

Estimación de tasas de erosión en torno a la bahía de Santander, España

Jesús Soto Torres ⁽¹⁾, Jesús A. Soto Velloso ⁽¹⁾, Carmen Ródenas Palomino ⁽¹⁾, Alina Gelen Rudnikas ⁽²⁾, Oscar Díaz Rizo ⁽²⁾, Javier Viguri Fuente ⁽¹⁾, José Alcalde Orpí ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad de Cantabria, Avda. Herrera Oria s/n, Santander, España.

⁽²⁾ Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Avda. Salvador Allende esq. Luaces, Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana, Cuba.

⁽³⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

Recibido: enero-octubre, 2006	Aceptado: noviembre, 2006
-------------------------------	---------------------------

Resumen

Se ha medido el valor de la tasa de erosión en distintos puntos de los alrededores de la Bahía de Santander, en el norte de España. El método utilizado ha sido el basado en la determinación de la concentración de ¹³⁷Cs existente en distintas capas del suelo. A partir de la pérdida de ¹³⁷Cs puede estimarse la tasa de erosión en el punto así como indicaciones sobre la redistribución de material.

Para la medida de tasas de erosión se han recogido muestras cada 5 cm. de profundidad en 18 puntos. Las muestras se secan y se tamizan a 2 mm. Las actividades de los isótopos radiactivos presentes se miden por espectrometría gamma utilizando un detector de semiconductor de Ge HP.

Las tasas de erosión se han calculado comparando la actividad de ¹³⁷Cs en cada punto con la existente en otros sin erosión ni depósito de suelo. Los resultados encontrados muestran valores de la erosión altos o medios en la mayor parte de la zona estudiada. Este hecho puede justificarse como debido a la intensa actividad de construcción de viviendas que ha tenido lugar en los últimos años.

La medida de la radiactividad de las muestras de suelo permite también conocer las concentraciones de los isótopos radiactivos naturales ²²⁶Ra, ²³²Th y ⁴⁰K en los distintos puntos. Estas concentraciones pueden ser usadas para establecer un esquema de transporte del material erosionado en el estuario.

Palabras clave: Erosión del suelo

Abstract

Soil erosion was evaluated in several points from the Santander Bay proximity in the north of Spain. The used method is based on the measurement of the radioactive isotope ¹³⁷Cs present in the soil. The rates and spatial extent of ¹³⁷Cs loss can be established and thus soil movement budgets are easily estimated.

Core samples were collected in 18 points and sectioned at 5 cm depth intervals. Samples of soil were air dried and passed through a 2 mm sieve. Radionuclide activities were measured using a high resolution, low background, Ge HP gamma ray detector.

The soil movements are estimated by comparing the activity of ¹³⁷Cs of a soil point with the activity of ¹³⁷Cs in sites assumed to be no eroded. The obtained results show high and regular soil erosion levels for the most part of studied estuary. The last can be explained by the intensive building construction taken place in the area in the last few years.

On the other hand, the ²²⁶Ra-226, ²³²Th and ⁴⁰K concentration levels in soil allow the correlation with its concentration levels in bay sediments, to establish a transport scheme of the eroded material.

Key words: Soil erosion

Introducción

El isótopo radiactivo ^{137}Cs existente en el ambiente procede, en su mayor parte, de las explosiones nucleares atmosféricas realizadas durante los años 1950 a 1968. Como consecuencia de ellas se inyectó en la estratosfera una cantidad importante del isótopo que ha ido cayendo desde entonces, depositándose sobre la superficie del terreno.

El depósito de ^{137}Cs sobre el terreno se utiliza actualmente como medio para determinar la erosión que ha afectado a las capas superficiales del suelo en los últimos 50 años, (1, 2). De manera cualitativa, la erosión habida en un determinado punto del terreno se determina comparando la cantidad total de cesio en un perfil completo del punto con la existente en otro punto sin perturbar. Cuando la cantidad total de ^{137}Cs en el punto considerado es menor que la que existe en el punto de referencia se asume una pérdida de suelo mientras que si es mayor se supone que ha habido un proceso de depósito de material en el punto.

Para establecer una relación cuantitativa entre erosión y cantidad de cesio se calcula, a partir de datos experimentales, la carga total o inventario tanto en el punto considerado como en el de referencia, utilizando luego un modelo que relacione la pérdida de ^{137}Cs con la tasa de erosión. Estos modelos establecen la relación entre el tanto por ciento de pérdida de cesio en el punto y la tasa de erosión habida en él en los últimos 50 años, (3, 4).

En este trabajo exponemos los resultados encontrados en un estudio de evaluación de la erosión en suelos situados en los alrededores de la Bahía de Santander, norte de España. En el estudio se ha utilizado la medida de la concentración del isótopo ^{137}Cs en perfiles de suelo para determinar la carga total en cada punto estudiado y se ha utilizado un modelo para relacionar la pérdida total del isótopo con la pérdida de suelo en el punto.

Materiales y métodos

Para la caracterización de la radiactividad de suelos próximos a la Bahía de Santander y para la evaluación de la erosión que se produce en ellos hemos elegido 18 puntos de muestreo situados en lugares próximos a la bahía o a las rías tributarias. Esta es una zona con una densidad de población elevada y un notable poblamiento disperso. Los puntos a muestrear han sido elegidos cubriendo toda la región del estuario, excepto en la zona de la ciudad de Santander, próximos a la bahía y en distintos tipos de suelo, según la clasificación FAO de tipo de suelo no cultivado, tabla 1.

Tabla 1. Características de los puntos muestreados

Denominación punto	Situación	Tipo de suelo (unidades de suelo FAO)	Pendiente	Densidad
BS – E 1	Margen izq Ría Bóo	Cambisol eútrico / luvisol crómico	10°	1.11
BS – E 2	Margen der Ría Bóo	Gleysol eútrico	5°	1.04
BS – E 3	Margen izq Ría Solía	Fluvisol dístico / cambisol dístico	10°	0.61 – 0.77
BS – E 4	Margen der Ría Solía	Gleysol eútrico / regosol dístico	30°	0.71 – 0.84
BS – E 5	Margen der Ría S. Salvador	Gleysol eútrico	0°	0.93
BS – E 6	Margen der Ría S. Salvador	Gleysol eútrico	0°	0.74 – 1.04
BS – E 7	El Puerto Astillero	Cambisol crómico / cambisol dístico	70°	0.93
BS – E 8	El Escobal	Luvisol crómico / luvisol órtico	0°	0.89
BS – E 9	El Lavadero	Luvisol crómico / rendzina	0°	1.04
BS – E 10	Estanillo	Luvisol órtico / luvisol crómico	15°	0.84
BS – E 11	El Monte	Cambisol gléico	0°	1.26
BS – E 12	Cuesta del Molino	Cambisol gléico / gleysol eútrico	25°	0.71 – 0.98
BS – E 13	El Rabón	Cambisol eútrico / cambisol crómico	30°	0.89
BS – E 14	Somo Mayor	Cambisol gléico	5°	0.71 – 1.04
BS – E 15	Urmosa	Cambisol gléico	5°	1.11
BS – E 16	La Ribera del Mar	Cambisol eútrico / cambisol dístico	15°	0.74 – 0.98
BS – E 17	Lantanilla	Cambisol dístico	15°	0.93
BS – E 18	Solaesa	Cambisol dístico / cambisol eútrico	20°	0.74 – 0.98

En cada uno de los puntos elegidos se han recogido capas horizontales cada 5 cm de profundidad hasta una profundidad de 35 cm con un total de 126 muestras. Las muestras recogidas se secan al aire y en estufa, se disgregan, se tamizan a 2 mm, se determina su densidad y se envasan en recipientes de plástico de geometría determinada que se cierran herméticamente, 50 g de cada muestra, para su medida.

La medida de la radiactividad de las muestras se ha hecho mediante espectrometría gamma usando un detector de Ge HP un mes después de envasadas las muestras. El método de medida está calibrado por determinación de fondo y recuento de muestras calibradas de actividades conocidas, usadas en distintos ejercicios de comparación de resultados de medida de radiactividad, (5, 6).

Cada muestra se mide durante un intervalo de 8 horas obteniéndose las concentraciones de los isótopos ^{226}Ra (emisiones gamma de 295 y 352 keV del ^{214}Pb y de 611 keV del ^{214}Bi), ^{232}Th (emisiones de 912 keV del ^{228}Ac y de 2614 keV del ^{208}Tl), ^{40}K (emisión de 1470 keV) y ^{137}Cs (emisión de 661 keV). Los errores de medida son dependientes de la actividad obtenida, siendo mayores cuanto menor es ésta, pudiéndose estimar en un 10% para ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{137}Cs y en un 8% para el ^{40}K . Los valores del límite inferior de detección para la medida de estos isótopos, en las condiciones usadas, son de 2 Bq kg⁻¹ para el ^{226}Ra , 3 Bq kg⁻¹ para el ^{232}Th , 0.5 Bq kg⁻¹ para el ^{137}Cs y 25 Bq kg⁻¹ para el ^{40}K .

Erosión de suelos

Existen distintos modelos que describen la relación entre pérdida de ^{137}Cs en un punto y pérdida de suelo. La mayor parte de ellos incluyen en su formulación parámetros relativos al tipo de suelo, a la velocidad de transferencia del cesio en el terreno o a su difusión, que deben ser calculados por métodos de comparación con otras técnicas, (7, 8, 9, 10). En este trabajo hemos utilizado el modelo desarrollado por Zhang et al. (11), que no incluye parámetros a calcular por métodos externos y constituye una buena aproximación para el cálculo de la erosión.

El modelo de Zhang parte del cálculo del tanto por ciento de pérdida de ^{137}Cs :

$$X_{\text{loss}} = (R - A) / R$$

Donde X_{loss} es la relación entre el inventario de ^{137}Cs por unidad de área y el de referencia

R es el inventario de referencia por unidad de área (Bq m⁻²)

A es el inventario en el punto medido por unidad de área (Bq m⁻²)

A partir de la pérdida de ^{137}Cs se calcula la pérdida de suelo como

$$Y_{\text{loss}} = -(B / 10 \cdot S \cdot P) \ln (1 - X_{\text{loss}})$$

Donde Y_{loss} es la pérdida media anual de suelo (t ha⁻¹ a⁻¹)

B es la densidad del suelo (kg m⁻³)

S es el factor de forma que caracteriza la distribución de cesio en el suelo

P es el número de años transcurridos desde 1963 (año de máximo depósito)

Para calcular el inventario de ^{137}Cs correspondiente a un perfil no perturbado hemos recogido muestras de suelo en tres puntos hasta 40 cm de profundidad y, una vez bien mezclado, medido la concentración de ^{137}Cs en las muestras resultantes. A partir de las concentraciones de ^{137}Cs medidas en estos puntos se calcula el inventario del perfil de referencia que ha resultado ser de 2600 ± 200 Bq m⁻²

El inventario de cada uno de los puntos medidos se calcula a partir de la concentración de ^{137}Cs medida y de la densidad. Los perfiles de ^{137}Cs encontrados en cada uno de los puntos se corresponden con concentraciones decrecientes con la profundidad en puntos poco afectados por la erosión, tabla 2. En otros casos los perfiles del isótopo no son monótonos y presentan concentraciones más bajas, tabla 3, mientras que son mayores en el único punto con sedimentación encontrado, tabla 4. En estas tablas se muestran ejemplos de los perfiles de las concentraciones de los distintos isótopos, expresadas en Bq kg⁻¹, en tres de los puntos estudiados.

Tabla 2: Perfil del punto BS-E3, erosión moderada.

BS – E 3	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
0 – 5	4	18	305	25.8
5 – 10	5	22	365	22.2
10 – 15	6	16	360	8.6
15 – 20	3	18	365	9.0
20 – 25	5	20	370	3.5
25 – 30	6	19	425	0.9
30 – 35	6	17	400	1.2
Valor medio	5.0 Bq kg ⁻¹	18.6 Bq kg ⁻¹	370 Bq kg ⁻¹	-

Tabla 3: Perfil del punto BS – E 10, erosión alta.

BS – E 10	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
0 – 5	15	22	450	12.1
5 – 10	15	23	415	10.7
10 – 15	18	32	430	6.2
15 – 20	16	37	415	2.9
20 – 25	19	35	400	<
25 – 30	17	34	375	0.7
30 – 35	18	33	405	<
Valor medio	16.9 Bq kg ⁻¹	30.9 Bq kg ⁻¹	413 Bq kg ⁻¹	-

Tabla 4: Perfil del punto BS – E 4, sedimentación.

BS – E 4	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
0 – 5	67	42	235	27.8
5 – 10	73	41	275	25.3
10 – 15	82	34	170	20.5
15 – 20	82	36	215	7.3
20 – 25	82	42	185	<
25 – 30	81	38	200	<
30 – 35	86	38	195	3.2
Valor medio	79.0 Bq kg ⁻¹	38.7 Bq kg ⁻¹	211 Bq kg ⁻¹	-

El valor del coeficiente de forma del perfil de ¹³⁷Cs se calcula a partir de aquellas distribuciones que no han sido afectadas por la erosión de manera importante. Para el cálculo hemos tomado los logaritmos neperianos de las cargas parciales de ¹³⁷Cs en cada profundidad y ajustado éstas a una recta. La pendiente de la recta, equivalente al exponente de una distribución exponencial decreciente, es el coeficiente de forma. De ellos se deduce que el valor de S es 0.05.

Con todos estos valores se calculan ya las tasas de erosión, en t ha⁻¹ a⁻¹, con los resultados que se expresan en la tabla que sigue. En ella puede verse que existen 6 puntos con tasas de erosión importantes, superiores a 50 t ha⁻¹ a⁻¹, 5 con tasas de erosión intermedias, entre 10 y 30 t ha⁻¹ a⁻¹, y 6 con tasas de erosión bajas, mientras que el punto restante es de depósito. Teniendo en cuenta la forma aleatoria del muestreo, estos resultados indican un importante nivel de erosión en los suelos del estuario, (12, 13).

Tabla 5: Tasas de erosión, en t ha⁻¹ a⁻¹, en los puntos estudiados.

BS – E 1	BS – E 2	BS – E 3	BS – E 4	BS – E 5	BS – E 6
113	15	2	depósito	6	14
BS – E 7	BS – E 8	BS – E 9	BS – E 10	BS – E 11	BS – E 12
> 200	10	60	28	70	3
BS – E 13	BS – E 14	BS – E 15	BS – E 16	BS – E 17	BS – E 18
11	0	107	6	69	5

Caracterización de la radiactividad de suelos

La medida de la concentración de los isótopos radiactivos en muestras de suelo permite además una aproximación al proceso de cambio geomorfológico erosión – depósito que tiene lugar en el estuario. Éste puede abordarse de manera cualitativa por medida de las concentraciones de isótopos radiactivos en los suelos erosionados y en puntos de depósito del interior de la bahía.

Teniendo en cuenta que no se observan cambios con la profundidad en las concentraciones de los isótopos radiactivos de origen natural en los puntos muestreados, hemos calculado la media de las concentraciones medidas en cada punto para los isótopos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K . Los resultados encontrados, en Bq kg^{-1} , están expresados en la tabla siguiente.

Tabla 6: Concentraciones de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , en Bq kg^{-1} , en los puntos estudiados.

Punto	Ra-226	Th-232	K-40
BS – E 1	25.8	24.4	169
BS – E 2	20.7	32.6	305
BS – E 3	5.0	18.6	370
BS – E 4	79.0	38.7	211
BS – E 5	52.4	35.3	122
BS – E 6	68.6	38.6	159
BS – E 7	24.1	45.7	397
BS – E 8	29.0	32.3	224
BS – E 9	17.4	14.8	139
BS – E 10	16.9	30.9	413
BS – E 11	7.0	13.9	122
BS – E 12	16.6	29.1	369
BS – E 13	18.1	42.4	449
BS – E 14	34.7	40.0	321
BS – E 15	23.0	47.6	436
BS – E 16	22.3	49.3	354
BS – E 17	16.0	34.4	505
BS – E 18	65.6	39.3	391

Se observa en ella que las concentraciones de ^{226}Ra en los puntos muestreados presentan un gran rango de valores, (5, 14), presentándose concentraciones mayores en los puntos situados en la región sur del estuario y menores en puntos situados más al norte. Las concentraciones de ^{232}Th encontradas presentan un rango mucho menor, sin una distribución diferencial de éstas. Las concentraciones de ^{40}K tienen, igual que las de ^{226}Ra un rango de valores importante, con valores mayores en puntos situados al norte del estuario.

Partiendo de los datos anteriores hemos probado si existe una correlación entre las concentraciones de los tres isótopos medidos. Los resultados encontrados para los tres pares de valores de los isótopos medidos muestran que no existen correlaciones entre las concentraciones de los tres isótopos.

Igualmente hemos calculado los valores promedio que tienen las concentraciones de los tres isótopos medidos en los distintos tipos de suelos muestreados. Se obtiene así que las concentraciones de ^{226}Ra presentan valores máximos en los gleysoles mientras que en ellos las concentraciones de ^{40}K son mínimas. Las concentraciones de ^{232}Th son, en cambio, mínimas en los luvisoles. Estos resultados están matizados por una importante dispersión en los datos de los distintos tipos de suelo.

Agradecimientos

Este estudio ha sido realizado dentro del proyecto “Desarrollo de indicadores de calidad basados en la caracterización de sedimentos y dragados: Aplicación en el estuario de Santander” financiado en la IV Convocatoria de Proyectos de Investigación Aplicada por la Fundación Marcelino Botín.

Referencias

- Wicherek S (1997). La erosión medida por la radiactividad. *Mundo Científico*, 177: 219-221.
- Soto J, Gómez J, Cendrero A, Díaz de Terán JR, González A, Remondo J, Alcaide J (2000). Estudio de algunas características de los deslizamientos de ladera mediante cesio 137. *Nucleus*, 29, 6-11.
- Ritchie JC, McHenry JR (1990). Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sedimentation accumulation rates and patterns: a review. *J. Environmental Quality*, 19: 215-233.
- Navas A (1995). Cuantificación de la erosión mediante el radioisótopo cesio 137. *Cuadernos Técnicos de la SEG*, 8: 5-16.
- Quindós L, Fernández P, Soto J, Ródenas C, Gómez J (1994). Radioactivity in Spanish soils. *Health Physics*, 66, 194-200.
- Navas A, García-Ruiz JM, Machín J, Lasanta T, Valero B (1997). Soil erosion on dry farming land in two changing environments of the central Ebro Valley, Spain. *Human Impact on Erosion and Sedimentation*, 245: 13-20.
- Ritchie JC, Spraberry JA, McHenry JR (1974). Estimating soil erosion from the redistribution of caesium-137. *Soil Science Society of America Proceedings*, 38: 137-139.
- Longmore ME, O'Leary BM, Rose CW, Chandica AL (1983). Mapping soil erosion and accumulation with the fallout isotope caesium-137. *Australian Journal of Soil Research*, 21: 373-385.
- Velasco RH, Belli M, Sansone U, Menegon S (1993). Vertical transport of radiocesio in surface soils: Model implementation and dose rate computation. *Health Physics*, 64(1): 37-44.
- Soto J, Gómez J, Ródenas C, Cendrero A (1997). Modelo de simulación para cuantificación de la erosión mediante Cs-137. I International Symposium on Nuclear and Related Techniques in the Environment. La Habana, Cuba.
- Zhang XB, Higgitt DL, Walling DE (1990). A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrology Science J.* 35: 267-276.
- Loughran RJ, Elliot GL, Campbell BL, Shelly DJ (1988). Estimation of soil erosion from caesium-137 measurements in a small cultivated catchment in Australia. *Applied Radiation and Isotopes*, 39, 1153-1157.
- Quine TA, Navas A, Walling DE, 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*, 51(1): 41-55.
- Navas A, Soto J, Machín J (2002). Edaphic and physiographic factors affecting the distribution of natural gamma emitting radionuclides in the soils of the Arnás catchment in the Central Spanish Pyrenees. *European J. Soil Science*, 53, 629-638.