, 16 (1-4), 73-81.

1. Introducción

Los movimientos de laderas son procesos naturales que se producen por la acción de la gravedad y

desencadenados por un amplio conjunto de factores climáticos, geológicos, incluso antrópicos. Su magnitud es muy variable pudiendo involucrar desde pequeños volúmenes hasta masas de millones de

metros cúbicos de material. Los principales agentes desencadenantes son temblores de tierra, lluvias intensas o excavaciones del pie de laderas o taludes (Cendrero y Dramis, 1996; González *et al.*, 1996).

Los deslizamientos de ladera son una de las principales causas de riesgo natural en determinadas regiones, con efectos sobre infraestructuras, viviendas, etc. Los deslizamientos ocupan la segunda posición en cuanto a pérdidas económicas ocasionadas por procesos geodinámicos externos en España. Adicionalmente, en ciertas regiones montañosas, como es el caso de la cornisa cantábrica, los deslizamientos de ladera constituyen el mecanismo erosivo más importante y eficaz para el modelado de las vertientes (Salas *et al.*, 1991; Cendrero, 1997).

Desde hace unos pocos años la erosión superficial en los suelos se ha estudiado midiendo la concentración en el terreno del isótopo radiactivo Cesio 137 (Cs-137), estableciendo un modelo de distribución de la concentración de dicho isótopo en función del tiempo y de la erosión sufrida por el terreno. Esta técnica permite calcular tasas de erosión en suelos conociendo la pérdida del isótopo en un cierto número de puntos del terreno, tomando como referencia las concentraciones de Cs 137 de otros puntos que no la han sufrido (Navas, 1995; Wicherek, 1997).

En el presente trabajo se ha aplicado dicha técnica al análisis de la evolución temporal de tres deslizamientos de ladera, ocurridos en los últimos 30 años, mediante la obtención de la concentración de Cs-137 a lo largo de una serie de perfiles en profundidad, realizados en distintos puntos de cada uno de los deslizamientos estudiados.

2. El Cs-137 en el terreno

El isótopo radiactivo Cs-137 existente en el ambiente procede, en su mayor parte, de las explosiones nucleares atmosféricas realizadas durante los años 50 y 60. En cada prueba nuclear una parte del Cs-137 producido por la fisión del uranio es inyectado en la estratosfera por las corrientes ascendentes creadas por la explosión. Los posteriores intercambios verticales de aire entre la estratosfera y la troposfera transportan el Cesio a ésta, desde donde se deposita en el suelo por vía húmeda o seca.

El depósito de Cs-137 sobre la superficie del suelo ha sido estudiado de manera experimental (Smith *et al.*, 1999). De las medidas realizadas se deduce que el depósito más importante se produjo entre los años 1958 y 1964, ocurriendo en su mayor parte en el hemisferio norte. Los años posteriores a 1974 presentaron un depósito mucho menor que afectó principalmente al hemisferio sur, debido a las pruebas nucleares realizadas por los países que no firmaron el tratado de moratoria nuclear. A partir de 1984 las cantidades de Cesio depositadas en la superficie del suelo han sido muy pequeñas, próximas a los límites de detección de los laboratorios de vigilancia (Cambray *et al.*, 1985; Ritchie y McHenry, 1990). La distribución espacial del Cs-137 depositado ha dependido de la latitud y de las características climáticas locales, estando relacionada directamente con el régimen de lluvias (Longmore, 1982).

La mayor parte del Cs-137 que se deposita sobre el terreno es absorbido por intercambio iónico sobre las partículas del suelo. Este proceso hace que se fije principalmente sobre las partículas del suelo que poseen un tamaño menor, aunque en conjunto presenten una superficie específica mayor, quedando distribuido en los primeros centímetros en suelos arcillosos o que contengan materia orgánica abundante. En cambio, en suelos arenosos el Cs-137 penetra hasta profundidades mayores, ligado a la fracción coloidal y en suspensión en el agua (Arapis *et al.*, 1997).

La cantidad total de Cesio existente en el perfil completo de un punto del terreno se ha utilizado para calcular la erosión en los últimos 50 años de las capas superficiales en ese punto. De manera cualitativa, la erosión habida en un determinado punto del terreno está relacionada con la cantidad de Cs-137 en el punto. Cuando la cantidad de Cesio en el punto considerado es menor que la que existe en un punto sin perturbar ha debido existir una pérdida de suelo, mientras que si es mayor se supone que ha habido un proceso de depósito en el punto. Para establecer una relación cuantitativa entre erosión y cantidad de Cesio se utilizan modelos que relacionan la pérdida del isótopo en el punto, con respecto a la concentración de Cs-137 existente en otro de referencia, con la tasa de erosión (Kachanoski y De Jong, 1984; Quine *et al.*, 1994; Smith y Elder, 1999). Estos modelos parten de estudios experimentales de relación entre las dos magnitudes o de consideraciones teóricas que tie-

nen en cuenta el comportamiento del Cesio en el terreno, su concentración en cada nivel y la pérdida del isótopo por la erosión del suelo.

En los diferentes puntos de un deslizamiento la cantidad total de Cs-137 será diferente, según se trate de puntos no perturbados, de puntos del escarpe dejado en el terreno por el deslizamiento o de puntos de acumulación de material.

Los puntos no perturbados, sin erosión ni depósito, son puntos de referencia en los que el depósito de Cs-137 sobre la superficie, corregido por el término correspondiente a la desintegración radiactiva, determina la cantidad total del isótopo existente en el punto. Complementariamente, la distribución del isótopo en profundidad dependerá de la evolución en el tiempo de la concentración de Cesio desde la superficie y del tipo de material.

Debido a que el espesor de la capa superficial movilizada por el deslizamiento es habitualmente mayor que el nivel con contenido en Cs-137, los puntos del escarpe tendrán una carga total nula inmediatamente después del deslizamiento. El depósito de Cesio sobre la superficie continuará después de producido el deslizamiento y los puntos del escarpe tendrán así una carga total dependiente de la fecha del movimiento. De esta manera, los puntos del escarpe de deslizamientos anteriores a 1954 tendrán una carga total igual a la de los puntos de referencia, mientras que cuanto más reciente sea el deslizamiento la carga medida en el escar-

pe será menor. En una situación ideal, esta característica permitiría calcular la edad del deslizamiento, comparando la carga total de Cs-137 medida en los puntos del escarpe con la deducida del Cesio depositado con posterioridad a cada fecha. Este método parece ofrecer perspectivas interesantes para la datación de deslizamientos ocurridos en los años de mayor producción de Cesio, estando limitada su aplicación por la precisión de las medidas del radioisótopo.

El valor de la carga total de Cs-137 en los puntos correspondientes a los lóbulos de un deslizamiento puede ser mayor o menor que el de los puntos de referencia. Ello es debido a que el deslizamiento puede removilizar niveles superficiales, con mayor concentración de Cesio, o niveles más profundos, con menor concentración de Cesio. En cualquier caso, la carga total será al menos tan alta como la de los puntos de referencia en las zonas de los lóbulos no denudadas anteriormente.

3. Metodología

Con el fin de comprobar la validez de las consideraciones anteriores, se han muestreado tres deslizamientos recientes, denominados como I, II y III, situados en la vertiente norte de la cordillera Cantábrica, en el norte de España (Figura 1). En cada deslizamiento se han recogido muestras de

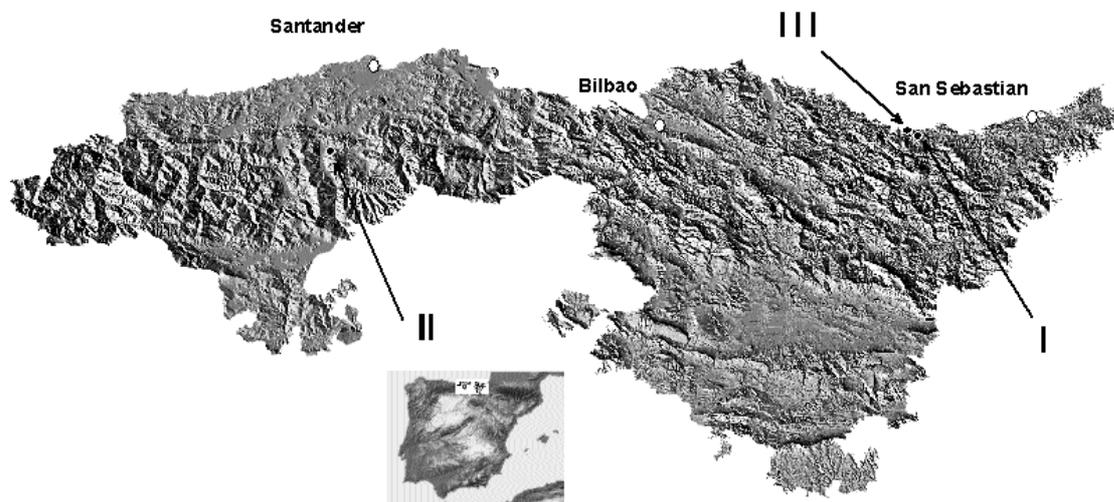


Figura 1. Situación de las áreas donde se localizan los deslizamientos muestreados
 Figure 1 Location of the landslides sampled.

Deslizamientos estudiados: I, II, III

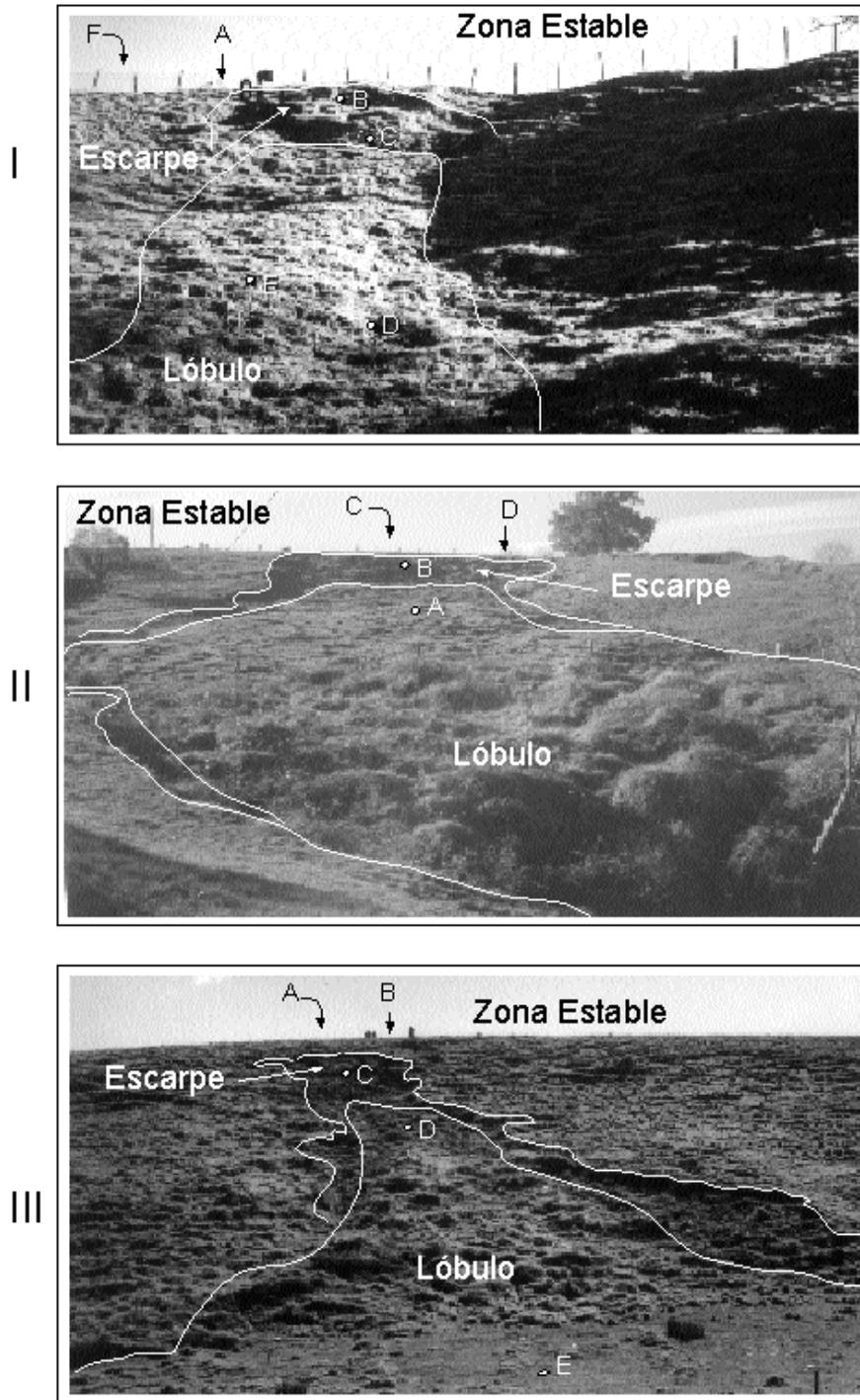


Figura 2. Fotografías de los deslizamientos con indicación de las zonas en las que se han tomado muestras.
Figure 2. Landslides used in the study, showing the situation of the sampled points and its geomorphologic context.

suelo en puntos estables de la cabecera, del escarpe y del pie del depósito (Figura 2).

El deslizamiento I se encuentra situado en el municipio de Deba, Guipúzcoa, próximo al caserío San Martín, tratándose de un deslizamiento de derrubios que evoluciona a flujo (Figura 2). Para su datación (independientemente de la aplicación de la técnica descrita) se dispone de fotos aéreas de 1985, 1988, 1991, 1993 y 1997. Este deslizamiento no se observa en las tres primeras series de fotografías y sí, con aspecto muy reciente, en las fotografías correspondientes a 1993. En la fotografía de 1997 no se observa, pero sí en el campo en una comprobación realizada *in situ*, mostrando un aspecto relativamente reciente, con 1 m de espesor junto a un cambio de pendiente. Estos datos permiten fijar su edad en 1992, fecha que corresponde con la manifestada por los habitantes del citado caserío.

En este deslizamiento se han recogido muestras de suelo en seis puntos. Puntos A, hasta 35 cm de profundidad, y F, hasta 50 cm de profundidad, en la cabecera. Ambos puntos se consideran como estables. Puntos B, hasta 35 cm de profundidad, y C, hasta 25 cm de profundidad, situados en el escarpe. Puntos D, hasta 25 cm de profundidad, y E, hasta 35 cm de profundidad, situados en los lóbulos.

El deslizamiento II (Figura 2) se encuentra ubicado en Escobedo de Villafufre, Cantabria. Para su datación se dispone de las fotos aéreas de 1988, de trabajos de campo y entrevistas con los dueños de la finca donde se encuentra. De acuerdo con estos datos, la fecha más probable del deslizamiento es 1972. El deslizamiento está formado por material correspondiente a arcillas del Keuper, es de tipo superficial y morfológicamente corresponde a un movimiento traslacional-rotacional complejo. La superficie del depósito es irregular, mostrando lóbulos de acumulación de material, aterrazamientos, escalones visibles y signos de reptación. Se encuentra afectado por movimientos internos y por acanaladuras fluviales.

En este deslizamiento se han recogido muestras de suelo en cuatro puntos. Puntos C, hasta 55 cm de profundidad, y D, hasta 40 cm de profundidad, en la cabecera, ambos puntos considerados como estables. Punto B, hasta 55 cm de profundidad, en el escarpe. Punto A, hasta 60 cm de profundidad, en el lóbulo.

El deslizamiento III (Figura 2) se encuentra situado junto a la playa de Sakoneta, municipio de Deba en Guipúzcoa. Para su datación se dispone de fotos aéreas de los años 1955, 1970, 1993 y 1997. Su fecha más probable es 1983, producido por las intensas lluvias que ese año dieron lugar a catastróficas inundaciones en el área. Tanto la fotointerpretación como las consultas realizadas a los lugareños abogan por esa fecha. El material del deslizamiento ("debris slide") está formado por rocas meteorizadas del flysch detrítico calcáreo. El material deslizado llega hasta un arroyo, existiendo drenaje de agua en la base del movimiento.

En este deslizamiento se han recogido muestras de suelo en cinco puntos. Puntos A, hasta 50 cm de profundidad, y B, hasta 55 cm de profundidad, estos dos puntos se consideran como estables. Puntos C, hasta 45 cm de profundidad, y D, hasta 50 cm de profundidad, en el escarpe. Punto E, hasta 55 cm de profundidad, en el lóbulo de depósito.

En cada punto del terreno las muestras se recogieron mediante sacamuestras cilíndricos de acero de 70 cm de longitud y 12 de diámetro. Los sacamuestras se clavan en el suelo hasta una profundidad variable entre 25 y 60 cm y se extraen con el perfil completo del suelo en ese punto.

Una vez en el laboratorio, el perfil de suelo de cada punto se corta en capas de 5 cm de espesor que se secan en estufa a 110°C durante 24 horas y se tamizan con cedazo de 2 mm. Posteriormente se toman 50 g de cada capa y se envasan en recipientes de plástico cilíndricos de 6 cm de diámetro. De los 15 puntos de suelo muestreados, en los tres deslizamientos, se han obtenido un total de 139 muestras para medida.

Las muestras preparadas se miden por espectrometría gamma, utilizando un detector con semiconductor de GeHP de configuración vertical. El detector, unido a un recipiente con nitrógeno líquido mediante un dedo frío, está colocado en el interior de un castillete de hierro de baja actividad para disminuir la radiación externa. El detector está conectado a una cadena electrónica compuesta por una fuente de alimentación de alta tensión, un preamplificador y un amplificador. Las señales procedentes de este último son recogidas y almacenadas por un analizador multicanal. La cadena de espectrometría se encuentra en un laboratorio que se

mantiene a una temperatura de 17°C (Quindós et al., 1994, 1995).

La medida de cada muestra preparada se realiza durante un intervalo de tiempo de 8 horas. A partir de este recuento se obtiene el espectro de la muestra en el que aparecen los fotopicos de los emisores gamma presentes. La concentración de Cs-137 en cada muestra se determina a partir del recuento realizado bajo el fotopico de 661 KeV propio de este isótopo. Para el cálculo de la eficiencia de detección del sistema para esta radiación, se ha usado una muestra de sedimento lacustre de actividad conocida preparada con la misma geometría que las muestras a medir. Los errores asociados a la medida de la concentración de Cs-137 son de un 10%, aproximadamente, del valor medido. El límite inferior de detección (LID) para este isótopo con las condiciones experimentales utilizadas es de 1.6 Bq/Kg.

4. Resultados obtenidos

El perfil de concentraciones de Cs-137 encontrado en cada uno de los puntos muestreados pre-

senta un aspecto diferente según se trate de un punto situado en la zona estable no deslizada, de un punto del escarpe o de un punto situado en el lóbulo del deslizamiento.

En los puntos estables las concentraciones de Cs-137 son elevadas en los niveles superficiales, llegando hasta 50 Bq/Kg, y disminuyen al aumentar la profundidad. En la figura 3 se representan los perfiles de dos de los puntos estables medidos (I-F y II-D).

Contrariamente a las concentraciones elevadas obtenidas en los puntos estables, las concentraciones de Cs-137 en los puntos del escarpe de los tres deslizamientos son muy pequeñas, inferiores al límite de detección o próximas a éste.

Las concentraciones de Cs-137 encontradas en los puntos situados sobre las zonas de depósito en los lóbulos de los tres deslizamientos son, en promedio, inferiores a las obtenidas en los puntos estables. En este caso, el perfil de las concentraciones no es decreciente con la profundidad sino que es irregular, presentando valores máximos en niveles correspondientes a profundidades alejadas de la superficie. En la figura 4 pueden verse dos ejemplos de los perfiles obtenidos en puntos de este tipo (I-E y III-E).

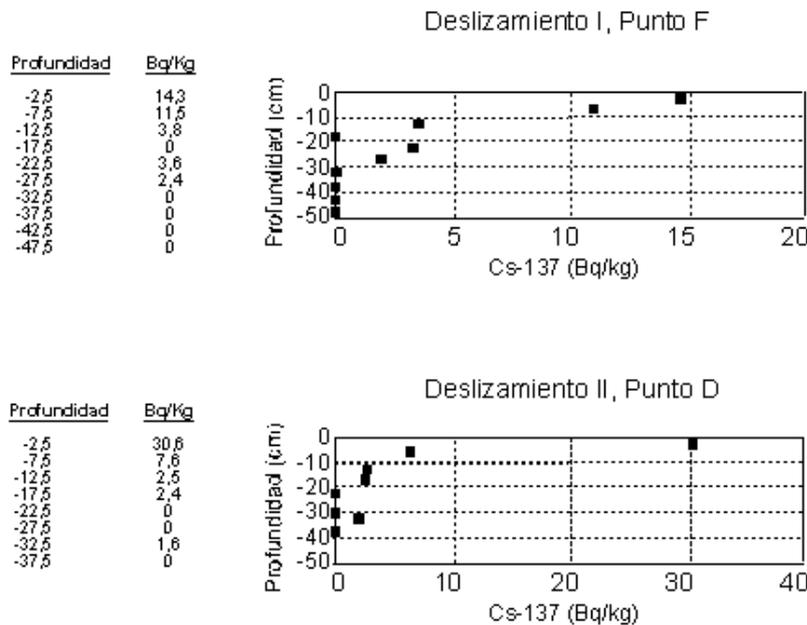


Figura 3. Perfiles de distribución de concentraciones de Cs-137 correspondientes a los puntos I-F y II-D.
 Figure 3. Profiles showing the distribution of Cs-137 concentration in deep. Points I-F and II-D.

Tabla 1. Carga total de Cs-137, en Bq/m², en los 15 puntos estudiados.
 Table 1. Total load of Cs-137 (Bq/m²) registered in the 15 points analysed.

Deslizamiento	Estables	Escarpe	Lóbulos
I (1992)	> 3990 (A), 2140 (F)	410 (B), LID (C)	700 (D), 2160 (E)
II (1972)	4810 (C), 2680 (D)	160 (B)	1270 (A)
III (1983)	4750 (A), 2760 (B)	160 (C), 460 (D)	2800 (E)

Estas diferencias se reflejan también en la carga total de Cs-137 en cada uno de los puntos estudiados. Como es habitual, la carga total en cada nivel se calculado multiplicando la concentración de Cs-137 por la densidad del nivel y por su espesor; posteriormente se suman todas las cargas de los niveles muestreados para obtener la carga total del perfil (o punto). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla I, en la que se expresan los valores en Bq/m², tanto para los puntos considerados estables, como para los puntos del escarpe o para los puntos situados en los lóbulos. Cuando en un punto determinado no se ha llegado a muestrear hasta la profundidad en la que las concentraciones de Cs-137 son nulas, el correspondiente valor de la carga total se acompaña del signo > para indicar que ésta puede ser mayor que la medida.

5. Discusión de los resultados

Tanto las características de los perfiles de Cesio en los puntos estudiados, como las cargas totales obtenidas, pueden ser explicadas, al menos en parte, por el comportamiento del Cs-137 en el terreno y por el proceso de deslizamiento en sí.

Los puntos estables deben presentar, en principio, perfiles de Cs-137 con concentraciones decrecientes con la profundidad. Esta distribución es la correspondiente a un depósito de Cesio sobre la superficie y a un transporte probabilístico hacia capas más profundas y es semejante a la encontrada en otros estudios en suelos no perturbados o sin erosión de la capa superficial (Chamard, *et al.*, 1993).

Las cargas totales de Cs-137 en los puntos estables presentan valores próximos a 4800 Bq/m²,

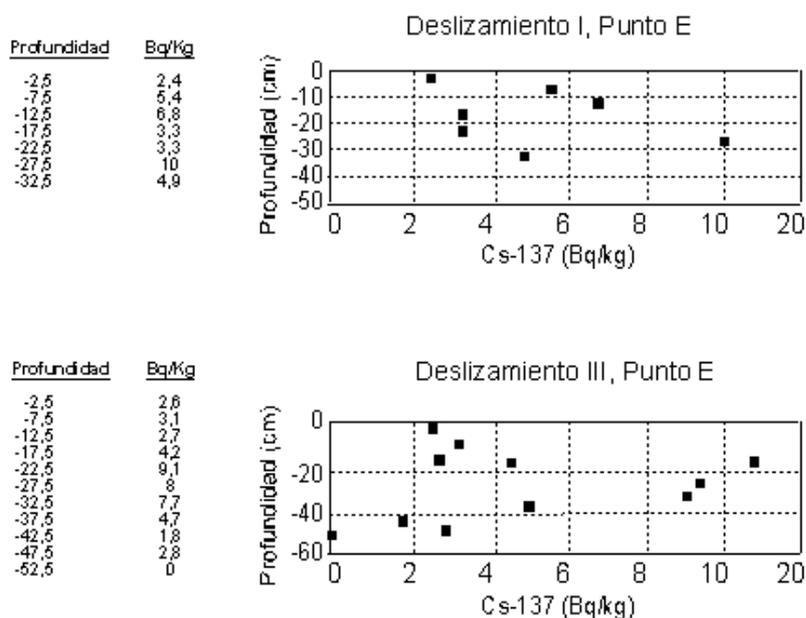


Figura 4. Perfiles de distribución de concentraciones de Cs-137 correspondientes a los puntos I-E y III-E.
 Figure 4. Profiles showing the distribution of Cs-137 concentration in deep. Points I-E and III-E.

junto con otros valores inferiores próximos a 2700 Bq/m². La carga de los primeros (puntos III-Ay II-C) es similar a la encontrada en puntos estables de pluviometría semejante a la de las zonas estudiadas, como corresponde a la prevista homogeneidad en el depósito de Cesio en las zonas estudiadas (Blagoeva y Zikovsky, 1995). Los otros puntos estables (puntos III-B, II-D y I-F), con carga total menor, parecen haber sufrido una pérdida importante de suelo por erosión de la capa superficial, manteniendo también un perfil de concentraciones de Cesio decreciente con la profundidad.

Los dos grupos de valores obtenidos, explican la diferente posición de los puntos estables muestreados, indicando el distinto comportamiento del terreno en los dos grupos de puntos mencionados. Así, mientras que los de carga total mayor se obtuvieron en lugares de cota mayor, alejados del deslizamiento, los de menor carga fueron obtenidos cerca de los correspondientes escarpes. Esta diferencia de carga puede indicar también la existencia de erosión del suelo en puntos supuestamente estables, en las proximidades del deslizamiento.

Las muestras recogidas en las zonas de escarpe poseen siempre concentraciones de Cs-137 muy bajas. En el deslizamiento I, el más reciente, todas las concentraciones obtenidas en uno de los puntos del escarpe (punto C) son inferiores al límite inferior de detección; siendo, por otra parte, el valor correspondiente a la carga total de Cesio (punto B) coherente con la edad del deslizamiento. En los deslizamientos II y III se encuentran puntos en los que las concentraciones son inferiores o ligeramente superiores al LID, con cargas totales próximas a 160 Bq/m². Estos valores de la carga de Cesio son igualmente coherentes con las edades de los deslizamientos, teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a la medida de las concentraciones.

No obstante, en los escarpes, dos de los deslizamientos presentan puntos (I-B y III-D) con cargas totales de Cesio mayores, aunque poco superiores al límite inferior de detección. Estas cargas totales mayores pueden ser debidas al depósito de suelo procedente de puntos próximos, o bien a que estas zonas del escarpe se activaron con anterioridad a aquellas otras que presentan valores más bajos (puntos I-C y III-C).

De acuerdo con estos resultados, la posibilidad de caracterización y datación de los deslizamientos

recientes por determinación de la carga total de Cs-137 en los puntos del escarpe, viene condicionada por una medida más exacta del isótopo cuando éste se encuentra en concentraciones pequeñas. Esto implica disminuir el límite de detección del método de medida, aumentando el volumen de muestra y el tiempo de recuento. Igualmente, la existencia de puntos en el escarpe que han podido tener un incremento de Cesio por la influencia de puntos próximos, o bien la posible ocurrencia de sucesivas reactivaciones de los escarpes, hace necesario un muestreo más detallado que permita diferenciar uno y otro caso, así como identificar la secuencia de acontecimientos ocurrida. Con estas dos condiciones, el método puede ser adecuado para una caracterización suficientemente precisa de los deslizamientos recientes.

Por otra parte, las muestras recogidas sobre los depósitos, en los lóbulos de los deslizamientos, poseen cargas de Cesio intermedias entre las correspondientes a los puntos del escarpe y las de los puntos estables, tal y como cabría esperar. Las cargas totales oscilan aproximadamente entre 700 y 2800 Bq/m², lo que se puede interpretar como el resultado de una cierta erosión, consecuencia de la movilización de la masa deslizada. El perfil de concentraciones en estos puntos (I-D, I-E, II-Ay III-E) muestra varios máximos relativos, que se interpretan como debidos a flujos sucesivos, lo que en cierto modo es coherente con las posibles sucesivas reactivaciones de los escarpes. En todo caso, los depósitos de los deslizamientos presentan un doble efecto en lo que a las concentraciones de Cs-137 se refiere: por un lado, una mezcla del perfil con una cierta homogeneización, así como la superposición de varias coladas; por otro lado, una erosión y pérdida de Cs-137 debido a la perturbación del material superficial.

Del conjunto de los resultados expuestos se puede deducir que la utilización del Cs-137 podría emplearse como técnica de datación, si se mejora el método de detección, y que en todo caso es posible obtener una cronología relativa con un muestreo más detallado. Por otra parte, el estudio de los perfiles de concentraciones del isótopo Cs y de las cargas totales ofrecen perspectivas interesantes para el análisis de la evolución de los deslizamientos, aunque la dinámica de los deslizamientos es siempre compleja, produciéndose frecuentemente reactiva-

ciones y erosiones posteriores que, en general, no son fáciles de reconocer al cabo de un breve tiempo, por lo que técnicas como esta u otras similares pueden ayudar a clarificar los procesos acontecidos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Mixta Caja Cantabria– Universidad de Cantabria, y por el proyecto de investigación AMB1997-1091-C06-04 de la CICYT (Ministerio de Ciencia y Tecnología de España). Es también una contribución al proyecto GETS (contract number ERBFMRXCT970162, programa TMR, Comisión Europea).

Referencias Bibliográficas

- Arapis, G., Petrayev, E., Shagalova, E., Zhulova, O., Sokolik, G. & Ivanova, T. (1997). Effective migration velocity of Cs-137 Sr-90 as a function of the type of soils in Belarus. *Journal of Environmental Radioactivity*, 34 (2), 171-185.
- Blagoeva, R. & Zikovsky, L. (1995). Geografic and vertical distribution of Cs-137 in soils in Canada. *Journal of Environmental Radioactivity*, 27, 269-274.
- Chamard, P., Velasco, R. H., Belli, M., Di Silvestro, G., Ingrao, G. & Sansone, U. (1993). Caesium-137 and Strontium-90 distribution in a soil profile. *Science of the Total Environment*, 136, 251-258.
- Cambray, R. S., Playford, K. & Lewis, N. J. (1985). Radioactive fallout in air and rain: Results to the end of 1984. *U.K. Atomic Energy Authority Rep. AERE-R-11915*. Harwell (U.K.), 130 pp.
- Cendrero, A. (1997). Riesgos naturales e impacto ambiental. En: *La interpretación de la Problemática Ambiental: Enfoques Básicos. II*. (M. Novo y R. Lara, Coordinadores). Ed. UNED/Fundación Universidad – Empresa, Madrid., 23-90
- Cendrero, A. & Dramis, F. (1996). The contribution of landslides to landscape evolution in Europe. *Geomorphology*, 15, 191-211.
- González, A., Salas, L., Díaz de Terán, J. R. & Cendrero, A. (1996). Late Quaternary climate changes and mass movement frequency and magnitude in the Cantabrian region, Spain. *Geomorphology*, 15, 291-309.
- Kachanoski, J. C. & De Jong, E. (1984). Predicting the temporal relationships between soil caesium-137 and erosion rate. *J. Environ. Qual.*, 13, 301-304.
- Longmore, M. E. (1982). The caesium-137 dating technique and associated applications in Australia – a review. En: *Archaeometry: An Australasian perspective*. (W.R. Ambrose and P. Duerden eds.). Australian National Univ. Press. Canberra (Australia), 310-321 pp.
- Navas, A. (1995). *Cuantificación de la erosión mediante el radioisótopo Cesio 137*. Sociedad Española de Geomorfología. Geofoma Ediciones, 16 pp.
- Quindós, L. S., Fernández, P. L., Soto, J., Ródenas, C. & Gómez, J. (1994). Natural radioactivity in Spanish soils. *Health Phys.*, 66 (2), 194-200.
- Quindós, L. S., Fernández, P. L. & Soto, J. (1995). Study of areas of Spain with high indoor radon. *Radiation Measurements*, 34 (2), 207-210.
- Quine, T. A., 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 Degradation and Rehabilitation*, 5, 41-55.
- Ritchie, J. C. & McHenry, J. R. (1990). Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review. *J. Environ. Qual.*, 19, 215-233.
- Sala, M., Rubio, J.L. & García-Ruiz, J. M. (1991). *Soil erosion studies in Spain*. Geofoma Ediciones. Logroño (España), 227 pp.
- Smith, J. T. & Elder, D. G. (1999). A comparison of models for characterizing the distribution of radionuclides with depth in soils. *European Journal of Soil Science*, 50, 295-307.
- Smith, J. T., Fesenko, S. V., Howard, B. J., Horrill, A. D., Sanzharova, N. I. & Alexakhin, R. M. (1999). Temporal change in fallout Cs-137 in terrestrial and aquatic systems: a whole ecosystem approach. *Environmental Science and Technology*, 33, 49-54.
- Wicherek, S. (1997). L'Erosion mesure par la radioactivité. Un usage inattendu des retombes des explosions nucléaires. *La Recherche*, 294, 40-42.

Recibido 23 de enero de 2001

Aceptado 18 de abril de 2002