

Estimación de las tasas de erosión de los suelos mediante la técnica del Cesio-137

Estimate of the rates of erosion of the soils by technique of the Cesium-137

Rita Y. Sibello Hernández*

*Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba.

E-mail: rita@ceac.cu

RESUMEN. Uno de los más grandes desafíos que tiene la agricultura en nuestros tiempos es incrementar la producción de alimentos usando el recurso suelo de forma sostenible. Para satisfacer este principio es necesario conocer el estado del suelo con respecto a la erosión, que es la principal causante de la disminución de las cosechas y el deterioro paulatino del suelo hasta convertirlo en improductivo. Conocer la magnitud del problema es la única forma en que se proponer un uso adecuado de la tierra. En este sentido la técnica de Cesio-137 ha sido utilizada en varios países para cuantificar la erosión, demostrando ser una técnica ventajosa y que contribuye significativamente en la elaboración de proyectos de conservación y mejoramiento de suelos, cada vez más ajustados a las condiciones específicas del lugar. Así, el objetivo principal de este trabajo fue cuantificar las tasas de erosión y de depósito del suelo en sitios de interés de la Cuenca Yaguanabo (Cuba), empleando la técnica del Cesio-137, dando continuidad a investigaciones previas locales. Utilizando los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica y el programa SURFER 8.0, se obtuvieron mapas representativos del estado del suelo respecto a la erosión, lo cual servirá de base a otros investigadores para la presentación de planes de manejo sostenible del suelo en el área estudiada.

Palabras clave: Cesio-137, Cuba, erosión, radiotrazadores, suelo.

ABSTRACT. Soil conservation and sustainability is of maximum relevance to guarantee the increasing demand for food in the world. Nowadays there is an increasing need to obtain reliable quantitative data on the extent and rates of soil erosion to know the magnitude of the problem and take the effective soil conservation measures for the sustainable development of the agricultural production and environmental protection. In this sense, the Cesium-137 technique has been widely applied in a variety of locations throughout the world and offers an effective and valuable means for estimating soil erosion rates. This work reports the results of an investigation of soil redistribution rates in the Yaguanabo Basin (Cuba), using the Cesium-137 technique. The soil erosion/deposition maps were produced using SURFER 8.0. This results show that this technique must be seen as an efficient method for estimating soil redistribution rates for evaluating soil conservation and sustainable agricultural production.

Key words: Cesium-137, Cuba, erosion, radiotracers, soil.

INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos es la principal causa de la degradación de la tierra; sin embargo, en muchas ocasiones no se conoce la envergadura del problema por falta de métodos de cuantificación factibles. La utilización de nomenclaturas y técnicas de medición diferentes, ha generado problemas de comparación y son frecuentes estimaciones de pérdidas disímiles del estado de erosión de los suelos en el país. (Febres, 1986, 2008) En este contexto el uso del Cs- 137 constituye una técnica más precisa y viable para cuantificar la erosión de los suelos y ha sido aplicada en diferentes

ambientes naturales con resultados satisfactorios. En la provincia de Cienfuegos se introdujo y validó esta técnica y ha sido aplicada en diferentes zonas de interés económico y/o ambiental. (Sibello, 2005)

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica del Cs-137 en el diagnóstico de la erosión y la redistribución del suelo en la cuenca Yaguanabo, ubicada en la parte sureste de la provincia de Cienfuegos, una zona de gran valor tanto desde el punto de vista económico como ambiental, que

evidencia manifestaciones de la erosión llegando a ser relevante en algunos sitios. Esta investigación complementa los resultados obtenidos y publicados previamente referentes al uso de la tecnología nuclear en la Cuenca Yaguanabo. (Sibello y Febres, 2009)

Se estudiaron dos parcelas representativas de la cuenca: la primera, no cultivada y la segunda, cultivada con yuca (*Manihot esculenta grantz*). A partir de los inventarios de Cesio-137 y su redistribución en el paisaje se identificó la distribución del suelo y aplicando los Modelos Matemáticos recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), para la cuantificación de la erosión mediante esta técnica Walling et al. (2002), se cuantificaron las pérdidas o ganancias de tierra que han tenido lugar en las últimas cuatro décadas. Finalmente, utilizando el programa SURFER 8.0 se obtuvieron los mapas representativos de la redistribución del suelo en los sitios estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del área de estudio

La Cuenca del río Yaguanabo posee una extensión territorial de 42,6 km² y está enmarcada entre las coordenadas 225 500 y 234 500 de Latitud Norte y 580 250 y 586 250 de Longitud Oeste, limitando al sur con la Cuenca del Río San Juan y el mar Caribe y al este con la cuenca del Río Hondo. En la Fig. 1 se representa la ubicación de la Cuenca Yaguanabo en la provincia de Cienfuegos, Cuba.

La temperatura media anual es de 25,8⁰ C y tiene una precipitación media anual de 1400mm. El suelo es pardo sin carbonato típico sobre roca ígnea intermedia, con una densidad aparente de 1,35g/cm³. (ENPA, 1993)



Figura 1. Localización de la Cuenca Yaguanabo dentro de la provincia de Cienfuegos, Cuba.

*Mapa presentado por el Lic. Héctor Ledesma en Tesina de Doctorado

La técnica del Cesio-137

Toma de muestras: Las muestras fueron tomadas hasta una profundidad suficiente para garantizar que se incluyera todo el Cesio-137 presente en el perfil de suelo.

Estrategia para la toma de las muestras: Se seleccionaron dos sitios: el primero, correspondiente

a una parcela no cultivada, cuyo suelo estaba cubierto por una vegetación natural y el segundo correspondiente a una parcela cultivada con *Manihot esculenta grantz* (yuca). En cada parcela fueron tomados perfiles de suelo hasta una profundidad de 30 cm, los puntos de muestreo fueron ubicados en forma de malla, a una distancia equidistante de 15 m. Las muestras de suelo se colectaron con un “tubo de muestreo” (core) de

acero de un diámetro de 8 cm. En total fueron tomados 34 perfiles de suelo.

Preparación de las muestras: Las muestras de suelo se desagregaron ligeramente y posteriormente se secaron en la estufa a 60°C por un tiempo de 24 horas. Luego, se trituraron ligeramente con ayuda de un mortero y se tamizaron a través de una malla de 2 mm. Cada una de las fracciones fue pesada y de la fracción fina se tomaron muestras de 86 g para su posterior medición.

Medición de muestras y cálculo de actividades: Las muestras fueron analizadas en un sistema espectrométrico gamma con detector de Germanio de alta pureza (HPGe) tipo NGC 3019 con resolución (FWHM) de 1,9 keV, 30 % de eficiencia relativa para la energía de 1332 keV del ⁶⁰Co y WIN XP/WINNER 6.0 como software de análisis. El sistema fue calibrado para determinar las actividades de Cesio-137 por la energía de 661,66 keV de sus cuantos gamma en muestras de suelos con 86 g, colocadas en cápsulas cilíndricas de plástico de 75 mm de diámetro y 30 mm de altura, posicionadas encima del detector. Los espectros de las muestras fueron colectados durante 24 h.

Los inventarios de las muestras fueron calculados según la ecuación (1).

$$IM = (AESM \times CPF) / ASH \quad (1)$$

Donde:

IM = inventario de Cesio-137 de la muestra (Bq/m²).

AESM = actividad específica de la muestra entregada para el análisis espectrométrico (Bq/kg).

CPF = peso corregido de la fracción fina de la muestra (kg).

CPF = PT - PG

PT = Peso total de la muestra seca.

PG = Peso de la fracción gruesa.

ASH = área superficial del tubo de muestreo (core).

Bases de la técnica: Con la aplicación de la técnica del Cesio-137 para la cuantificación de las pérdidas o ganancias de suelo, basta con comparar los inventarios de Cesio-137 de los diferentes sitios de muestreo del lugar de estudio con los inventarios de referencia obtenidos en un sitio no perturbado, ni por la erosión ni por el depósito, denominados sitios de referencia. Un inventario menor que el de referencia

infiere erosión, por el contrario uno mayor, infiere que ha ocurrido un depósito de suelo. Esta comparación de inventarios suele expresarse con el porcentaje de redistribución X (%) de Cesio-137, que es calculado como $(I - I_{ref}) / I_{ref} * 100$, donde I es el inventario de la muestra e I_{ref} , es el inventario de referencia.

La selección del sitio de referencia debe ser cuidadosa y deben tener similares parámetros geomorfológicos que el sitio de estudio y haber recibido las mismas precipitaciones anuales en el período de depósito del Cesio-137.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación de la erosión para suelos cultivados

Para utilizar los valores de Cesio-137 en la estimación de las tasas de erosión de los suelos, en tierras cultivadas, es necesario convertir las pérdidas o ganancias de Cesio-137 en tasas de erosión o sedimentación, respectivamente. Esta conversión se realizó usando el Modelo Proporcional y el de Balance de Masa Simplificado. (Walling *et al.*, 2002)

Modelo Proporcional

El Modelo Proporcional ha tenido un amplio uso para la estimación de las tasas de erosión en suelos cultivados a partir de las mediciones de Cesio-137. Este está basado en la premisa de que las precipitaciones de Cesio-137 son completamente mezcladas dentro del lecho arado o lecho de cultivo y que la pérdida de suelo es directamente proporcional a la cantidad de Cesio-137 eliminado desde que comenzó la acumulación del mismo. Así, si la mitad de la entrada de Cesio-137 ha sido eliminada, se asume que la pérdida total de suelo, en el período, va a ser el 50 % de la profundidad del arado. Este modelo puede representarse de la manera siguiente:

$$Y = 10 \cdot B \cdot D \cdot X / 100TP \quad (2)$$

Donde:

Y... es la pérdida media anual de suelo (t/ha.año)

B... densidad aparente del suelo (kg/m³)

D... es la profundidad del arado o el lecho de cultivo (m).

X... porcentaje de reducción del inventario total de Cesio-137 (definido como $(I_{ref} - I) / I_{ref} \times 100$).

T...tiempo transcurrido desde el inicio de la acumulación del Cesio-137.
 P...factor de corrección del tamaño de las partículas.

Modelo Balance de Masa Simplificado

El modelo de balance de masa simplificado, asume que la precipitación total de Cesio-137 ocurrió en 1963, en lugar de en un largo período que se extendió desde mediados de 1950 hasta mediados de 1970. En este modelo no se tiene en cuenta los efectos del tamaño de las partículas; pero se incluye el factor de corrección P. Las tasas de erosión aplicando este modelo son estimadas por la ecuación siguiente:

$$Y=10dB/P [1-(1-X/100)^{1/(t-1963)}] \quad (3)$$

Donde:

- Y=pérdida media anual de suelo (t/ha/año)
- d=profundidad del arado o lecho de cultivo (m)
- B=densidad del suelo (kg/m³)
- X=porcentaje de reducción del inventario total de Cesio-137 (definido como (Iref-I)/IrefX100)
- P=factor de corrección del tamaño de las partículas.

Estimación de la erosión para suelos no cultivados

Modelo de Distribución del Perfil (para suelos no cultivados)

Para suelos no cultivados, la distribución de Cesio-137 en la profundidad del perfil de suelo, puede ser significativamente diferente de la de los suelos cultivados, donde el Cesio-137 es mezclado dentro del lecho arado o cultivado. Si se asume que la precipitación total de Cesio-137 ocurrió en 1963 y que la distribución del mismo en la profundidad del perfil del suelo es independiente del tiempo, la tasa de erosión Y para un punto erosionado [con un inventario total de Cesio-137 (Bqm-2)] menor que el inventario local de referencia A_{ref} (Bqm-2) puede ser expresada como:

$$Y = \frac{10}{(t-1963)P} \ln\left(1 - \frac{X}{100}\right)h_0 \quad (5)$$

donde:

- Y = pérdidas anuales de suelo (tha-1 año);
- t = año de recolección de la muestra (año);
- X = por ciento de pérdida total de Cesio-137 con respecto al inventario de referencia (definido como $(A_{ref} - A) / A_{ref} \times 100$)
- A = inventario total de Cesio-137 medido en el punto de muestreo (Bqm-2).
- h0 = coeficiente que describe la forma del perfil (kgm-2)

Un valor promedio de $588,32 \pm 67,94\text{Bq/m}^2$ fue obtenido para el inventario de referencia local. Para los sitios tomados como referencia, el mayor por ciento de Cesio-137 se encontró en los primeros 10 cm del perfil de suelo. En la Fig. 2, se representa la distribución del Inventario de Cesio-137 con los incrementos de profundidad para uno de los sitios tomados como referencia. Esta distribución en forma de exponencial decreciente es típica para los sitios de referencia.

De los resultados obtenidos de las pérdidas de suelo (t/ha/año) en la parcela de suelos cultivados, se demostró que no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos aplicando el Modelo Proporcional y los valores obtenidos por el Modelo de Balance de

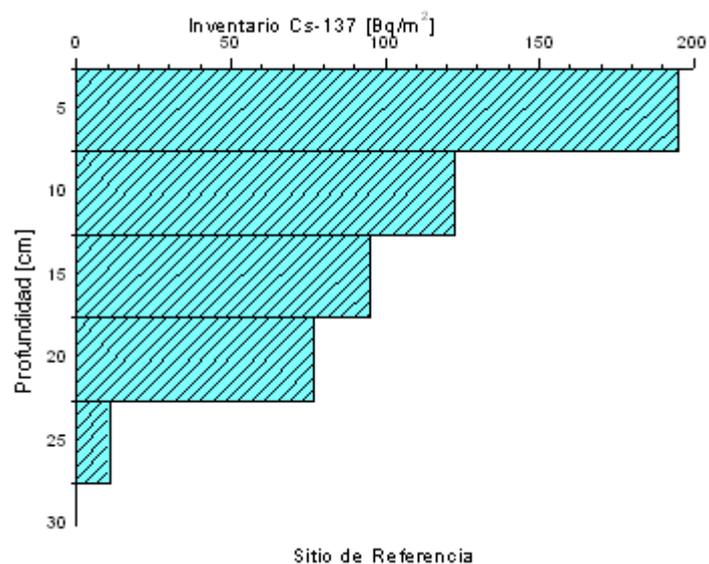


Fig. 2. Distribución del Inventario de Cesio-137 con la profundidad para el perfil de suelo tomado como referencia

Masa Simplificado. Sin embargo, los valores obtenidos con el Modelo Proporcional fueron ligeramente mayores a los valores obtenidos por el Modelo de Balance de Masa Simplificado, esto está dado por el hecho de que el Modelo Proporcional no tiene en consideración en su validación el efecto de selección de las partículas finas en la eliminación por erosión y si la eliminación selectiva de las partículas finas de suelo ha ocurrido, las tasas de erosión calculadas pudieran ser

sobreestimadas debido a la asociación preferencial del Cesio-137 a la fracción fina. Del balance total se concluyó que como promedio se pierden en esta área $-19,10 \pm 4,58$ t/ha/año de suelo.

Aplicando el programa SURFER 8.0 a los valores obtenidos por medio de los modelos descritos se lograron mapas de la redistribución de suelo en las parcelas estudiadas. (Ver Fig. 3 y Fig. 4)

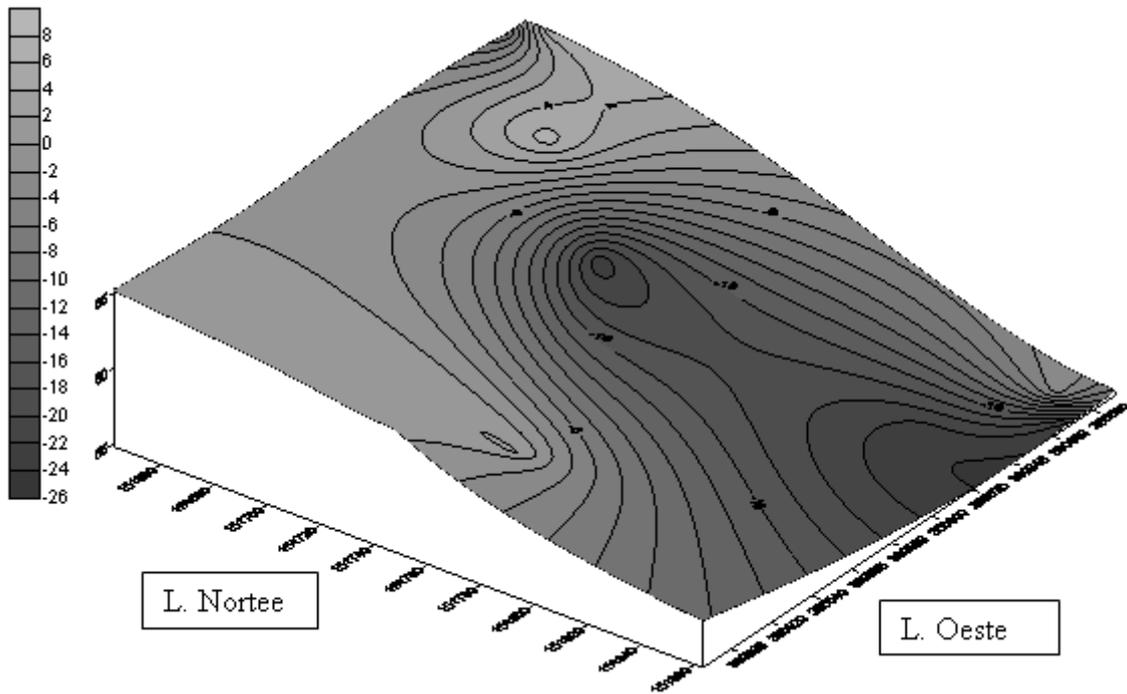


Fig 3. Mapa representativo de la distribución de suelo en la parcela no cultivada

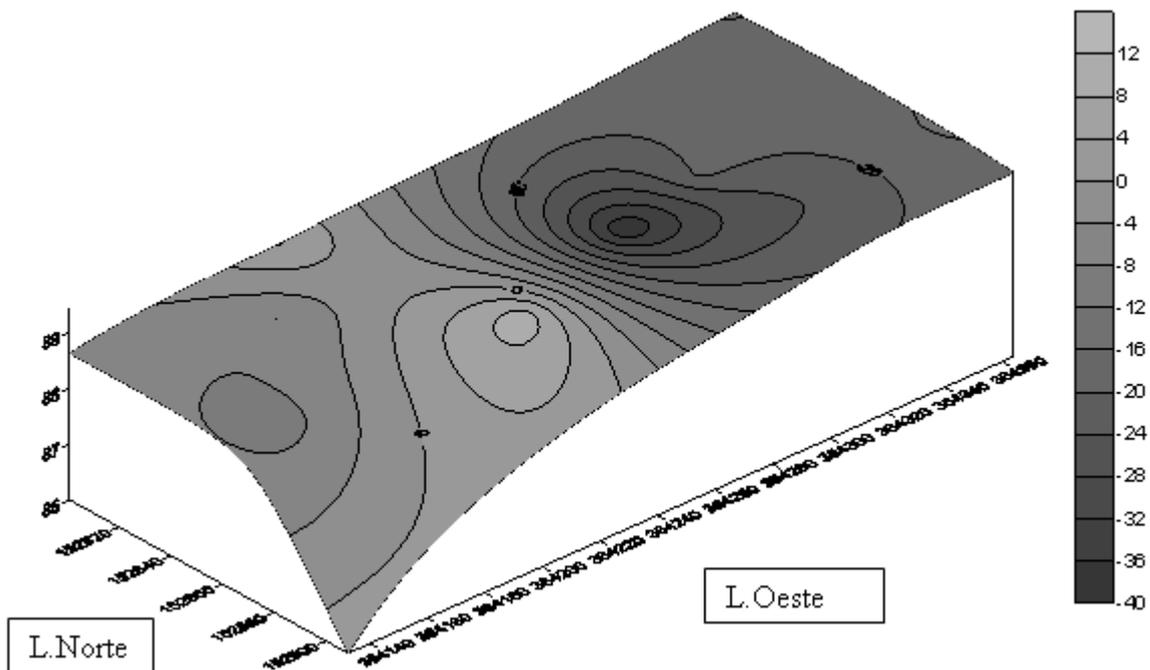


Fig 4. Mapa representativo de la distribución de suelo en la parcela cultivada

En la parcela no cultivada se obtuvieron valores de pérdidas de suelo ligeramente inferiores ($-16,28 \pm 1,59$ t/ha/año) a las pérdidas de suelo en la parcela cultivada, aun cuando la pendiente del terreno en el suelo no cultivado (Fig. 3) es mayor que en la parcela cultivada. Además, como se ha explicado, el Modelo de Distribución del Perfil utilizado para el cálculo de las pérdidas de suelo en sitios no cultivados, sobreestima los valores. De este modo, los valores de pérdidas de suelo en este caso deben ser aún más pequeños. Esto demuestra el papel protector del suelo que ejerce la cobertura vegetal.

Esta situación se hace apreciable en el mapa representado en la Fig. 4. En este caso, la parcela ha sido cultivada en el área de menor pendiente, en la cima, y es en esta área donde se obtuvieron los mayores valores de pérdidas de suelo. Sin embargo, en las laderas abruptas, que no han sido cultivadas y que mantienen una cobertura vegetal natural, las pérdidas de suelo, cuando tienen lugar, son menores. Aquí debemos señalar que el suelo erosionado de la cima también se va depositando en la ladera y en la base de la elevación.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de la técnica del Cesio-137 fue posible evaluar las tasas de erosión/dépósito en el sitio de estudio y permitió conocer los patrones de distribución de suelo en el paisaje. Los resultados obtenidos por la técnica del Cesio-137 y las unidades de mapas obtenidas del programa SURFER 8.0, nos presenta “una fotografía” de la distribución de suelo en el área estudiada de la cuenca Yaguanabo.
2. El uso de la técnica del Cesio-137 es representativo del lugar de interés, ya que se basa en datos de muestras tomadas en el mismo sitio y no hay necesidad de observaciones prolongadas en el tiempo, de este modo, en un período relativamente corto, se puede conocer la situación en el lugar deseado con respecto a las tasas de erosión y a la redistribución del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa Territorial del CITMA de Cienfuegos: Protección y Conservación del Medio Ambiente, por el financiamiento de la investigación

de este trabajo. Igualmente agradecemos 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. Febles J.M.; N. Martín y S. Hernández: La erosión y el manejo de los suelos en el carso llano de Cuba: estudio de diferentes casos. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORTOM), París, pp. 717-728, 1986.
2. Febles J.M.; M.B. Vega y G. Febles: “Sistema integrador de métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársicas de uso ganadero de Cuba”, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(3): 313-317, 2008.
3. Sibello Hernández R.Y.: Uso del Cesio 137 como radiotrazador en la cuantificación de la erosión de suelos tropicales. “*Revista Nucleus*”, 38: 19-24, 2005.
4. Sibello Hernández, R.Y. y J.M. Febles González: Estudio de la erosión en la cuenca del río Yaguanabo usando al Cesio-137 como radiotrazador. CD del Congreso Internacional de Ciencias Agropecuarias. Agrociencias 2009. ISBN 978-959-16-1054-6, 2009.
5. Walling, D.E.; Q. He and P.G. Appleby: 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, pp. 111-183, IAEA, 2002.
6. ENPA: Plan de Manejo Integral del Valle Yaguanabo, 1993.

Recibido: 17/06/2008

Aceptado: 11/09/2009