

# Estudio de la erosión de los suelos en áreas protegidas de Cienfuegos, utilizando el cesio 137 como radiotrazador

Rita Y. Sibello Hernández<sup>1</sup>, José M. Febles González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba

<sup>2</sup>Universidad Agraria de La Habana

rita@ceac.cu

## Resumen

Las explosiones nucleares de gran potencia a cielo abierto, debido a las pruebas de armas nucleares o como consecuencia de accidentes que han tenido lugar, son las principales causas de que gran número de radionúclidos se haya dispersado en todo el globo terráqueo. Entre estos se encuentra el cesio-137, que al llegar al suelo se adhiere fuertemente a sus partículas más finas. Ello, junto a su período de semi-desintegración de 30 años y su fácil detección por gamma espectrometría hacen que se use como radiotrazador de los movimientos del suelo. Esta técnica, ampliamente usada y validada en diferentes entornos en todo el mundo, también fue previamente validada y se demostró su eficacia en la provincia de Cienfuegos. El objetivo de esta investigación fue estudiar mediante el uso del cesio 137, la redistribución del suelo y cuantificar la erosión en áreas protegidas de la provincia, donde las pérdidas de suelo y el arrastre de sedimentos son las principales causas del deterioro de estos ecosistemas con las consiguientes pérdidas económicas y ambientales. Los resultados obtenidos se interpolaron, empleando el método *kriging* mediante el software gvSIG, obteniendo un mapa de la distribución del suelo en las parcelas estudiadas, y garantizando una mejor visibilidad al respecto. El método se puede aplicar en otros lugares donde sea necesario conocer la magnitud de los problemas de erosión y la redistribución del suelo en el paisaje, lo cual puede ser muy útil para trazar los planes de reordenamiento de los usos del suelo.

**Palabras claves:** suelos, erosión, técnicas de trazadores, cesio 137, conservación del suelo agrícola, sedimentos

## SOIL EROSION STUDIES IN PROTECTED AREAS OF CIENFUEGOS, USING CESIUM 137 AS RADIOTRACER

### Abstract

The large-scale nuclear explosions as a result of nuclear weapons tests or nuclear accidents are the main causes of/for the great dispersion of artificial radionuclides all over the world. One of these radionuclides is cesium-137, which is strongly fixed to the fine soils particles. This fact, together with its half-life of 30 years and its easy detection by gamma spectrometry have turned cesium 137, in a good radiotracer of soil movement. This technique has been widely used and validated in different landscapes throughout the world. Its effectiveness was also previously validated and proved in Cienfuegos province as well. This research was aimed at using the cesium-137 technique to study soil redistribution and quantify erosion in the so called Protected Areas in Cienfuegos province, where soil loss and sediment transport are the main causes of deterioration of these ecosystems with the consequent economic and / or environmental losses. The results were represented in a map using the gvSIG software by *kriging*, thus achieving greater visibility of the soil redistribution in the studied plot. The methodology used in this study could be used in other places wherever the magnitude of erosion problems as well as knowing the soil redistribution plot pattern in the landscape are necessary and very useful to elaborate plans for rearrangement in land use management.

**Key words:** soils, erosion, tracer techniques, cesium 137, soil conservation, sediments

## Introducción

La erosión de los suelos se considera junto al calentamiento global y a los cambios climáticos uno de los problemas ambientales más serios en el mundo. Esta situación demanda especial atención en los paí-

ses en vías de desarrollo donde la producción agrícola de alimentos es una necesidad creciente, debido al rápido incremento poblacional y donde malas prácticas agrícolas aceleran la erosión de los suelos. En la actualidad es necesario obtener datos cuantitativos confiables referidos a la extensión y a las tasas

de erosión de los suelos para conocer la magnitud del problema y tomar medidas de conservación efectivas para el desarrollo sostenible de la producción agrícola y la protección ambiental. El uso del cesio 137 para cuantificar la erosión ofrece varias ventajas [1-3]. La aplicabilidad y factibilidad de esta técnica en estudios de erosión en la provincia de Cienfuegos, quedó demostrada [4].

El principal objetivo de esta investigación fue aplicar la técnica del cesio 137 en estudios de la erosión del suelo en sitios seleccionados en las áreas protegidas: Guanaroca y Valle de Yaguanabo en Cienfuegos. Los principales resultados de la investigación radican que en un período breve se obtuvieron datos confiables en la magnitud de la erosión en los sitios estudiados. A partir de estos valores y aplicando el software gvSIG mediante el método *kriging* se lograron representaciones gráficas de la distribución del suelo en el paisaje. Estos resultados ayudaron a dilucidar los principales motivos de la aceleración de los procesos erosivos, demostrando que las causas antrópicas de malas prácticas en los cultivos ocasionan mayores pérdidas de suelo que en aquellos sitios que mantienen su cobertura vegetal, aunque su topografía sea favorable al arrastre del suelo por las aguas. Estos resultados sirven de base para proponer nuevos planes de usos del suelo encaminados a minimizar las consecuencias negativas de la erosión en el intento de restaurar el hábitat y ecosistemas afectados que tanto valor tienen en los sitios estudiados.

## Materiales y métodos

### Características generales de las áreas de estudio

Entre los objetivos priorizados del Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo de Cuba está garantizar la conservación y uso sostenible de la biodiversidad cubana. En este sentido se han declarado como Áreas Protegidas aquellos lugares relevantes por sus valores ecológicos, sociales, históricos y culturales de la nación, garantizando así la conservación de la biodiversidad del hábitat que sirven de albergue a especies de alto valor.

En la provincia de Cienfuegos se han reconocido varias áreas protegidas, entre las que se encuentran la Laguna Guanaroca y el Valle Yaguanabo, ambas regiones de extraordinaria belleza natural y de gran importancia por la diversidad biológica que en ellos existen [5,6]. Sin embargo, estos territorios manifiestan el reforzamiento de ciertos procesos naturales como consecuencia de la erosión acelerada de los suelos [7-9].

En la figura 1 se representan las Áreas Protegidas Guanaroca y Valle Yaguanabo en Cienfuegos.

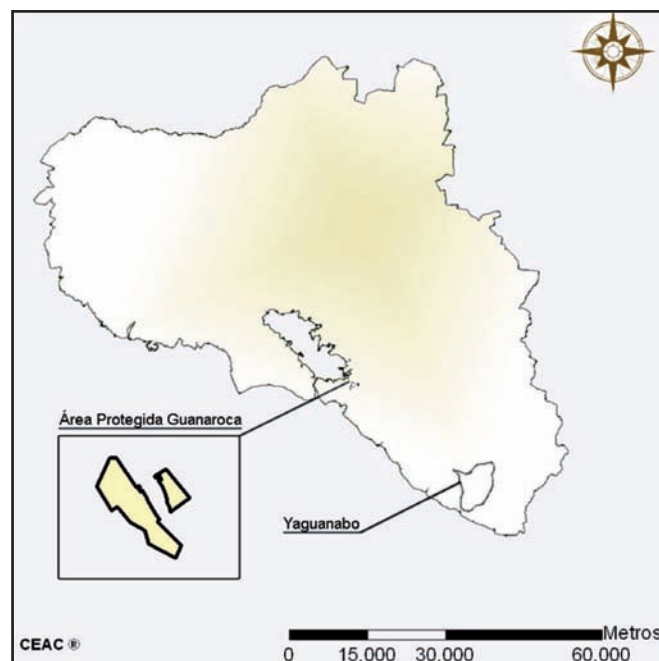


Figura 1. Ubicación de las Áreas Protegidas: Laguna Guanaroca y Valle de Yaguanabo en la provincia de Cienfuegos.

### Estrategia de muestreo

En la Laguna Guanaroca y el Valle Yaguanabo se tomaron muestras en sitios cultivados y no cultivados con el objetivo de comparar las pérdidas de suelos por erosión natural y por la acción antrópica.

En el área protegida de Guanaroca se seleccionó un área representativa en sectores más elevados ( $H = 108,7 - 60,7$  m), con un declive promedio de 60%, con un suelo no cultivado y cubierto por una vegetación natural de matorral xeromorfo costero con escaso estrato herbáceo. En esta elevación se ubicaron nueve puntos equidistantes donde se muestrearon los perfiles de suelos pardos con carbonatos típicos correspondientes. En la base de la pendiente se seleccionaron superficies destinadas al cultivo de maíz donde se muestrearon otros cuatro perfiles de suelo en forma de "malla". En total fueron tomados 13 perfiles principales.

En el valle Yaguanabo se seleccionaron dos sitios: el primero, correspondiente a una parcela no cultivada, cuyo suelo pardo sin carbonato típico estaba cubierto por una vegetación natural y el segundo correspondiente a una parcela cultivada con *Manihot esculenta grantz* (yuca). En cada parcela se tomaron perfiles de suelos hasta una profundidad de 30 cm, los puntos de muestreo se ubicaron en forma de malla, a una distancia equidistante de 15 metros. En total se tomaron 34 perfiles de suelos.

## Resultados y Discusión

### Estimación de las tasas de erosión

Para utilizar los valores de cesio 137 en la estimación de las tasas de erosión de los suelos es necesario conver-

tir las pérdidas o ganancias de cesio 137 en tasas de erosión o sedimentación respectivamente. Esta conversión se realizó empleando los modelos descritos [10].

La tabla 1 muestra los resultados de las mediciones de la actividad específica (Bq/kg) y el cálculo de los inventarios correspondientes (Bq/m<sup>2</sup>) del sitio seleccionado como referencia para el estudio de la Laguna Guanaroca y la distribución del cesio 137 con la profundidad del suelo. El lugar inspeccionado cumplía con los requisitos de sitio de referencia: cercano al lugar de estudio con iguales características edafológicas, no perturbado ni por la erosión ni por el depósito, ángulo de inclinación mínimo y cobertura vegetal natural.

**Tabla 1.** Resultados de las mediciones de la actividad específica y del cálculo de los inventarios correspondientes de cesio 137 del sitio de referencia para la Laguna Guanaroca y la distribución del cesio 137 con la profundidad del suelo para este sitio

Profundidad (cm)	Sitio de referencia: Latitud: N 22°04.006' Longitud: W 080°20.862'	
	Actividad específica (Bq/Kg Peso Seco)	Inventario (Bq/m <sup>2</sup> )
2,5	6,67 ± 0,97	161,97 ± 25,66
5	4,54 ± 0,53	116,12 ± 15,39
7,5	7,06 ± 0,95	72,79 ± 10,81
10	7,73 ± 0,71	177,25 ± 19,72
12,5	6,72 ± 0,69	285,71 ± 34,39
15	5,45 ± 0,67	119,76 ± 16,53
17,5	2,73 ± 0,42	58,90 ± 9,79
20	2,21 ± 0,57	33,48 ± 8,89
22,5	1,83 ± 0,99	37,30 ± 20,31
25	1,23 ± 0,63	24,46 ± 12,62
Total		1087,74 ± 18,98

En un período breve (3 años) se obtuvieron datos confiables de la magnitud de la erosión en los sitios estudiados y estos valores se interpolaron, empleando el método *kriging* mediante el software gvSIG, lograndose representaciones gráficas de la distribución del suelo en el paisaje. Estos resultados ayudaron a dilucidar las principales causas del reforzamiento de los procesos erosivos, revelando la morfogénesis antrópica como una de las causas principales, debido a prácticas no conservacionistas en las labores de preparación de los suelos. No obstante, en aquellos sectores que aún mantienen su cobertura vegetal intacta, aunque su topografía sea favorable al arrastre del suelo por las aguas, los procesos erosivos se manifiestan débilmente, coincidiendo con las observaciones en ambientes similares [11]. En la tabla 2 se reportan los resultados de la redistribución del suelo en los sitios seleccionados como representativos del área protegida Guanaroca.

Los valores negativos de X porcentaje significan erosión, mientras que los positivos indican depósito. Como se observa el valor estimado de las pérdidas de suelo por erosión natural: 10,0 ± 1,0 t/ha/año, en una parcela con pendiente representativa del área (60°) y con vegetación natural de arbustos silvestres es superado por el valor estimado para un suelo cultivado sin inclinación: 23,0 ± 7,0 t/ha/año. Estos valores se corresponden con la clasificación de erosión baja y erosión moderada, respectivamente, de acuerdo con la evaluación brindada por la FAO [12].

En condiciones naturales el suelo con mínima pendiente (ángulo de inclinación nulo o casi nulo), debe estar menos expuesto a la erosión; sin embargo, los resultados demuestran cómo la actividad antrópica favorece la pérdida de suelo por erosión. Esto corrobora que el suelo que está desprovisto de su cobertura

**Tabla 2.** Redistribución de suelo en la parcela estudiada y cuantificación de la erosión utilizando diferentes modelos matemáticos (Guanaroca)

Ubicación de puntos de muestreo	Altitud (msnm)	Inventario total de Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Redistribución del suelo X porcentaje	Pérdida de suelo (t/ha/año)	
				Modelo de distribución del perfil (suelos no cultivados)	
Sector superior de la ladera (S. S. L)	108,7	721,16 ± 31,78	-33,70		
(S. S. L)	110,5	914,54 ± 45,25	-15,92		
(S. S. L)	112,1	595,33 ± 28,65	-45,27		
Sector medio de la ladera (S. M. L)	100,8	1470,74 ± 45,41	+35,21		
(S. M. L)	--	1261,55 ± 58,69	+15,98		
(S. M. L)	97,5	779,11 ± 26,27	-28,37		
Sector inferior de la ladera (S. I. L)		975,66 ± 44,62	-10,30		
(S. I. L)	80,0	1323,34 ± 45,20	+21,66		
(S. I. L)	60,7	1663,22 ± 39,01	+52,91		
V.Medio		1078,29	-7,8	10,0 ± 1,0	
P-1 campo de maíz	57,5	896,00 ± 45,04	-17,63	M. Propor.	B.M.Simplif.
P-2 campo de maíz	59,2	806,38 ± 44,21	-25,87		
P-3 campo de maíz	53,6	555,81 ± 26,17	-48,90		
P-4 campo de maíz	49,7	827,92 ± 29,28	-23,89		
Valor Medio		771,53		18,17	27,66
				23,0 ± 7,0	

vegetal natural y que además, está expuesto a incorrectas técnicas de cultivo es más propenso a que sea erosionado [13,14]. En las figuras 2 y 3 se muestran los mapas de la redistribución de suelo en las parcelas estudiadas del Valle Yaguanabo.

En la parcela no cultivada se obtuvieron valores de pérdidas de suelos inferiores ( $16,0 \pm 2,0$  t/ha/año) a las pérdidas ocurridas en la parcela cultivada, aún cuando la pendiente del terreno en el suelo no cultivado fue mayor que en la parcela cultivada, lo que corrobora los efectos benéficos de la vegetación [15-17]. Además, el modelo de distribución del perfil utilizado para el cálculo de las pérdidas de suelo en sitios no cultivados sobreestima los valores. En este caso los valores de pérdidas de suelos deben ser aún más pequeños. Esto demuestra el papel protector del suelo que ejerce la cobertura vegetal.

En la figura 2 se aprecia que la parcela ha sido cultivada en el área de menor pendiente (2,5%), en la cima, y es donde se obtuvieron los mayores valores de pérdidas de suelo (hasta 40 t/ha/año en algunos sitios). Sin embargo, en las laderas abruptas (declive mayores 30%) que no se han cultivado y que mantienen una cobertura vegetal natural, las pérdidas de suelos cuando tienen lugar, son menores. Se debe señalar que el suelo erosionado de la cima también se va depositando en la ladera y en la base de la elevación.

Con la ejecución de esta investigación se logró obtener información valiosa sobre la magnitud de la erosión en los sitios estudiados, demostrando las ventajas de la técnica del cesio 137 y corroborando los resultados de otros investigadores [18-22]. Estos resultados facilitan la propuesta de planes de reordenamiento del uso del suelo más aceptado sobre la base de datos confiables con el objetivo de combatir las consecuencias negativas de la erosión y lograr la recuperación del hábitat y ecosistemas dañados con gran valor ambiental en las áreas protegidas.

## Conclusiones

Con la aplicación de la técnica del cesio 137 se evaluó de manera rápida las tasas de erosión/deposición en los sitios de estudio y permitió conocer los patrones de distribución de suelo en el paisaje. Los resultados obtenidos por esta técnica y las unidades de mapas obtenidas por la aplicación de las técnicas de interpolación espacial presentan “una fotografía” de la distribución de suelos en el área de estudio. Fue posible comparar las pérdidas de suelo por erosión natural y por erosión antrópica, quedando demostrada la importancia de las prácticas de cultivo inadecuadas en el incremento de los procesos erosivos y el importante papel que tiene la cobertura vegetal en la protección del suelo contra la erosión.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa Territorial del CITMA de Cienfuegos: Protección y Conservación del Medio Ambiente, por el financiamiento de los

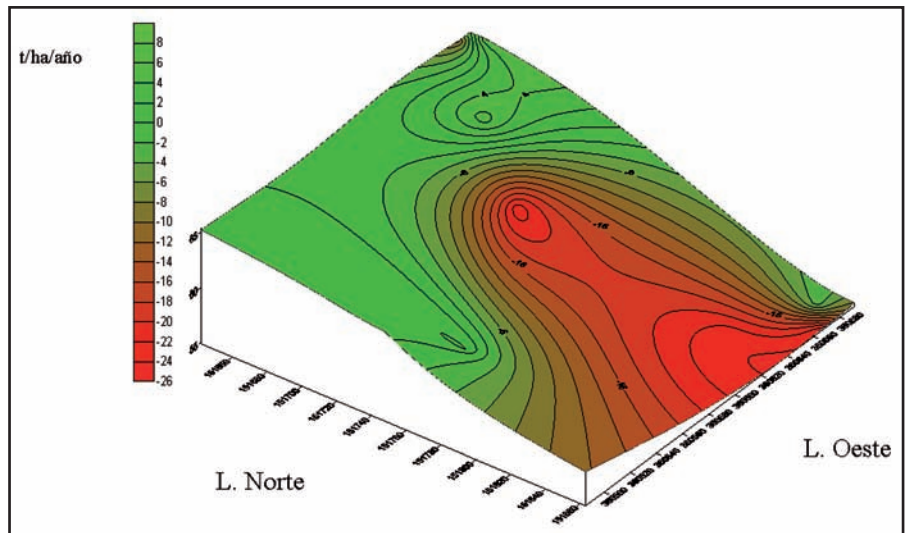


Figura 2. Mapa representativo de la distribución de suelo en la parcela no cultivada (Valle Yaguanabo).

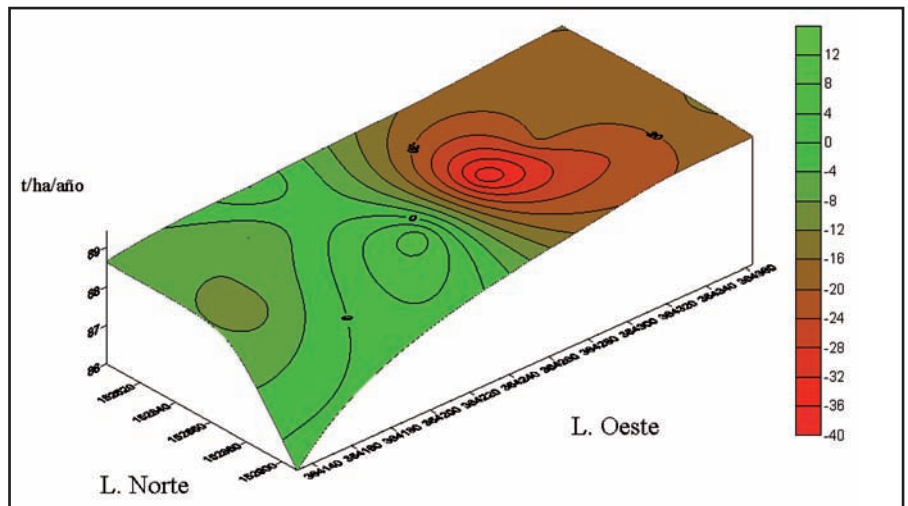


Figura 3. Mapa representativo de la distribución de suelo en la parcela cultivada (Valle Yaguanabo).

Estos resultados son importantes para rediseñar planes de manejo del suelo destinados a evitar la degradación de estos y a incrementar su uso sostenible con el fin de satisfacer la necesidad del aumento de la producción de alimentos y al mismo tiempo establecer medidas agronómicas de conservación de suelos, de protección de los ecosistemas y de la biodiversidad.

proyectos de investigación de los cuales se obtuvieron los resultados presentados en el trabajo. Igualmente, al Laboratorio de Ensayos Ambientales del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos por la realización de las mediciones de espectrometría gamma a las muestras de suelo para el desarrollo de la investigación. Agradecimientos especiales a Pedro del Pozo de la Empresa Flora y Fauna de Cienfuegos, a Héctor Ledesma y al amigo inolvidable, ya fallecido, William Lamela de la Empresa Flora y Fauna por la colaboración en los trabajos de campo.

## Referencias bibliográficas

- [1] POREBA GJ. Caesium-137 as a soil erosion tracer: a review. *Geochronometria*. 2006; 25: 37-46.
- [2] SAC MM, UGUR A, YENER G, OZDEN B. Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environ Monit Assess*. 2008. 136(1-3): 461-467.
- [3] NOUIRA A, SYOUTY EH, BENMANSOUR M. Use of 137 Cs technique for soil erosion study in the agricultural region of Casablanca in Morocco. *J Environ Radioact*. 68(1): 11-16.
- [4] SIBELLO HERNÁNDEZ, R.Y. Uso del Cesio 137 como radiotrazador en la cuantificación de la erosión de suelos tropicales. *Nucleus*. 2005; (38): 19-24.
- [5] VALDÉS N. Caracterización preliminar de áreas protegidas de Cienfuegos, IPF-Cienfuegos. 1989 (inédito).
- [6] Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios (ENPA). Plan de Manejo Integral del Valle Yaguanabo. 1993.
- [7] OROPESA A. et. al. Plan de Manejo Área protegida Guanaroca. Modificaciones antrópicas y contaminación. 1999.
- [8] POZO P. Informe Técnico Área Protegida Guanaroca. Cienfuegos: Empresa Flora y Fauna, 2003.
- [9] LEDESMA H. Presentación de examen de suficiencia investigativa. Programa de doctorado curricular. Desarrollo sostenible de bosques tropicales: manejos forestal y turístico. Universidad de Alicante/ Universidad de Pinar del Río, 2005.
- [10] WALLING DE, HE Q, APPLEBY PG. Conversion models for use in soil-erosion, soil-redistribution and sedimentation investigations. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. Chapter 7. Vienna: IAEA, 2002. p. 111-183.
- [11] REIDSMA P, TEKELENBURG T, VANDENBERG M, ALKEMADE R. Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2006; 114(1): 86-102.
- [12] Food and Agriculture Organization (FAO). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. 1980. vol. 1. Roma: FAO, 1986.
- [13] ZHANG X, ZHANG Y, WEN A, FENG M. Assessment of soil losses on cultivated land by using the 137Cs technique in the Upper Yangtze River Basin of China. *Soil Till Res*. 2003. 69: 99-106.
- [14] BUJAN A, SANTANATOGLIA O, CHAGAS C, et. al. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of 137Cs technique. *Soil Till Res*. 2003. 69(1-2): 127-137.
- [15] BENNET HH, HULL WX. Manual de Conservación de Suelos. Servicio de Conservación de Suelos. U.S. Government Printing Office: O-1950. Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos de América, 1950.
- [16] SANDOVAL M, PEÁ L, CARRASCO P. Labranza de conservación de suelos en terrenos de lomaje de la precordillera: cuenca del río Bio Bio. In: Terceras Jornadas Nacionales de Cero Labranza. INIA, 1994. Serie Carrilanca 43. p. 129-139.
- [17] ELLIS A. Soil erosion and its control in Chile. An overview. *Acta Geol Hisp*. 2000; 35(3-4): 279-284.
- [18] SCHULLER P, SEPÚLVEDA A, TRUMPER RE, CASTILLO A. Application of the 137Cs technique to quantify soil redistribution rates in paleohumults from central-south Chile. *Acta Geol. Hisp*. 2000. 35 (3-4): 285-290.
- [19] BERGHE I VAN DEN, GULINCK H. Fallout Cesio 137 as a tracer for soil mobility in the landscape framework of Belgian loamy region. *Pedologie*. 1987; 37(1): 5-20.
- [20] WALLING DE, QUINE TA. The use of Cesio 137 measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitations. *J. Soil Sci*. 1991; 42: 147-162.
- [21] WALLING DE, QUINE TA. The use of fallout radionuclide measurements in soil erosion investigations. Symposium on Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation. Vienna: IAEA, 1995. p. 597-619. IAEA STI/PUB/947.
- [22] ZAPATA F. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *Soil Till Res*. 2003; 69: 3-13.

Recibido: 23 de mayo de 2011

Aceptado: 27 de octubre de 2011