



UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS NUCLEARES PARA ESTIMAR LA EROSIÓN HÍDRICA EN PLANTACIONES DE TABACO EN CUBA

Utilization the nuclear techniques use to estimate the water erosion in tobacco plantations in Cuba

Reinaldo H. Gil¹✉, José L. Peralta¹, Jorge Carrazana¹, Mario Riverol², Yulaidis Aguilar², Yilian M. Morejón³, Jorge Oliveira⁴ y Gema Fleitas¹

ABSTRACT. Soil erosion is a relevant factor in land degradation, causing several negative impacts to different levels in the environment, agriculture, etc. The tobacco plantations in the western part of the country have been negatively affected by the water erosion due to natural and human factors. For the implementation of a strategy for sustainable land management a key element is to quantify the soil losses in order to establish policies for soil conservation. The nuclear techniques have advantages in comparison with the traditional methods to assess soil erosion and have been applied in different agricultural settings worldwide. The tobacco cultivation in Pinar del Río is placed on soils with high erosion levels, therefore is important to apply techniques which support the soil erosion rate quantification. This work shows the use of ¹³⁷Cs technique to characterize the soil erosion status in two sectors in a farm with tobacco plantations located in the south-western plain of Pinar del Río province. The sampling strategy included the evaluation of selected transects in the slope direction for the studied site. The soil samples were collected in order to incorporate the whole ¹³⁷Cs profile. Different conversion models were applied and the Mass Balance Model II provided the more representative results, estimating the soil erosion rate from -18,28 to 8,15 t ha⁻¹año⁻¹.

Key words: soil conservation, radioisotopes, land degradation

RESUMEN. La erosión del suelo es un elemento importante en la degradación de tierras, provocando impactos negativos a varios niveles (parcela, finca, cuenca, etc). El cultivo del tabaco en el occidente del país se ha visto negativamente afectado por la erosión hídrica asociado a factores naturales y antrópicos. Un elemento fundamental para implementar una estrategia de manejo sostenible de tierras es la cuantificación de las pérdidas de suelo, ya que permiten establecer políticas de conservación de suelos. Las técnicas nucleares en la evaluación de la erosión, poseen ventajas en comparación con los métodos tradicionales y han sido aplicadas en diferentes agrosistemas a nivel mundial. En la provincia Pinar del Río, los suelos dedicados al cultivo del tabaco, presentan elevados niveles erosivos, por lo que es importante utilizar técnicas que permitan la cuantificación de las tasas de erosión de suelos. El trabajo muestra el uso de la técnica del ¹³⁷Cs para caracterizar el estado de la erosión de suelos en dos sectores de una granja con plantaciones de tabaco, ubicadas en la Llanura Suroccidental de la provincia de Pinar del Río. La estrategia de muestreo incorporó la evaluación de transectas seleccionadas en dirección de la pendiente, siendo tomadas muestras de suelos que incluyeron todo el ¹³⁷Cs del perfil. Se emplearon varios modelos de conversión; el Modelo de Balance de Masa II proporcionó los mejores resultados, obteniéndose una tasa de redistribución de suelos con valores de -18,28 a 8,15 t ha⁻¹año⁻¹.

Palabras clave: conservación de suelos, radioisótopos, degradación de tierras

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo como factor importante en la degradación de la tierra, causa impactos negativos

en el ambiente, repercutiendo desde la disminución de los rendimientos de la cosecha hasta fenómenos de eutroficación y asolvamiento en cuerpos de agua superficiales. En el caso de Cuba, la degradación de la tierra es uno de los principales problemas medioambientales en el que causas, tanto naturales como antrópicas, han provocado un acelerado proceso de erosión que afecta aproximadamente al 43 % de las tierras cultivables del país (1).

¹ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, La Habana.

² Instituto de Suelos, La Habana.

³ Dirección Provincial de Suelos, Pinar del Río.

⁴ Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana.

✉ cphrgil@ceniai.inf.cu

En la provincia de Pinar del Río, el mayor por ciento de las áreas dedicadas al cultivo del tabaco presentan una topografía ondulada, además de estar expuesta a la ocurrencia reiterada de eventos meteorológicos extremos e incorrectos manejos de uso del suelo, causas que han facilitado altos niveles de erosión hídrica y a su vez un alto impacto potencial negativo, en la economía nacional^A.

Para la aplicación de una estrategia de manejo sostenible de la tierra, es necesario cuantificar las pérdidas de este recurso natural con el objeto de apoyar el establecimiento de políticas para la conservación del suelo. Las técnicas nucleares han demostrado ser muy eficientes como herramienta de cálculo de esta redistribución de suelo, siendo ampliamente empleadas a nivel internacional y también con varias experiencias exitosas en diferentes agrosistemas del país (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14). Estas herramientas poseen varias ventajas al ser aplicables a diferentes ambientes (agrosistemas) (2); con ellas se pueden estimar los niveles erosivos a corto, mediano y largo plazos y se necesita un mínimo de visitas de campo para poder obtener resultados. Sus estimaciones se pueden asociar espacialmente (por puntos de muestreo), lo que facilita su incorporación en mapas y sistemas de información geográficos.

Con el propósito de cuantificar los niveles de redistribución de suelo (erosión/deposición) se aplicó la técnica del ¹³⁷Cs en un área de una cooperativa dedicada a la producción de tabaco, localizada en la llanura suroccidental de Pinar en la provincia Pinar del Río.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN, SITIO EXPERIMENTAL

En el marco del Proyecto Nacional^B se seleccionó un área en un ecosistema altamente degradado, con suelos de tipo Alíticos de bajo contenido arcilloso (Plinthustalf, Soil Taxonomy), en la cooperativa de producción agropecuaria "Jesús Suárez Soca" en el municipio de Consolación del Sur, provincia de Pinar del Río (coordenadas centrales N 22°30'46.1" y W 83°28'22.8").

^A Riverol, M.; Shepaschenko, G.L.; Ronzoni, C. y Castro, N. "Límites permisibles de pérdidas de suelo bajo diferentes sistemas de producción de tabaco en Cuba", *XI Congreso Latinoamericano y II Cubano de la Ciencia del Suelo*, La Habana, Cuba, 1993, pp. 1069-1072.

^B Machín, L.; Novúa, O. y Reyes, R. *Fortalecimiento de capacidades para el planeamiento, la toma de decisiones, los sistemas regulatorios y la sensibilización/Manejo Sostenible de Tierras en ecosistemas severamente degradados. Informe de las actividades realizadas en el periodo 2008-2010*, La Habana, Cuba, 2010, pp. 1-5.

El 42 % (113,79 ha) del área total está afectada por la erosión del suelo, problemática en la que tiene una marcada incidencia la influencia de variados eventos meteorológicos extremos (lluvias intensas, huracanes, etc).

Para estimar la erosión del suelo mediante la aplicación de la técnica de radionúclidos ambientales (¹³⁷Cs) proveniente de la precipitación radiactiva "fallout", fue seleccionado un sitio cultivado con tabaco, dividido en dos sectores (Norte-Sur) de relieve ligeramente ondulado, pero con manifestaciones de niveles de redistribución de suelo diferentes.

Adicionalmente, se evaluó la información (meteorológica, geomorfológica, edafológica y de uso de la tierra), lo cual permitió la selección de un sitio de referencia y dos sectores de estudio con una dimensión de 4 ha, específicamente en el caso del sector Norte es donde se destacan los niveles más altos.

Tomando en cuenta la topografía del sitio y los volúmenes de puntos a muestrear, la estrategia de muestreo se llevó a cabo a través de varias transectas en el área demostrativa y las muestras fueron medidas con un detector de espectrometría gamma. Se dispuso de las metodologías (2, 3) y de los modelos descritos por otros investigadores para caracterizar el estado de la erosión del suelo en el área^C (3, 7, 9, 10, 11, 13, 14).

ESTRATEGÍA DE MUESTREO DE SUELO

En el sitio de referencia se determinó el valor promedio de la densidad areal de actividad para el ¹³⁷Cs, permitiendo así la aplicación de los modelos de conversión, el mismo cumplió como requisitos indispensables la ausencia de erosión del suelo; la cercanía a los sectores de estudio; el bajo nivel de pendiente; la ausencia de uso del suelo desde los años 50 y una cubierta vegetal perenne. Se ubicaron los puntos en una red uniforme con espaciamiento entre puntos cada 5 m como se recomienda en estudios anteriores (8, 9, 13) para poder evaluar el comportamiento de la variable de referencia. La profundidad del muestreo permitió incluir todo el inventario de ¹³⁷Cs presente en el suelo.

Los sectores de estudio se evaluaron mediante ocho transectas en las direcciones de máxima pendiente, la distancia entre puntos fue variable y tomada de acuerdo a las características topográficas del área, variando entre 15 y 40 m. El muestreo se llevó a cabo mediante un muestreador de núcleo, hasta los 40 cm de profundidad (ubicación del ¹³⁷Cs en el perfil del suelo).

^C Walling, D.; Zhang, X. y Quine, H. *Models for Converting Measurements of Environmental Radionuclide Inventories (¹³⁷Cs, Excess ²¹⁰Pb, and ⁷Be) to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation)*, Department of Geography, University of Exeter, Exeter, 2007, pp. 1-182.

En cada punto, se tomaron cuatro muestras para conformar una muestra compuesta, para un total de 104. En el sitio de referencia las muestras se obtuvieron mediante un muestreo a diferentes profundidades (cada 10 cm), para evaluar el comportamiento de la distribución del ^{137}Cs en profundidad.

PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

El objetivo de esta etapa fue preparar las muestras de suelo para las mediciones espectrométricas de los niveles de ^{137}Cs en el laboratorio. Esto se realizó acorde al procedimiento PR/LVRA/03 (Tratamiento de las Muestras del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental). El suelo fue desagregado mecánicamente para su homogenización, secado y tamizado a 2 mm, posteriormente se hicieron mediciones de pesos de las distintas fracciones y la menor de 2 mm se ubicó en beakers Marinelli de 500 mL para la realización de las mediciones espectrométricas.

MEDICIONES DE ^{137}Cs POR ESPECTROMETRÍA GAMMA

La densidad másica de actividad del ^{137}Cs en las muestras de suelo, fueron medidas por un sistema gamma espectrométrico "Silena", usando un detector de germanio hiperpuro (Tipo P) de 21 % de eficiencia relativa.

La geometría seleccionada para las muestras de suelo fueron los beakers Marinelli de 500 mL. El detector se calibró con un estándar de suelo disponible en los registros del laboratorio (PAT/LVRA/09) y el espectro se analizó mediante el software EMCAPLUS versión 2.00.5.

Acorde a los niveles de ^{137}Cs en el suelo, el tiempo de conteo para las muestras se fijó en 60 000 s que permitió un límite de detección de aproximadamente $0,2 \text{ Bq kg}^{-1}$. La densidad másica de actividad (Bq kg^{-1}) para cada muestra se convirtió a la densidad areal de actividad (Bq m^{-2}) para poder aplicar los modelos de conversión para estimar la tasa de redistribución de suelo ($\text{t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$).

Para el desarrollo de las mediciones de las muestras de suelo se empleó la cadena espectrométrica SILENA compuesta por los siguientes elementos:

- ◆ Fuente de bajo voltaje NIM POWER SUPPLY UNIT MOD. PS01-B
- ◆ Amplificador espectrométrico MOD. 7611/L
- ◆ Fuente de alto voltaje MOD. 7715
- ◆ Detector Coaxial de Germanio Intrínseco (HpGe) Tipo-p

Las características de operación del detector HpGe durante la medición de las muestras, se mantuvieron invariables. Las principales características se relacionan a continuación:

- ◆ Voltaje de trabajo: + 3500 Volts DC
- ◆ Shaping time: 6 μsec
- ◆ Ajuste de ganancia: 25
- ◆ Resolución promedio (FWHM): 3 keV en el segundo pico del Co-60 (1332.5 keV)

- ◆ Posición promedio del segundo pico del Co-60: 1332 keV.

Para la calibración en eficiencia del sistema de medición se empleó el patrón de suelo PAT/LVRA/09. La actividad del patrón y otras características de interés se pueden encontrar en el Registro de Patrones del Laboratorio RNP/PRA/LVRA/22.

El valor de eficiencia obtenido para la energía del ^{137}Cs (662 keV) fue de 0.008. Este valor de eficiencia, producto de la nueva calibración, se comparó con la calibración anterior (código: 110ML2000 en el software EMCAPLUS versión 2.00.5) y se observó que los resultados coincidían.

MODELOS DE CONVERSIÓN EMPLEADOS

Las tasas de redistribución de suelo fueron estimadas mediante la aplicación de tres modelos de conversión^c; el Modelo Proporcional (PM), el Modelo de Balance de Masa I (MBM I) y Modelo de Balance de Masa II (MBM II).

El Modelo Proporcional ha sido ampliamente empleado para los suelos cultivados (2, 3, 5, 9, 10), se basa en la premisa de que las precipitaciones de ^{137}Cs se mezclan completamente en la capa de cultivo o de arado y la pérdida de suelo es directamente proporcional al monto de Cesio removido.

La ventaja principal de este modelo es la poca información necesaria para utilizarlo, su mayor desventaja es que si hubo remoción selectiva de la fracción fina del suelo, las tasas de redistribución serán sobrestimadas, pues el ^{137}Cs se asocia con la fracción fina del suelo.

El Modelo de Balance de Masa I toma en cuenta los ingresos o pérdidas de ^{137}Cs del perfil de suelo, en el período en que se estableció la precipitación del Cesio. Evaluándose la progresiva reducción de la concentración ^{137}Cs dentro de la capa de cultivo, debido a la incorporación de suelo conteniendo poco ^{137}Cs proveniente debajo de la capa original de cultivo. Su principal desventaja es que no incorpora la remoción del ^{137}Cs fresco proveniente de las precipitaciones atmosféricas, antes de ser incorporado a la capa de suelo mediante cultivo debido a las lluvias.

El Modelo de Balance de Masa II incorpora la distribución de suelos debido a la labranza, la cual redistribuye también el contenido del ^{137}Cs en el suelo. Este modelo supera las limitaciones de los anteriores, aunque es necesario conocer más parámetros, complicando su empleo.

Los resultados de la aplicación de los modelos se compararon con la estimación de la erosión potencial mediante la evaluación directa de los sectores del estudio (los horizontes guías de suelo, material orgánico, la textura y otras características edafológicas). Un software (Complemento de MSExccl) se empleó para la aplicación de los modelos en la evaluación de la redistribución de suelo en los

sectores del estudio^c. Los principales parámetros utilizados se resumen en la Tabla I, los que se obtuvieron de mediciones del suelo en condiciones de cultivo; los datos de lluvia anual se obtuvieron de la Estación Meteorológica más cercana y otras fueron suministradas por los productores.

Tabla I. Principales parámetros de los modelos.

Parámetros	Unidades	Valor
Densidad del suelo	kg m ⁻³	1390
Precipitaciones anuales	mm	1509
Profundidad del arado	cm	20
Densidad areal de actividad de referencia del ¹³⁷ Cs	Bq m ⁻²	1640
Profundidad de relajación	kg m ⁻²	4
Factor proporcional	-	0,5
Área de muestreo	cm ²	19,6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados principales, obtenidos de los tres modelos para ambos sectores de estudio, se resumen en las Figuras 1 y 2, donde los valores positivos y negativos representan la ganancia y la pérdida de tierra respectivamente.

Existe coincidencia cualitativa para los diferentes modelos; a pesar de que existen variaciones cuantitativas en la redistribución del suelo para los tres modelos evaluados, estos identificaron de igual forma la erosión y la deposición para ambos sectores. El MP (-28,80 a 15,71 t ha⁻¹año⁻¹) y el MBM I (-41,27 a 18,26 t ha⁻¹año⁻¹) la variación cuantitativa más grande. Por otro lado, el MBM II tiene la variación más pequeña (-18,28 a 8,15 t ha⁻¹año⁻¹), estas diferencias se asocian a los diferentes procesos y premisas incorporados en los modelos.

Los resultados muestran un predominio de los fenómenos erosivos en los sectores del estudio (80 %), en la mayoría de los puntos evaluados las proporciones de redistribución estimadas son negativas. De los estudios anteriores en el área^A, la tasa de redistribución del suelo debe variar de 7,0 a -20,0 t ha⁻¹año⁻¹.

El MBM II mantuvo los resultados más cerca de los valores esperados para este tipo de suelo, topografía y cosechas; los valores variaron de 8,15 a 18,9 t ha⁻¹año⁻¹. Este modelo es el más completo comparado con los otros dos (PM y MBM I), ya que toma en cuenta además la variación temporal del ¹³⁷Cs por su incorporación en la precipitación radiactiva y la distribución inicial de esta precipitación radiactiva en la superficie del suelo.

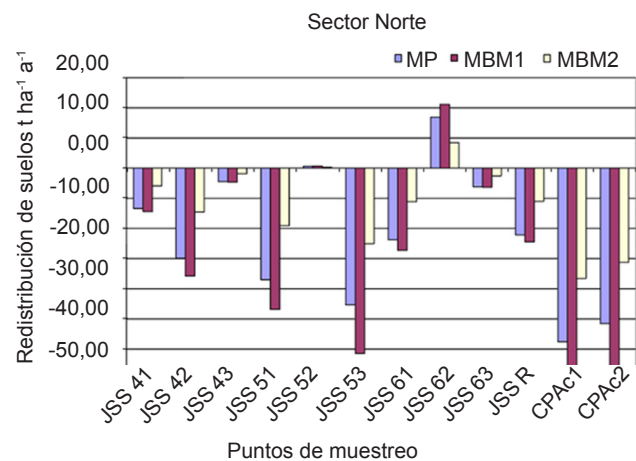


Figura 1. Estimación de la redistribución de suelo según los Modelos de Conversión (sector Norte).

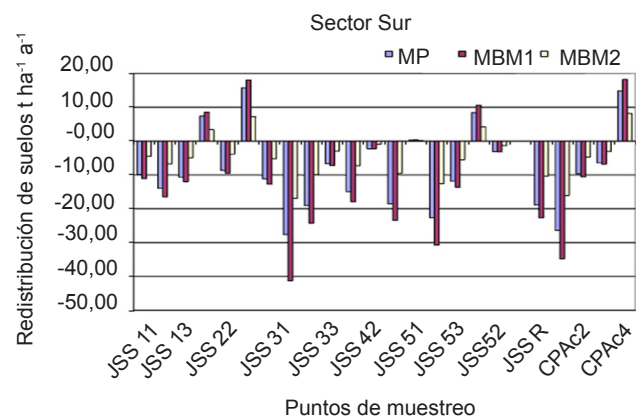


Figura 2. Estimación de la redistribución de suelo según los Modelos de Conversión (sector Sur).

Para el análisis de los resultados se calculó un grupo de parámetros para los dos sectores del área, aplicando los modelos anteriormente explicados (MP, MBM I y MBM II); los cuales permitieron completar, de forma integrada, el análisis cuantitativo de la redistribución de suelos en el área de estudio. La mayoría de estos parámetros son calculados automáticamente por los softwares empleados (Tabla II).

Aunque en ambos sectores, bajo cultivo de tabaco, predominan los procesos erosivos, los resultados muestran que el sector Norte es el más afectado. La erosión neta y la razón de pérdida de sedimento son mayores que en el sector Sur. También se muestra que los valores de deposición son más bajos en el sector Norte. La diferencia podría estar asociada parcialmente a las características de la topografía; la pendiente media en el sector Norte es más grande (3,8 grados) comparado con el sector Sur (1,6 grados).

Tabla II. Resumen de los principales resultados.

Parámetros	Sector Norte	Sector Sur	Total
Área afectada por erosión (m ²)	15472,53	15448,34	30920,8
Erosión media del área afectada (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	-14,56 MP -18,37 MBM I -7,95 MBM II	-14,74 MP -17,79 MBM I -7,62 MBM II	-
Área afectada por sedimentación (m ²)	3656,98	3705,13	7362,1
Sedimentación media en puntos afectados (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	4,37 MP 5,45 MBM I 2,18 MBM II	12,66 MP 14,94 MBM I 6,26 MBM II	-
Área total estudiada (m ²)	19129,51	19153,47	38282,9
Fración área total afectada por erosión	0,8	0,8	0,8
Fración área total afectada por sedimentación	0,2	0,2	0,2
Erosión neta (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	-10,77 MP -13,61 MBM I -5,92 MBM II	-9,26 MP -11,24 MBM I -4,84 MBM II	
Razón de pérdida de sedimentos/área estudiada (%)	89 (para todos los modelos)	77 MP 79 MBM I 80 MBM II	

MP: Modelo Proporcional MBM I: Modelo de Balance de Masa I MBM II: Modelo de Balance de Masa II

Para el MBM II, la Figura 3 muestra una representación espacial de la redistribución de suelo (incluyendo la topografía en el área del estudio), siendo identificada una estrecha relación con las formas del suelo. Los modelos indican una asociación entre la erosión hídrica y la topografía, existiendo deposición en las áreas con las cotas cercanas al cero y la erosión se asocia a otra forma de suelo con las cotas más altas.

La aplicación de esta técnica nuclear mediante el uso del ¹³⁷Cs en el área de estudio, permite caracterizar, de manera eficiente, la proporción de redistribución de suelo. La investigación preliminar confirmó la relevancia de los procesos de erosión hídrica en los sectores del estudio y la diferencia identificada entre

ambos sectores. También se identificaron algunos modelos de distribución espacial de erosión hídrica en el sitio de estudio.

Los resultados confirman la presencia de elevados niveles de pérdidas de suelos asociados a las áreas con cultivo de tabaco evaluadas en el estudio y la necesidad de implementar un programa de medidas antierosivas que permita prever y mitigar los impactos negativos. La relación identificada entre los niveles de redistribución del suelo y la topografía permiten recomendar la incorporación, entre otras acciones correctivas, de la siembra en contornos, el uso de barreras vivas y muertas como acciones para reducir el nivel de la erosión hídrica.

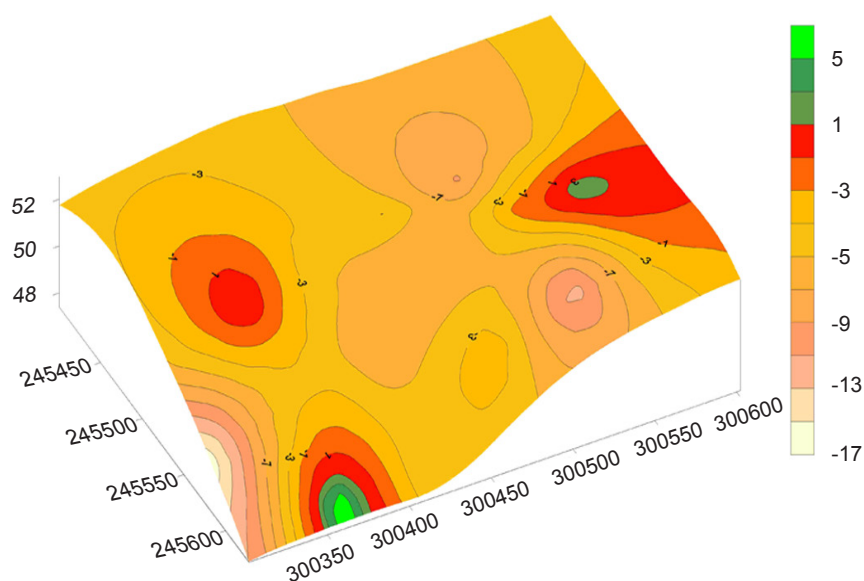


Figura 3. Tasa de redistribución de suelo expresado en (t ha⁻¹año⁻¹), según el Modelo de Balance de Masa II, en el área de estudio (dos sectores).

CONCLUSIONES

- ◆ La aplicación de la técnica nuclear con el uso del ^{137}Cs permitió la caracterización efectiva del estado de erosión del suelo en el área de estudio con plantación de tabaco, siendo el Modelo de Balance de Masa II el que mostró los resultados más representativos.
- ◆ Se identificaron las distintas tasas de redistribución de suelo entre los dos sectores, siendo el sector Norte el más afectado por los procesos de erosión del suelo; lo cual se debió, en parte, a su topografía y pendiente.
- ◆ El sitio de estudio es vulnerable a la erosión, supera en gran parte las $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ que se consideran dentro del límite permisible para estos tipos de suelos y los resultados preliminares muestran el comportamiento espacial de las tasas de redistribución del suelo.
- ◆ Los estudios confirman los niveles elevados de erosión hídrica existentes en áreas de plantaciones de tabaco del occidente del país, mostrando la necesidad de acciones urgentes para revertir esta situación.

RECOMENDACIONES

Deben realizarse estudios suplementarios para obtener resultados más detallados sobre la erosión hídrica en el área de estudio, necesitando el uso de otros radionuclidos (^{210}Pb , ^7Be).

BIBLIOGRAFÍA

1. Riverol, M.; Peña, F. y Fuentes, A. *Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos*, edit. Agrinfor, La Habana, Cuba, 2001, p. 1-40, ISBN 959-246-042-6.
2. Castillo, R.G.; Vital, J.L.P.; González, J.C.; Rosquet, M.R.; Valenti, F.P. y Calcedo, E.C. "Aplicación de las determinaciones de ^{137}Cs para evaluar niveles de erosión en suelos agrícolas del Occidente de Cuba", *Nucleus*, no. 36, 2004, pp. 23-27, ISSN 1982-2278.
3. Mabit, L.; Klik, A.; Benmansour, M.; Toloza, A.; Geisler, A. y Gerstmann, U.C. "Assessment of erosion and deposition rates within an Austrian agricultural watershed by combining ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and conventional measurements", *Geoderma*, vol. 150, no. 3-4, 15 de mayo de 2009, pp. 231-239, ISSN 0016-7061, DOI 10.1016/j.geoderma.2009.01.024.
4. Li, H.; Zhang, X.; Wang, K. y Wen, A. "Assessment of sediment deposition rates in a karst depression of a small catchment in Huanjiang, Guangxi, southwest China, using the cesium-137 technique", *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 65, no. 4, 7 de enero de 2010, pp. 223-232, ISSN 0022-4561, 1941-3300, DOI 10.2489/jswc.65.4.223.
5. Li, S.; Lobb, D.A.; Tiessen, K.H.D. y McConkey, B.G. "Selecting and Applying Cesium-137 Conversion Models to Estimate Soil Erosion Rates in Cultivated Fields", *Journal of Environment Quality*, vol. 39, no. 1, 2010, p. 204, ISSN 1537-2537, DOI 10.2134/jeq2009.0144.
6. Qi, Y.; Liu, J.; Shi, H.; Zhuang, D. y Hu, Y. "Estimation of wind erosion rates of Mongolian Plateau by using ^{137}Cs tracing technique", *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Land Reclamation*, vol. 42, no. 1, 1 de enero de 2010, pp. 197-208, ISSN 1898-8857, 2081-9617, DOI 10.2478/v10060-008-0078-2.
7. Mabit, L. "Erosion/disposition data derived from fallout radionuclides (FRNs) using geostatistics" [en línea], *Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality*, edit. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011, (no. ser. 1665), pp. 185-193, ISBN 978-92-0-113410-3, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1665_web.pdf#page=194>.
8. Rafiq, M.; Ahmad, M.; Iqbal, N.; Tariq, J.A.; Akram, W. y Shafiq, M. "Assessment of soil losses from managed and unmanaged sites in a subcatchment of Rawal dam, Pakistan using fallout radionuclides" [en línea], *Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality*, edit. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011, (no. ser. 1665), p. 73, ISBN 978-92-0-113410-3, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <http://www.researchgate.net/profile/Lionel_Mabit/publication/258517583_Analytical_performance_of_14_laboratories_taking_part_in_proficiency_test_for_the_determination_of_caesium-137_and_total_lead-210_in_spiked_soil_samples/links/00b4952889dc9c9b61000000.pdf#page=82>.
9. Schuller, P.; Castillo, A.; Walling, D.E. y Iroume, A. "Use of Fallout Caesium-137 and Beryllium-7 to Assess the Effectiveness of Changes in Tillage Systems in Promoting Soil Conservation and Environmental Protection on Agricultural Land in Chile" [en línea], *Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality*, edit. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011, (no. ser. 1665), pp. 241-257, ISBN 978-92-0-113410-3, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <[http://www.researchgate.net/profile/Lionel_Mabit/publication/258517498_Erosiondeposition_data_derived_from_fallout_radionuclides_\(FRNs\)_using_geostatistics/links/0deec52889d8622db5000000.pdf#page=250](http://www.researchgate.net/profile/Lionel_Mabit/publication/258517498_Erosiondeposition_data_derived_from_fallout_radionuclides_(FRNs)_using_geostatistics/links/0deec52889d8622db5000000.pdf#page=250)>.
10. Sibello Hernández, R.Y. y Febles González, J.M. "Estudio de la erosión de los suelos en áreas protegidas de Cienfuegos, utilizando el cesio 137 como radiotrazador", *Nucleus*, no. 50, diciembre de 2011, pp. 31-35, ISSN 0864-084X.
11. Guzmán, G.; Quinton, J.N.; Nearing, M.A.; Mabit, L. y Gómez, J.A. "Sediment tracers in water erosion studies: current approaches and challenges", *Journal of Soils and Sediments*, vol. 13, no. 4, 27 de febrero de 2013, pp. 816-833, ISSN 1439-0108, 1614-7480, DOI 10.1007/s11368-013-0659-5.

12. Iurian, A.R.; Mabit, L.; Begy, R. y Cosma, C. "Comparative assessment of erosion and deposition rates on cultivated land in the Transylvanian Plain of Romania using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ", *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 125, noviembre de 2013, (ser. 6th International Symposium on In Situ Nuclear Metrology as a Tool for Radioecology (INSINUME 2012)), pp. 40-49, ISSN 0265-931X, DOI 10.1016/j.jenvrad.2013.02.009.
13. Porto, P.; Walling, D.E. y Capra, A. "Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ measurements and conventional surveys to investigate the relative contributions of interrill/rill and gully erosion to soil loss from a small cultivated catchment in Sicily", *Soil and Tillage Research*, vol. 135, enero de 2014, pp. 18-27, ISSN 0167-1987, DOI 10.1016/j.still.2013.08.013.
14. Walling, D.E.; He, Q. y Zhang, Y. *Conversion Models And Related Software* [en línea], edit. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Soil and Water Management and Crop Nutrition Section, Vienna, Austria, 2014, p. 226, ISBN 978-92-0-105414-2, [Consultado: 20 de septiembre de 2015], Disponible en: <http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:46017610>.
15. Gil, R.; Peralta, J.L.; Carrazana, J.; Riverol, M.; Peña, F. y Cabrera, E. "Metodología para evaluar la erosión en suelos cultivados, aplicando la técnica del ^{137}Cs ", *X Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*, edit. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba, 2004, pp. 1-13, ISBN 959-7136-24-4.

Recibido: 14 de enero de 2014

Aceptado: 12 de diciembre de 2014

¿Cómo citar?

Gil, R. H.; Peralta, J. L.; Carrazana, J.; Riverol, M.; Aguilar, Y.; Morejón, Y. M.; Oliveira, J. y Fleitas, G. "Utilización de técnicas nucleares para estimar la erosión hídrica en plantaciones de tabaco en Cuba" [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 7-13. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <----->.