

DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE EROSIÓN DE SUELOS APLICANDO ANÁLISIS SIG PARA LA LOCALIDAD DE SAN ANDRÉS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO

J. R. Díaz-Rivera¹; D. Pérez-Costa²;
Y. Rodríguez-Álvarez³; J. M. Febles-González⁴

¹Universidad de Pinar del Río, Cuba. Correo-e: reynaldojrd@af.upr.edu.cu

²Universidad de Pinar del Río, Cuba. Correo-e: dperez@af.upr.edu.cu

³Universidad de Pinar del Río, Cuba. Correo-e: chinolinux@hispavista.com

⁴Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Correo-e: jmfebles@unah.edu.cu

RESUMEN

En la parte occidental de la Sierra de los Órganos (localidad de San Andrés, provincia de Pinar del Río) predominan suelos Ferralíticos Rojos lixiviados en condiciones de ladera. Su exposición a los procesos erosivos es evidente. Sin embargo, son insuficientes las referencias sobre evaluación de la influencia de las condiciones naturales en estos procesos. En el presente estudio se han determinado índices de riesgo de erosión actual e índices de riesgo de erosión potencial sobre datos publicados en 1989 (Departamento de Suelos del Ministerio de la Agricultura, 1989) y obtenidos en el campo en 2005. Se crearon mapas de suelos con base en estos índices utilizando herramientas SIG. Los resultados permiten comprobar una tendencia a favor de la morfogénesis y hacen predecible un comportamiento similar en los próximos años con las actuales prácticas de uso del suelo.

PALABRAS CLAVE: suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, riesgo de erosión actual, riesgo de erosión potencial, mapas de suelos.

DETERMINATION OF SOIL EROSION INDEXES APPLYING GIS ANALYSIS TO THE LOCALITY OF SAN ANDRÉS IN THE PROVINCE OF PINAR DEL RÍO.

SUMMARY

In the occidental section of Sierra de los Órganos (locality of San Andrés, province of Pinar del Río) most of its soils are red ferralitic leached in hillside condition. Its exposure to erosive processes can be verified. However, there are not enough references about assessment of natural factors influence over those processes. Through the present work there have been calculated potential and current erosion risk indexes taking published data in 1989 (Departamento de Suelos del Ministerio de la Agricultura, 1989), and gathered data by fieldwork in 2005. These indexes were used for soil maps construction by mean of GIS tools. The results show a trend to morphogenesis and make predictable a similar behavior in the next several years whether following the current land use customs.

KEY WORDS:

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras se ve amenazada por su degradación, que crea grandes dificultades para producir alimentos demandados por la creciente población mundial, especialmente en los países en desarrollo. La degradación se produce por la erosión, compactación y pérdida de fertilidad. Indirectamente tiene efectos por los riesgos crecientes de inundaciones,

deslizamientos de tierras y disminución de la diversidad.

Los suelos ferralíticos rojos lixiviados en el sector occidental de la Sierra de los Órganos figuran entre el más pobre desde el punto de vista agrícola y de fertilidad en Cuba, que unido a la complejidad del relieve y el alto índice de precipitaciones crean condiciones favorables para su rápido deterioro. La información sobre los suelos de esta región es escaso. Los mapas editados en 1989 contienen una

descripción de los suelos con índices de erosión generales que no tienen en cuenta la complejidad en el balance de procesos pedogénicos y morfogénicos a nivel local.

La falta de información sobre los procesos erosivos a nivel local impide evaluar objetivamente las tendencias en el riesgo de erosión actual y potencial, y limita las posibilidades de planificación y aplicación de técnicas de conservación del suelo que sean efectivas bajo estas condiciones (Colotti, 1999). La base metodológica para responder a esta problemática es el empleo de modelos de predicción a través del análisis de los datos disponibles para diferentes periodos.

El presente estudio aborda la determinación, en dos periodos, de índices de erosividad, erodabilidad, topografía y cubierta vegetal, para calcular riesgos de erosión actual y potencial mediante el método de determinación de riesgos de erosión y calidad del suelo CORINE (CORINE, 1992). Con base en la distribución espacial de los valores de los índices se construyeron mapas mediante herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), sobre la plataforma ArcInfo 8.3, que permitieron comparar la tendencia pedo-morfogénica. El objetivo general consiste en hacer disponibles estos resultados en forma de mapas de suelo para su uso por decisores de diferentes ámbitos como autoridades políticas y proyectos de investigación en ejecución.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología CORINE aporta un modelo del cual se utiliza el procedimiento para calcular cuatro índices relacionados con el comportamiento de los elementos: erosividad (a partir de la intensidad y cantidad de precipitaciones), erodabilidad (a partir de la profundidad, textura y pedregosidad de los suelos), topografía (a partir de las pendientes) y cubierta vegetal. A partir de ellos se calculan los índices de riesgo de erosión actual y riesgo de erosión potencial.

Erosividad

$$\text{Índice de Erosividad} = \text{Clase de Variabilidad}$$

La clase de variabilidad se determina primero calculando el Índice de Fournier modificado (Fournier, 1960), por la fórmula:

$$FI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{\bar{P}} \quad \text{Donde. } P_i^2 : \text{Precipitación total en el mes } i.$$

$$\bar{P} : \text{Precipitación total media anual.}$$

Se clasifican como clase 1 (muy baja) los valores de FI menores que 60, como clase 2 (baja) los valores entre 60

y 90, clase 3 (moderada) entre 90 y 120, clase 4 (alta) entre 120 y 160, y clase 5 (muy alta) mayores de 160.

Erodabilidad

$$\text{Índice de Erodabilidad} = \text{Clase de Textura} \times \text{Clase de Profundidad} \times \text{Clase de Pedregosidad}$$

La clase de textura clasifica como clase 1 (ligeramente erodible) los suelos de composición arcilloso, arcilloso arenoso, arcilloso limoso; clase 2 (moderadamente erodible) los suelos de composición *loam arcilloso arenoso, loam arcilloso, loam arcilloso limoso, loam arenoso, arenoso*; y clase 3 (altamente erodible) los suelos *loam, loam limoso, limoso, loam arenoso*.

La clase de profundidad es clase 1 (ligeramente erodible) en suelos de profundidad del horizonte mayor que 750 mm, clase 2 (moderadamente erodible) en suelos de profundidad entre 250 y 750 mm, y clase 3 (altamente erodible) en suelos de profundidad menor 250 mm.

La clase de pedregosidad es clase 1 (completamente protegido) cuando el porcentaje de cobertura de piedras del suelo es mayor del 10 %, y clase 2 (no completamente protegido) cuando es menor del 10 %.

Topografía

A cada punto del terreno descrito por un par de coordenadas x, y se le calcula el índice de pendiente, que es la pendiente en el punto expresada en porcentaje. Es igual a 1 (de ondulado a plano) cuando el porcentaje es menor que 5, 2 (ondulado) cuando oscila entre 5 y 15, 3 (empinado) si varía entre 15 y 30, y 4 (muy empinado) para porcentajes mayores de 30.

Cubierta vegetal

Se establece el índice de cubierta vegetal por un sistema sencillo (binario) de clasificación donde se asigna 1 (totalmente cubierta) si el suelo está ocupado por *bosques, pastos permanentes y malezas*, y 2 (no totalmente cubierta) si se usa como *tierras cultivadas o en barbecho*.

Índice de riesgo de erosión potencial

$$\text{Índice de riesgo de erosión potencial} = \text{Índice erodabilidad} \times \text{Índice de erosividad} \times \text{Índice de pendiente}$$

De acuerdo a la fórmula calculada el índice es 1 (*bajo*) si el resultado está entre 0 y 5, es igual a 2 (*moderado*) si el resultado está entre 5 y 11, y a 3 (*alto*) para un resultado mayor que 11.

Índice de riesgo de erosión actual

Se calcula interpolando el índice de cubierta vegetal con el índice de riesgo de erosión potencial de la manera siguiente:

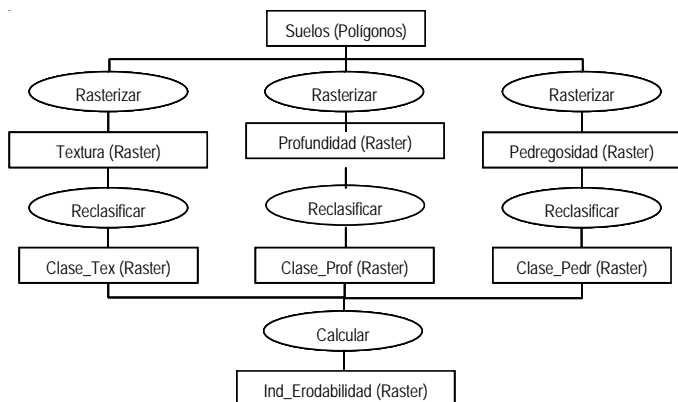
Índice cubierta vegetal	Índice de riesgo de erosión potencial			
	Nulo (0)	Bajo (1)	Moderado (2)	Alto (3)
1	0	1	1	2
2	0	1	2	3

Los datos primarios utilizados fueron por una parte mapas de suelos digitales donde los rasgos geográficos están relacionados con filas en tablas de datos que incluyen campos sobre textura de los suelos, pendiente y cubierta vegetal. Estos datos corresponden a estudios publicados en 1989. Mediante calicatas realizadas en diferentes puntos durante el año 2005 se obtuvo información actualizada sobre la composición mecánica del suelo. Los muestreos realizados permitieron comprobar que la cubierta vegetal, que para nuestros propósitos depende del uso del suelo, no ha cambiado significativamente. Por otra parte los datos de precipitaciones para los periodos evaluados se obtuvieron de la Estación Hidrometeorológica de Galalón (Estación Hidrometeorológica Galalón, 2005).

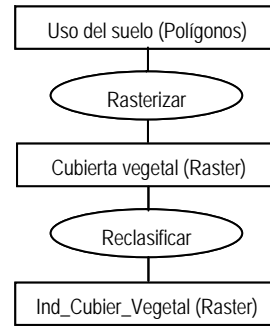
A partir de la información espacial (rasgos geográficos) y temática (tablas) de los mapas, se realizaron análisis SIG en orden de calcular los Índices de erodabilidad, riesgo de erosión actual y riesgo de erosión potencial. Al distribuir espacialmente los resultados se obtuvieron los mapas de suelos. Mediante una hoja electrónica se calcularon los índices de erosividad.

Los diagramas de flujo siguientes muestran la secuencia de operaciones de los análisis SIG realizados.

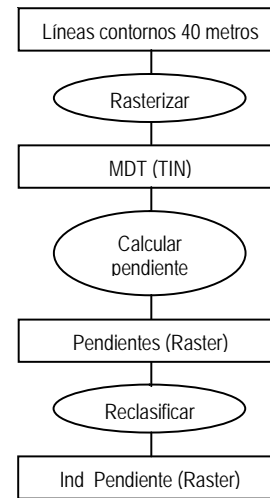
Obtención de mapa con Índice de erodabilidad.



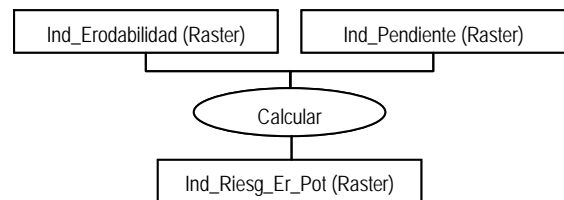
Obtención de mapa con Índice de cubierta vegetal.



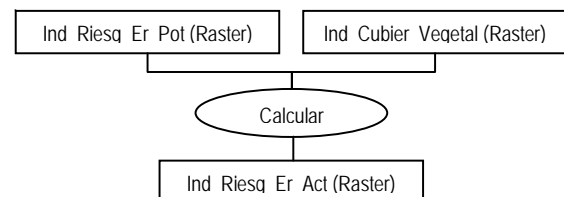
Obtención de mapa con Índice de pendiente.



Con los mapas Raster obtenidos más el Índice de erosividad calculado por el método del Índice de Fournier modificado se obtiene el mapa con Índice de riesgo de erosión potencial.



Utilizando el Índice de riesgo de erosión potencial y el Índice de cubierta vegetal se obtiene el mapa con Índice de riesgo de erosión actual.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erosividad de los suelos. Comparando el comportamiento de las precipitaciones en los periodos 1979-89 y 1990-2006 (Figura 1), se observa un ligero incremento en los valores medios anuales (150.85 y 157.62, respectivamente). El Índice de Fournier modificado se incrementa en un 8.8 % (183.96 y 200.27, respectivamente). Se puede decir entonces que entre un periodo y otro aumentó el valor medio de precipitaciones y también su variabilidad. A pesar de esta diferencia la clase de variabilidad y por lo tanto el Índice de erosividad se mantienen en la misma clasificación (Clase 2).

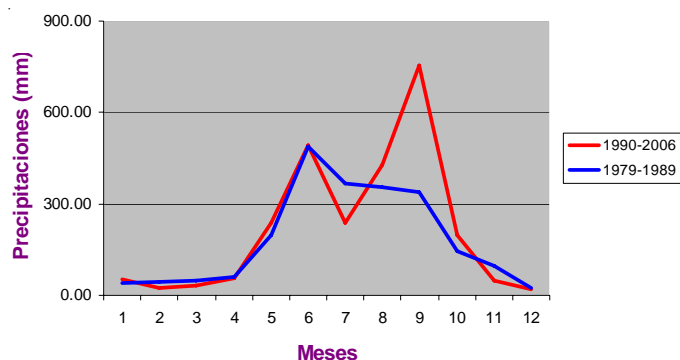


FIGURA 1. Precipitaciones medias mensuales en los periodos 1979-89 y 1990-2006.

En la Figura 1 se observa la aparición de un pico de precipitaciones en los meses correspondientes a la máxima actividad ciclónica. Esto es debido al incremento del número de organismos tropicales y sus intensidades en los últimos años. Además, se aprecia que en el mes de julio, tradicionalmente lluvioso, se ha producido un descenso en la media mensual de precipitaciones en los años recientes.

Erodabilidad de los suelos. Los mapas que datan de 1989 contienen campos de datos que permiten evaluar la textura, profundidad y pedregosidad de los suelos para calcular el Índice de erodabilidad. A partir del estudio morfo-genético realizado mediante las calicatas, se obtienen los datos para evaluar estos mismos parámetros en el periodo hasta 2005 y calcular el índice actualizado.

El Cuadro 1 muestra que para 1989 algo más de las dos terceras partes de los suelos clasificaban como moderadamente erodibles y menos de un tercio como altamente erodibles. Para 2005 no clasifican áreas de erodabilidad alta y aparece cerca del 50 % con erodabilidad baja. Este comportamiento se puede explicar por la modificación de algunas de las propiedades evaluadas con tendencia a la pérdida de profundidad y cambios en la composición mecánica del suelo.

Riesgo de erosión potencial de los suelos. Los índices de riesgo de erosión potencial en los periodos evalua-

CUADRO 1. Porcentajes de diferentes índices de erodabilidad en el área de estudio.

Erodabilidad Índice	% del área de estudio		
	Categoría	Año 1989	Año 2005
1	Baja	0.00	47.25
2	Moderada	75.80	52.75
3	Alta	24.20	0.00

dos cambiaron fundamentalmente debido a las modificaciones en la erodabilidad. La erosividad, que depende de la lluvia, no influyó porque como se explicó, el cambio en su variabilidad no fue suficiente para incrementar el Índice de erosividad. El factor restante, el relieve, permanece invariable.

El Cuadro 2 permite comprobar que durante los periodos estudiados se producen cambios con tendencia a la generalización del índice de bajo riesgo de erosión potencial.

CUADRO 2. Porcentajes de diferentes índices de riesgo de erosión potencial en el área de estudio.

Riesgo de erosión potencial Índice	% del área de estudio		
	Categoría	Año 1989	Año 2005
1	Baja	66.82	96.65
2	Moderada	30.50	2.19
3	Alta	2.68	1.16

Riesgo de erosión actual de los suelos. Los índices de riesgo de erosión actual sufrieron modificaciones en el área estudiada debido a los cambios en los índices de riesgo de erosión potencial. La cubierta vegetal, que es el otro factor que influye, no sufrió cambios significativos durante los dos periodos.

El Cuadro 3 muestra un comportamiento semejante que con el riesgo de erosión potencial: la generalización del índice de bajo riesgo de erosión actual.

CUADRO 3. Porcentajes de diferentes índices de riesgo de erosión actual en el área de estudio.

Riesgo de erosión actual Índice	% del área de estudio		
	Categoría	Año 1989	Año 2005
1	Baja	68.93	97.62
2	Moderada	30.29	2.14
3	Alta	0.78	0.24

Al analizar el comportamiento de los tres índices se observa que disminuyen en los periodos evaluados. Puede

parecer una tenencia positiva pero es más bien todo lo contrario. La relación entre la profundidad del suelo y su erodabilidad lo puede ilustrar. Cuando el suelo tiene mayor profundidad promedio sus propiedades son mejores para el cultivo, pero también son mayores la erodabilidad, y en consecuencia, los riesgos de erosión potencial y actual. Si el suelo se erosiona su profundidad promedio disminuye, cambia la composición mecánica que se expresa en la textura y los índices son menores. De manera que en general el riesgo de erosión es menor, porque es menor la cantidad que se pueda erosionar. Todo esto suponiendo que los demás factores como topografía y cubierta vegetal se mantengan inalterables como en este caso.

Un resultado fundamental del estudio realizado es la obtención de los mapas de suelo de la localidad de San Andrés (parte occidental de la Sierra de los Órganos). Los mapas abarcan los periodos hasta 1989 y hasta 2005.

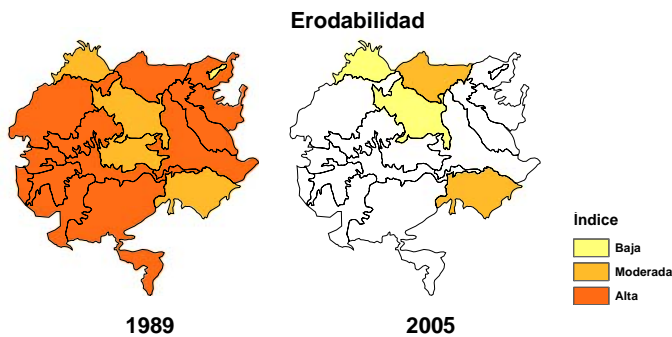


FIGURA 1. Mapas con índices de erodabilidad para la localidad de San Andrés (año 1989) y para el área evaluada (2005).

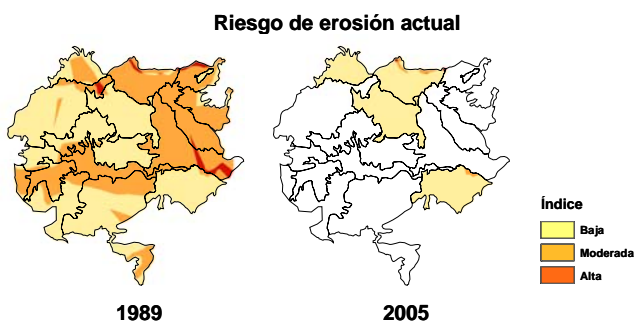


FIGURA 2. Mapas con índices de erosión potencial para la localidad de San Andrés (año 1989) y para el área evaluada (2005).

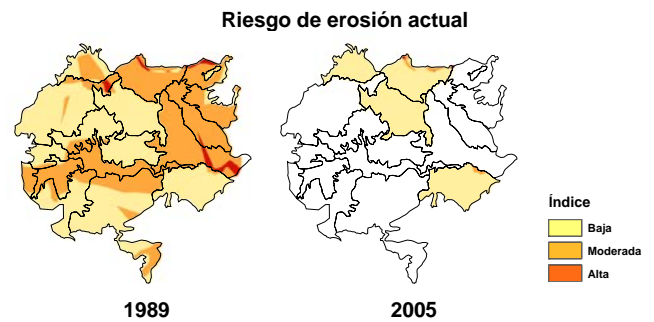


FIGURA 3. Mapas con índices de erosión actual para la localidad de San Andrés (año 1989) y para el área evaluada (2005).

CONCLUSIONES

Las diferencias en los índices de erosión determinados para los periodos 1989 hasta 2005 indican que existe una tendencia a la erosión de los suelos de la localidad de San Andrés de la provincia de Pinar del Río. La variabilidad de las lluvias es un factor que ha aumentado pero no en un grado tan significativo que se refleje en los índices calculados. Sin embargo, parámetros como profundidad promedio del suelo y textura del suelo sí han cambiado de modo significativo. Estas modificaciones se reflejan en los índices de erodabilidad y riesgos potenciales y actuales de erosión, que permiten verificar esta tendencia. Los aspectos del relieve y cubierta vegetal se han considerado invariables en los periodos evaluados y no tienen incidencia en los resultados obtenidos.

LITERATURA CITADA

- COLOTTI, E. 1999. La erosividad cualidad de la lluvia poco conocida. Terra XV(24): 97 disponible en <http://www.revele.com.ve/programas/indice/ria.php?id=11375&rev=terra>
- CORINE 1992. Soil erosion risk and important land resources - in the southern regions of the European Community disponible en http://reports.eea.eu.int/COR0-soil/en/soil_erosion.pdf
- DEPARTAMENTO DE SUELOS DEL MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (1989). Mapas de suelos. Ciudad de la Habana, Ministerio de la Agricultura (MINAGRI).
- ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA GALALÓN. 2005. Bases de datos de precipitaciones. CITMA. Pinar el Río.
- FOURNIER, F. 1960. Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France. París.