

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EROSIVO DE LAS CUENCAS EN LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS, CUBA.

Minerva Sánchez Llúll¹, Alain Muñoz Caravaca², Laura Castellanos Torres³

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Cuba. Tel:525478, 511889. Ext 109
minerva@gestion.ceac.cu

² Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Cuba. Tel:525478, 511889. Ext 101
alain@gestion.ceac.cu

³ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Cuba. Tel:525478, 511889. Ext 109
laura@gestion.ceac.cu

RESUMEN

La Bahía de Cienfuegos recibe el aporte de cuatro ríos que lavan zonas de desarrollo agropecuario e industrial arrastrando hacia este ecosistema sedimentos resultantes de la erosión de los suelos y las cargas contaminantes que son acumuladas en estos. Aunque se han realizado mediciones de la calidad de las aguas en los efluentes que arriban al ecosistema, estas han sido dirigidas fundamentalmente a estimar el impacto de fuentes puntuales de contaminación y no se conoce ni puede ser pronosticada la carga cuyo origen es difuso y parte esencialmente de los procesos erosivos en las cuencas tributarias. En el presente trabajo se implementó el modelo matemático hidrológico N_SPECT (Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tools) el cual es una herramienta instalada en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS, utilizando como insumos de entrada las capas geográficas de cobertura de suelo, tipo de suelo, promedio de precipitación anual y el modelo digital de elevación (DEM). Se ejecutó el modelo para el escenario de cobertura terrestre actual y a partir de las capas geográficas obtenidas se pudo evaluar la descarga de sedimentos que aportan las cuencas de la provincia de Cienfuegos. Los resultados del N_SPECT constituyen una herramienta para los administradores de recursos en el momento de tomar decisiones acerca de la calidad del agua y qué áreas deben ser atendidas para su mejora, así como a predecir los impactos de las decisiones de gestión en la calidad del agua de la bahía cienfueguera.

Palabras Claves: Modelo N-SPECT, erosión, gestión, calidad agua, cuenca, SIG.

INTRODUCCIÓN

El uso apropiado de suelo es esencial en el manejo integrado de las cuencas hidrológicas para poder minimizar el transporte de sedimentos, nutrientes, y otros contaminantes a las zonas costeras. Los procesos erosivos son hoy una de las mayores preocupaciones de los pueblos por cuanto pone en peligro la sostenibilidad alimentaria profundizando la crisis económica y el incremento de los precios de los alimentos.

En Cuba el 70% de los suelos se ve afectado por problemas de erosión, salinidad y acidez (CITMA 2010). Según el “Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en la Republica de Cuba”, *el país está afectado por la desertificación en un 14 % de su territorio (1580 996 Ha), 14.1 % afectado por la salinidad; 23.9 % por la erosión; en 14.5 % actúan ambos factores a la vez; el 7.7 % presenta la degradación de la cubierta vegetal y con drenaje deficiente existen 40 000 Km² aproximadamente, equivalentes al 37 % del territorio nacional. Esto significa que de 0,60 Ha que corresponde a cada habitante, está afectada, en distintos grados, por los factores degradativos señalados, (CITMA, 2000).*

La provincia de Cienfuegos, no escapa a este problema ambiental de nivel nacional, estudios recientes revelan la importancia de la pérdida de suelos en la provincia, por ejemplo; Sibello determinó tasas de erosión entre 20 y 37 T/ha/año en la cuenca del río Yaguanabo y la zona de Barajagua, con el uso de técnicas nucleares y el empleo de los radiotrazadores ¹³⁷Cs y ²¹⁰Pb (Sibello y col., 2006, 2011). Alonso y col., 2006; concluye que la tasa de sedimentación en los últimos 50 años se ha duplicado en la Bahía de Cienfuegos y asume entre las causas fundamentales los procesos erosivos relacionados con el crecimiento agroindustrial y urbano en las cuencas tributarias a la bahía.

El desarrollo actual de la modelación numérica y los sistemas de información geográficas permite implementar modelos hidrológicos para producir información, evaluar amenazas, diagnosticar o pronosticar el impacto que los diferentes usos de los suelos y opciones de desarrollo pueden tener sobre la calidad de las corrientes fluviales y las cuencas en general.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es identificar las cuencas hidrológicas más vulnerables a la erosión y aquellas que aportan la mayor cantidad de sedimentos a la Bahía de Cienfuegos a partir de los resultados obtenidos con la implementación del modelo hidrológico Herramienta de Comparación de la Erosión y la Contaminación por Fuentes

No Puntuales (*Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool - N-SPECT*), desarrollada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (*US National Oceanographic and Atmospheric Administration – NOAA*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo Hidrológico N-SPECT

N-SPECT es un programa de dominio público que corre como una extensión opcional dentro del programa ArcMap de ESRI. Esta herramienta combina información del ambiente físico (elevación, inclinación, suelos, precipitación y cobertura terrestre) para derivar estimaciones de fuentes de descarga, erosión y contaminantes (Nitrógeno, Fósforo, Zinc, Plomo y Total de Sólidos Suspendidos) a través del terreno, así como también estimaciones de acumulación y concentración de sedimentos y contaminantes en las corrientes y redes fluviales. N-SPECT fue implementado a una resolución de 30 m para la provincia de Cienfuegos. Esto quiere decir que el modelo evalúa cada celda de la rejilla con una resolución de 30 m (0.75 hectáreas) en relación con su contribución a la escorrentía, sedimentos, y descarga de contaminantes dentro de la cuenca hidrológica.

Base de datos de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Las bases de datos requeridas para implementar N-SPECT son: elevación, tipos de suelos, precipitación y cobertura terrestre. Todas las bases de datos geográficas utilizadas en el análisis hidrológico se encuentran en el Sistema de Coordenadas *Lambert Conformal Conic*, con una proyección NAD1927 para Cuba y están diseñadas a una escala 1:25000.

Los insumos utilizados en el análisis hidrológico incluyen:

- 1) **Modelo Digital de Elevación** – Se obtiene a partir de la capa digital de la topografía del terreno.
- 2) **Capa digital de polígonos de Suelos** – Esta capa es facilitada por la Delegación Provincial de Suelos en Cienfuegos. Los polígonos correspondientes al municipio Cumanayagua estaban sin información y nuestro Laboratorio de SIG se encargó de actualizarlos a partir de una base de datos en formato Access que contenía los datos de toda la provincia.
- 3) **Raster de precipitación** – Se diseña a partir de los datos de promedio de precipitaciones anuales contenidos en la base de datos del Instituto de

Meteorología de Cienfuegos. La misma tiene en cuenta a 52 estaciones de muestreo distribuidas en toda la provincia.

- 4) **Raster de cobertura terrestre** – Se cuenta con la capa de polígonos de cobertura terrestre. En la misma reclasificamos los valores gridcode según el conjunto de datos del programa de Análisis de Cambio Costero (Coastal Change Analysis program) C-CAP. Estos valores son producidos por el Centro de Servicios Costeros de la NOAA y son considerados la fuente por defecto para los datos de cobertura del suelo para usar con N-SPECT. La descripción de este código se encuentra en la Tabla1. Esta capa modificada se convierte a raster para ejecutar el N-SPECT.

El modelo N-SPECT puede ser utilizado para evaluar descargas anuales o de acontecimientos específicos y puede ser modificado para evaluar estas descargas de manera mensual. Esta herramienta puede calcular la acumulación de descarga, sedimentos, o contaminantes en el terreno (esta es una función típica) o calcular “efectos locales”; es decir: cuánto sedimento, contaminantes o escorrentía provienen de cada celda de la retícula. N-SPECT evalúa la erosión anual de cada celda de la retícula basándose en la ecuación universal revisada de pérdida de suelos (*Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE) desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*US.Department of Agriculture*). RUSLE combina la inclinación, precipitaciones, suelo y cobertura terrestre para estimar las pérdidas del suelo anuales para esa localidad.

Ecuación RUSLE

Promedio anual de pérdida de suelos (Toneladas/acres) = $R * K * L * S * C * P$

R – Factor de erosividad de la descarga pluvial

K – Factor de erodibilidad del suelo

*L*S* – Factor de inclinación de la pendiente

C –Factor de administración de cobertura

P – Factor de prácticas de apoyo

Factor LS – Este factor ajusta las tasas de erosión en base a la topografía, asignando tasas más altas o más largas a las pendientes más inclinadas y tasas menores o más cortas a las pendientes menos inclinadas. Inclinación de la pendiente (S) y largo de la pendiente (L) derivadas del DEM y N_SPECT. La combinación de ambos resulta en una sola capa de SIG para el Factor-LS.

Factor K – El factor de erodibilidad del suelo (Factor-K), el cual se traduce en la facilidad con que son arrancadas las partículas (susceptibles del arrastre) de sus agregados, ya sea por impacto de la gota o por el flujo de agua en la superficie. Este factor es un parámetro promedio integrado basado en varios procesos erosivos e hidrológicos diferentes. Un Factor-K bajo (alrededor de 0.05 a 0.2) indica una resistencia alta a la erodibilidad y un Factor-K alto (alrededor de 0.4 o más) indica un suelo muy erosivo. Este factor no estaba determinado, para la provincia de Cienfuegos, en la base de datos de la Delegación de Suelos. El método para obtenerlo se describe más adelante.

Factor R – Es el factor de erosividad de las precipitaciones, elemento causante del fenómeno de erosión hídrica. Representa el promedio anual de los efectos erosivos que tienen las tormentas, y está basado en un índice de erosividad (EI); el EI se calcula a partir de la energía cinética de las tormentas y su intensidad máxima durante 30 minutos. Esta información no estaba determinada para la provincia de Cienfuegos, por lo que se aplica un método alternativo para estimar el Factor-R, que se describe más adelante en este trabajo.

Factor C – Cada tipo de cobertura terrestre, por ejemplo bosques, praderas, o tierra apta para cultivos, tiene un factor asociado con la cobertura, o un Factor-C. Este factor es el grado de erosividad relacionado con cada tipo de cobertura terrestre. Las tierras cultivadas, con un Factor-C de 0.240 están calificadas como sesenta veces más erosivas que los bosques, que tiene un Factor-C de 0.004. Los Factores-C para la cobertura terrestre en este análisis se adaptaron los Factores-C provistos por NOAA en N-SPECT, Tabla 1.

Factor P – RUSLE incluye un factor de prácticas de apoyo o Factor-P, que permite incluir la gran influencia de que ejercen algunas prácticas de conservación (como siembra de surcos y agricultura de terrazas) que controlan o mitigan la erosión. El factor y módulo de “Prácticas de apoyo” no se encuentran disponibles en la versión actual de N-SPECT. Por este motivo, el análisis se enfocó en los efectos de los cambios en cobertura terrestre en descarga de sedimentos contaminantes en la boca de los ríos adyacentes a la bahía de Cienfuegos.

Tabla 1. Coeficientes del Factor-C en N-SPECT

Código	Categoría de cobertura	Factor de cobertura
C-CAP	terrestre	(Cover-Factor)

2	Baja intensidad desarrollada	0
3	Baja intensidad desarrollada	0.030
4	Tierras cultivadas	0.240
5	Praderas	0.050
7	Bosques	0.004
9	Matorrales	0.014
10	Bosques de humedales	0.003
16	Playa no consolidada	0.500
17	Terreno descubierto	0.700
18	Agua	0

Fuente: Renard y col., 1996.

Factor R: Este factor se derivó utilizando una ecuación empírica de regresión en función de las precipitaciones anuales determinada para 11 estaciones meteorológicas de Puerto Rico (Del Mar López et al., 1998) que establece:

$$R = (0.2629 * [\text{precipitación en mm}]) - 11.06$$

El cálculo del factor R está representado en unidades métricas (Sistema Internacional) (Megajoule * milímetros / hectáreas * horas * año). Sin embargo, el sistema de unidades utilizado por defecto por el modelo N-SPECT es el sistema inglés (cientos de pies * Toneladas de fuerza * pulgadas / acres * horas * año). Las unidades del sistema métrico decimal fueron convertidas al sistema métrico inglés dividiéndolas entre 17.02, Renard y col., 1996.

Factor K: Este factor se obtuvo evaluando su relación con la clasificación de texturas de suelos (dato que sí teníamos identificado en la base de datos de suelos), usando los valores recomendados por Stewart y considerando que la materia orgánica es menor que el 4% (Stewart y col., 1975). Estos valores se adicionan, como un nuevo campo, a la capa digital de Suelos.

Modelos de Escorrentía y Descarga de Contaminantes

El modelo N-SPECT evalúa la escorrentía basándose en las características del suelo, la cobertura terrestre, la topografía y la precipitación. Los cálculos de escorrentía están basados en curvas desarrolladas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; estas curvas reflejan la permeabilidad general de un tipo de suelo determinado. Las curvas también están asociadas con la clasificación del Grupo Hidrológico del Suelo (A, B, C ó D), el cual es una medida del potencial del drenaje, o del grado de filtración que puede tener el suelo. Los suelos en el grupo A (típicamente arena o gravilla) tienen el más alto potencial de infiltración; o sea poseen buen drenaje, mientras que suelos en el Grupo D (típicamente suelos de arcilla) tienen el más bajo potencial de infiltración con tendencia a inundarse. Los suelos del grupo B (típicamente loam) tienen una razón de infiltración moderada y los suelos del grupo C (típicamente arcilla arenosa) tiene una razón de infiltración baja. Los grupos hidrológicos son atributos contenidos en la base de datos de suelos del grupo SOTERLAC (*Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean*). Las curvas de permeabilidad dependen también de los tipos de cobertura terrestre. El modelo N-SPECT selecciona automáticamente las curvas para calcular la escorrentía basándose en las combinaciones del grupo de suelo hidrológico y los grupos de cobertura terrestre en cada celda de la retícula, Tabla 2.

Atendiendo a la clasificación de textura de suelos, se adiciona un nuevo campo a la base de datos de Suelos correspondiente a los grupos hidrológicos del suelo.

Tabla 2. Coeficientes de curvas de descarga usados por el modelo N-SPECT por tipo de cobertura terrestre y grupo de suelo hidrológico.

Código	Categoría de cobertura terrestre	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
C-CAP					
2	Baja intensidad desarrollada	0.89	0.92	0.94	0.95
3	Baja intensidad desarrollada	0.61	0.75	0.83	0.87
4	Tierras cultivadas	0.67	0.78	0.85	0.89
5	Praderas	0.39	0.61	0.74	0.8
7	Bosques	0.3	0.55	0.7	0.77
9	Matorrales	0.3	0.48	0.65	0.73
10	Bosques de humedales	0	0	0	0
16	Playa no consolidada	0	0	0	0

17	Terreno descubierto	0.77	0.86	0.91	0.94
18	Agua	0	0	0	0

Fuente: *Urban Hydrology for Small watersheds TR-55, USDA-NRCS*

N-SPECT evalúa la cantidad de contaminantes basados en la escorrentía, cobertura terrestre, y topografía. Los coeficientes que representan las contribuciones de cada clase de cobertura terrestre a la descarga de contaminantes (nitrógeno, fósforo y total de sólidos suspendidos) son capturados en un banco de datos de cobertura terrestre como una medida aproximada de la cantidad de contaminantes. Estos coeficientes reflejan el promedio de concentración de contaminantes en cada tipo de cobertura terrestre y provienen de estudios e investigaciones publicadas por NOAA y están incluidos en el modelo N-SPECT. Esto quiere decir que el modelo puede ser más preciso utilizando estos coeficientes de contaminantes de derivados locales.

Delineación de cuencas hidrológicas

Las cuencas hidrológicas son una unidad esencial de este análisis, ya que constituyen el enlace entre un área terrestre con la corriente y la red fluvial, y el punto de descarga en el mar. Las cuencas hidrológicas fueron delineadas a partir de un modelo de elevación digital (*Digital Elevation Model* - DEM) corregido a una resolución de 30 m. El DEM se diseñó a partir de la capa geográfica de elevación del terreno de la provincia de Cienfuegos suministrada por el Grupo Empresarial Geocuba.

Descargas Anuales

Para la provincia Cienfuegos se evaluaron las descargas anuales, el modelo NSPECT fue utilizado para evaluar la vulnerabilidad, la escorrentía anual y la descarga de sedimentos asociados con el escenario de cobertura actual, (2008, año de referencia)

Escenario de precipitación anual.

Se utiliza como base una cuadrícula del promedio de lluvia anual. Se establece el número de días lluviosos por año en 60 días y esto indica el número promedio de tormentas que ocurren en un período de un año. El tipo de lluvia en la región de análisis está descrito para cuatro distribuciones sintéticas de lluvia en 24 horas desarrollada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) de los Estados Unidos de América. El modelo se corrió seleccionando el “tipo de lluvia III”, ya que representa de mejor manera las áreas donde ocurren tormentas tropicales por períodos mayores de 24 horas.

Vulnerabilidad del Terreno a la Erosión

Se evalúa la vulnerabilidad del terreno a la erosión en base a la inclinación de la pendiente, la erosividad del suelo y la precipitación anual. Esta simplificación de la ecuación RUSLE utilizada en el modelo N-SPECT excluye a la cobertura terrestre o su manejo. En su lugar se enfoca en el paisaje físico, sin considerar la alteración humana. Provee una indicación del potencial de erosión natural. Esto permite identificar áreas vulnerables en donde tendría que evitarse la conversión a una cobertura terrestre con más erosividad; o en áreas que ya han sido convertidas y que es necesario implementar mejores prácticas de manejo. (Burke y col., 2009)

Ecuación 2: Vulnerabilidad de la tierra a la erosión

$$\text{Vulnerabilidad} = R * K * S^{\text{exponente } 0.6}$$

R – Factor de erosividad pluvial

K – Factor de erodibilidad del suelo

S – Inclinación de la pendiente (en grados)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grado de erosión de los suelos está relacionado con la compleja interacción entre topografía, geología, clima, vegetación, uso de la tierra y las acciones que el hombre desarrolla en su espacio de desarrollo. En la provincia de Cienfuegos, el factor de Erodibilidad del Suelo tiene rango 0 – 0.38, siendo el máximo de esta escala 0.68. El factor K alcanza los mayores valores en la región suroriental de la provincia que agrupa la parte sur de la cuenca del río Caunao y todas las ubicadas en el macizo de Guamuhaya cienfueguero. En la región central de la provincia este factor alcanza los valores más bajos, las cuales agrupan fundamentalmente las cuencas de los ríos Damují y Salado, Figura 1. Al este se observa un comportamiento variable y en todos los casos responde como factor fundamental la textura del suelo. En la zona sur oriental de la provincia los suelos son loam, mientras que en el resto de la provincia son suelos arcillosos.

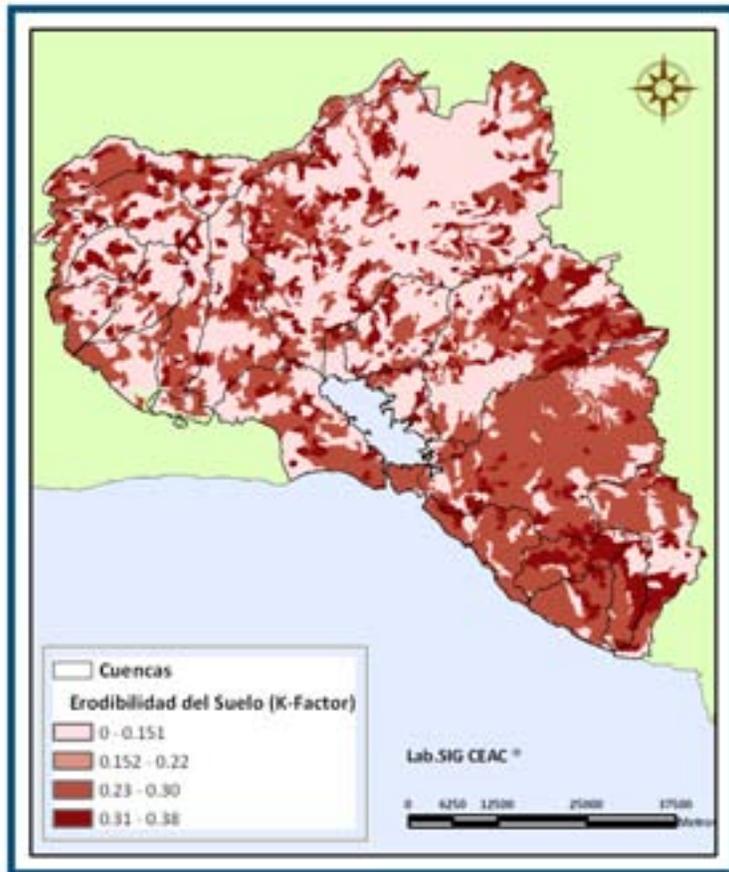


Figura 1. Factor de erodibilidad del suelo.

El mapa de distribución del factor R muestra que la zona de mayor erosividad por efectos de las precipitaciones se localiza en las montañas del macizo de Guamuhaya, dado en lo fundamental por el incremento de la pendiente que favorece en igual medida el incremento del momento del suelo, las aguas y las partículas que son arrastradas. El valor más bajo se alcanza en la zona central de la provincia, rodeando toda la Bahía de Cienfuegos, Figura 2.

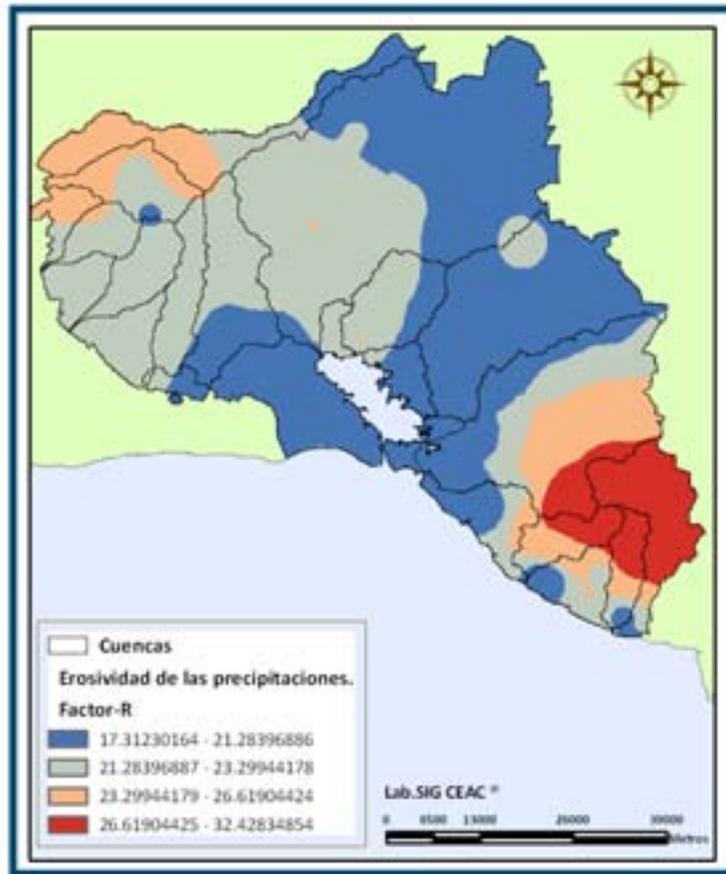


Figura 2. Factor de erosividad pluvial.

El mapa del potencial erosivo obtenido muestra que las cuencas en la región suroriental de la provincia son las que aportan la mayor cantidad de sedimentos producto de los procesos erosivos que en ellas se desarrollan, alcanzado un máximo de 306 557 T/año de suelo en la cuenca del río Arimao, disminuyendo progresivamente en el Caunao, el Damují y el Salado con valores de 48957,32; 33363,68 y 4760,93 T/año respectivamente. Las cuencas del Arimao y el Caunao tiene un potencial erosivo que es un orden superior al de las cuencas del Damují y el Salado juntas, Figura 3.

Los valores estimados de descarga de sedimento en la desembocadura de los ríos indican los patrones relativos y el orden de magnitud de la erosión en cada cuenca, pero no deben ser usados como valores exactos o absolutos. Los valores estimados de producción y descarga de sedimento por cada cuenca hidrológica parecen ser altos, sin embargo la cantidad total de sedimentos que llegan a la Bahía de Cienfuegos desde sus cuencas a partir del modelo hidrológico aplicado es 393637 T/m²año, que representan una tasa de sedimentación de 0,43 g.cm²año. Esta tasa de sedimentación que es la razón simple entre la carga de sedimentos y el área de la bahía, está en el orden de la obtenida experimentalmente por Alonso y col., 2006 en testigos de

sedimentos del lóbulo norte y sur de la bahía, que son $0,50 \text{ g.cm}^2\text{año}$ y $0,30 \text{ g.cm}^2\text{año}$ respectivamente.



Figura 3. Potencial erosivo y descarga de sedimentos a la Bahía de Cienfuegos.

CONCLUSIONES

El modelo hidrológico aplicado representa adecuadamente las cuencas que conforman el territorio de la provincia de Cienfuegos y también los procesos erosivos que en ellas se desarrollan.

Los valores de potencial erosivo estimados, son útiles para examinar los patrones relativos y las implicaciones de los diferentes escenarios de políticas que deseen implementarse ya que las estimaciones del porcentaje de cambio son válidas.

Es posible utilizar los resultados de esta herramienta de diagnóstico para promover el uso, por parte del gobierno local y las instituciones responsables de los recursos, de “mejores prácticas de manejo” y reducir con ello los impactos en las costas y los recursos marítimos, en particular en la Bahía de Cienfuegos.

REFERENCIAS

1. Alonso-Hernández C, Díaz-Asencio M, Muñoz-Caravaca A, Papucci C, Delfanti R, Ferretti O. **Recent change in sedimentation regime in Cienfuegos bay, Cuba, inferred from 210 Pb and 137 Cs vertical profiles.** Continental Shelf Research, 26, 153-167. 2006.
2. Blaszczyński, J. 2003. **Estimating Water-shed Runoff and Sediment Yield Using a GIS Interface to Curve Number and MUSLE Models.** Resources Notes. No. 66
3. Burque L, Sugg Z. 2009. **Modelamiento Hidrológico de la Descarga de las Cuencas Hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano.** Alianza para el Arrecife Mesoamericano de ICRAN (ICRAN-MAR)
4. CITMA. 2000. **Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba.** La Habana.
5. CITMA. 2010. Estrategia Ambiental Nacional.
6. Del Mar López T, Mitchell A, SCATENA F.N. 1998. **The Effect of Land Use on Soil Erosion in the Guadiana Watershed in Puerto Rico.** Caribbean Journal of Science, Vol. 34, No. 3-4, 298-307.
7. Gonzalez del Tanago, M. & Redondo, J. 1989. **Evaluation of the topographic factors L, S of the universal soil-loss equation in the "Conca de Tremp" (Spain).** Proc. 9th Annual AGU Front Range Branch Hydrology Days, Colorado State University, edited by H. J. Morel-Seytoux & J. C. Loftis, 169-180.
8. Renard K.G, Foster G.R, Weesies G.A, McCool D.K, Yoder D.C. 1996. **Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook Number 703, 404 pp:327. Disponible en: www.ott.wrcc.osmre.gov/library/hbmanual/rusle703.htm

9. Sibello-Hernández R, Cartas-Aguila H, Martín Pérez, J. 2006. **Cuantificación de la erosión de los suelos de la subcuenca de Barajagua, usando el Cs-137 como radiotrazador** . Revista Nucleus. Vol. 38, pp 41.
10. Sibello-Hernández R, Cartas-Aguila H, Martín Pérez, J. 2011. **Estudio de la erosión en la Cuenca del Río Yaguanabo usando al Cesio-137 como radiotrazador**. Memorias Congreso NURT-2011. La Habana.
11. Stewart, B. A., D. A. Woolhiser, J. H. Caro, and M. H. Frere. 1975. **Estimating Potential Erosion**. In Control Of Water Pollution From Cropland. Vol 1, 7-25. U. S. Environmental Protection Agency Report No EPA-600/2-75-026a or USDA Report No ARS-H-5-1. Washington, DC.
12. NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration. 2004. **Nonpoint source pollution and erosion comparison tool NSPECT, User's Manual**.
13. USDA U. S. Department of Agriculture. 1996. **Urban Hydrology for Small Watersheds Technical Release 55**, 210-VI-TR-55 Second Ed.
14. Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses. A guide for conservation planning**. USDA Agric. Handbook no. 537, Washington DC, USA.
15. Wenfu P., Jieming Z., Zhengwei H, Cun-jian Y. 2006. **Spatial Analysis, Integration, Analytical Photogrammetry, Data Integration, Hazard Mapping**