
Determinación de la erosión

potencial para ordenamiento
agropecuario mediante álgebra
de mapas

Determination of the potential erosion
for agricultural management by means of map algebra

Ignacio González Ramírez¹

Yosbel Lazo Roger¹

Alfredo Lesvel Castro Landín²

Omaida Romeu Torres¹

Nexar Cobeña Loor¹

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen.

² Universidad del Sur de Manabí,
Manabí, Ecuador

ignamirez3@gmail.com; ignacio.gonzalez@uleam.edu.ec; ylazoroger81@gmail.com,
alfredolandin.55@gmail.com; omaidaromeu1966@gmail.com, nexcob@hotmail.com

Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron actualizar la norma utilizada en Cuba para determinar la erosión potencial mediante el cálculo diferencial de este fenómeno en las microcuencas y no solo asociada al cierre de ellas, y además valorar la aplicación de esta norma como un criterio de peligro de erosión potencial para el ordenamiento agropecuario y los estudios de peligros, vulnerabilidades y riesgos que se ejecutan en Cuba. Se utilizaron sistemas de información geográfica con información multicriterio en formato ráster; se aplicaron indicadores espaciales para obtener mapas sintéticos mediante álgebra de mapas. Debido al desarrollo actual, toda la información pudo ser obtenida en celdas de 25 metros para poder realizar el geoprocesamiento.

PALABRAS CLAVE: geomática; sistemas de información geográfica; erosividad de la lluvia; cuenca Zaza.

Abstract

The proposal of this research was to update the standard used in Cuba to determine the potential erosion by means of the differential calculation of this phenomenon within the microbasins and not only associated with the closure of them, and also to evaluate the application of this standard as a hazards criterion of potential erosion within the agricultural territory management and the studies of hazards, vulnerabilities and risks that are carried out in Cuba. Geographical Information Systems with multicriteria information in raster format were used and spatial indicators were applied to obtain synthetic maps by means of map algebra. Due to the current development, all the information could be obtained in 25-meter cells to perform geoprocessing.

KEY WORDS: geomatics; Geographic Information Systems; rain erosivity; Zaza basin.

1. Introducción

La erosión hídrica del suelo se define como el desgaste del horizonte edáfico bajo la actividad humana, acelerada por la acción de las aguas de escorrentía desde el golpe de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo hasta la capacidad de arrastre que posee cuando corre sobre la superficie del suelo friable, con capacidad para degradarlo mediante la pérdida de su masa física y la fertilidad hasta poner en riesgo su propia existencia como suelo (Camacho y Ariosa, 2000). *“La degradación de los suelos en Cuba, problema ambiental que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad, es resultado del mal uso y manejo histórico de las tierras por el hombre y constituye la causa fundamental de la desertificación en el país.”* (Fernández y de la Colina, 2009: 2).

Entre los procesos de degradación del suelo, la erosión puede considerarse el más serio, ya que el 45 % de las tierras cultivables, aproximadamente tres millones de hectáreas, presenta erosión entre media a fuerte. Preocupante además es el hecho de que este fenómeno aumenta continuamente en extensión e intensidad.

Cuba posee una superficie de 10.988 mil hectáreas, de ellas, 10.643 mil de tierra firme. La superficie no agrícola es de 4.582,8 mil hectáreas y la agrícola de 6.405,6 mil (ONE, 2012). El 66,6% de la superficie no agrícola está destinada a uso forestal (3.056 mil ha), según datos del 2012. Las estadísticas oficiales desde el año 2007, no proveen información actualizada sobre el destino de otras tierras no agrícolas.

Para la implementación de las políticas agrícolas y la conservación de suelos en cualquier zona agroecológica, es necesario analizar el tipo, tasa y causas de la erosión y mostrar la distribución espacial del riesgo potencial de erosión. La evaluación del riesgo de erosión se orienta a identificar el grado potencial de deterioro de la superficie y proporciona la información requerida para for-

mular estrategias de conservación del recurso. Debido a la variabilidad fisiográfica de los territorios, la planificación de alternativas de control de la erosión se basa en modelos de simulación aptos para ser aplicados a disímiles escenarios naturales y de manejo agrícola. Estos modelos incluyen diferentes posibilidades de gestión de la conservación y de tipo, proporción y causas de la erosión (Montalvo, 1998).

Desde hace varios años, se trabaja en el desarrollo de un modelo de erosión potencial que permita calcular la cantidad de suelo perdido por erosión y que pueda ser utilizado de modo preventivo para disminuir las pérdidas futuras.

Existen diversas variables que influyen en las pérdidas de erosión. El modelo USLE (*Universal Loss Soil Erosion*), desarrollado por Wischmeier y Smith (1978), considera que la erosión del suelo por el agua es un proceso donde intervienen varios factores: lluvia, suelo, topografía, cobertura vegetal y actividad humana:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

- A Promedio anual de pérdida de suelo (Mg/ha³/Año⁻¹)
- R Factor de erosividad de las lluvias (MJ.mm.ha⁻¹ hr⁻¹ Año⁻¹)
- K Factor de erosionabilidad del suelo (Mg.J)
- L Factor de longitud de la pendiente (m)
- S Factor de inclinación de la pendiente (m/m)
- C Factor de cobertura vegetal – cultivo (variable de 0-1 de acuerdo con observación de campo).
- P Factor de las prácticas de conservación de suelos (variable de 0-1 de acuerdo con observación de campo).

El factor R es el número de unidades de índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvias. Wischmeier y Smith (1978) consideraron que la pérdida de suelo en campos desnudos era directamente proporcional al producto de la energía cinética total de la lluvia multiplicada por la inten-

sidad máxima desarrollada durante treinta minutos continuos. La suma de estos productos, llamados valores o índice de erosión (EI), para un período dado, proporciona un índice de erosión numérico de las lluvias que evalúa la erosión potencial de las mismas durante ese período.

El factor K, erosionabilidad del suelo, indica la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados, así como la cantidad de erosión por unidad de índice de erosión para parcelas unitarias localizadas en dicho suelo; su determinación está en función del % de arena + limo, el % de arena, el % de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad.

Los factores Longitud (L) y Pendiente (S) no son independientes en su acción sobre la erosión, porque el efecto de la topografía en la erosión se explica por la interacción de la longitud y la pendiente. El factor de cultivo (C) es la relación entre la pérdida de suelo en tierras cultivadas bajo condiciones específicas y la correspondiente pérdida de tierra labrada en barbecho continuo.

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre un campo con prácticas de control de erosión y un campo desnudo, donde se cultiva el suelo en el sentido de la máxima pendiente.

Respecto a estos factores, los relacionados con la topografía y con la erosionabilidad del suelo pueden considerarse invariables. Mientras, las prácticas de control de erosión varían en cada región de acuerdo con las culturas de manejo del suelo que se aplican; hay diferencias esenciales entre las prácticas de control de la erosión en sistemas de agricultura intensiva y aquellas diversas formas que se implementan en la agricultura extensiva o tradicional. El tipo de cultivo también influye en esta diferenciación. Por ello, los factores relacionados con el tipo de cobertura vegetal y las prácticas de manejos de los cultivos poseen una alta incertidumbre en su valoración cuantitativa. En todos los casos se necesitan conocimientos profundos de las labores agropecuarias que se

aplican en cada lugar y no resulta suficiente la simple observación del área.

De igual modo, el factor R se caracteriza por su alta variabilidad espacial; tanto por la discontinuidad espacio temporal de los regímenes pluviométricos como por la insatisfactoria red de mediciones de lluvias para realizar estudios locales. Weischmeier y Smith (1978) fueron los primeros autores que trataron el tema y, como resultado de sus estudios, en el desarrollo del modelo USLE, presentaron el factor R. Posteriormente, Fournier (1960) posteriormente, desarrolló el índice de agresividad climática o índice de Fournier (IF), que mejoró la correlación entre la lluvia y el volumen de sedimentos arrastrados por la escorrentía.

El IF tiene la limitante de que para su determinación, solo considera el mes de mayor precipitación. Otros autores han tratado esta limitante incluyendo la medición del régimen de lluvias anual, por ejemplo, el desarrollo del índice de Fournier modificado o IMF (Arnoldus, 1978). Estudios posteriores han estado encaminados a mejorar el ajuste entre lluvia y los sedimentos arrastrados (Nel y Sumner, 2007; Nel *et al.*, 2010; Soares *et al.*, 2012).

En Cuba, para calcular la erosión potencial, existe la Norma Cubana NC 36 1999 'Calidad del suelo. Método para la determinación de la erosión potencial de los suelos' (NC 36, 1999); el cálculo se basa en la multiplicación de diversos coeficientes donde cada uno representa un factor natural que participa en la erosión de los suelos. Para la determinación de la capacidad erosiva de las lluvias, se utiliza el índice I_p .

Este índice se corresponde con el índice de concentración de precipitaciones (ICP), que fue propuesto inicialmente por Oliver (1980), a partir del índice de Fournier modificado.

En todos los casos, el cálculo de la erosión potencial se ha basado en determinar la correlación entre los factores considerados y el volumen de sedimentos movilizados en un punto de cierre.

Los modelos de erosión pueden ser utilizados para determinar el impacto probable de un cambio de cultivo o caracterizar los procesos de erosión en una determinada cuenca (Clérici y García, 2001). También se han aplicado en estudios cartográficos de riesgos de erosión (Montalvo, 1998). Otros autores profundizaron en su aplicación incluyendo la variabilidad mensual de la lluvia (Jordán y Bellifante, 2000). En la mayoría de los casos, se asumió la importancia de los datos absolutos medidos y las áreas de medición se establecen a partir de puntos de cierre de cuencas hidrográficas, subcuencas o microcuencas. El álgebra de mapas ha sido utilizado parcialmente en el cálculo de algunos de los indicadores que tienen una alta variabilidad dentro del área de cierre, como es el caso de los factores topográficos de longitud e inclinación de la pendiente (Oñate-Valdivieso, 2004). Existen antecedentes de la aplicación del método para el cálculo de la erosión potencial como tal; Castro (2013) aplicó este método para todos los indicadores, al igual que Vega *et al.* (2011). Este último fue realizado en Cuba utilizando la metodología incluida en CORINE *Programme*.

En este trabajo, primeramente se actualiza la norma utilizada en Cuba, además, el cálculo se realiza con el objetivo de determinar el peligro de erosión, que es el término más utilizado en los últimos años, también se explora sobre un procedimiento para determinar el riesgo de erosión, como combinación de la erosión potencial (peligro) y el factor de cobertura vegetal como vulnerabilidad ante la erosión.

Se utiliza como metodología principal de cálculo, la Norma cubana NC 36 (1999) aún vigente y que tiene en cuenta la distribución de la lluvia por meses, además de su intensidad y cantidad de precipitaciones en una lluvia. La particularidad está en que se modifica su aplicación a partir de la utilización del álgebra de mapas para el tratamiento de los indicadores que se consideran en ella y

que se actualizan los términos a los utilizados en los estudios de riesgos, o sea, se trata la erosión potencial como susceptibilidad a la erosión. Los objetivos de este trabajo fueron actualizar la norma utilizada en Cuba para determinar la erosión potencial mediante el cálculo diferencial de este fenómeno dentro de las microcuencas y no solo asociada al cierre de ellas, y valorar la aplicación de esta norma como un criterio de peligro de erosión potencial para el ordenamiento agropecuario y los estudios de peligros, vulnerabilidades y riesgos que se ejecutan en Cuba.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización del área de estudio

La cuenca del río Zaza tiene una extensión de 2.449,18 km²; de ellos, el 81% pertenece a la provincia de Sancti Spíritus y el 19% a la de Villa Clara, Cuba. La longitud del Zaza, su río principal, es de 155 km, en dirección NE-SSO. Los principales afluentes por la margen occidental son los ríos Calabazas, Tuinucú y Yayabo; por la oriental los ríos Hacha, Caonao y Taguasco entre otros.

La cuenca del río Zaza es considerada de interés nacional por su extensión, la alta densidad de población que alberga, la intensidad de uso de sus suelos de alta productividad y la degradación marcada de gran parte de su superficie agrícola.

Su relieve comprende montañas bajas que alcanzan alturas de hasta 1.140 metros sobre el nivel del mar en el centro occidental de la cuenca. Están formadas sobre rocas metamórficas. Al norte existe un complejo de alturas alargadas en dirección Este-Oeste, formadas sobre rocas carbonatadas. El centro está conformado por llanuras onduladas y colinosas que desde el norte y sur de las montañas se extienden hacia el Este de la cuenca. Alcanzan 200 metros sobre el nivel medio del mar y tienen como basamento, el complejo vulcanógeno sedi-

mentario cretácico y rocas terrígenas y terrígenas carbonatadas principalmente del Paleógeno. Al sur, predominan llanuras acumulativas bajas poco onduladas, modeladas sobre rocas terrígenas y terrígenas carbonatadas que forman parte de una transgresión marina de edad Neógeno hasta la actualidad (FIGURA 1).

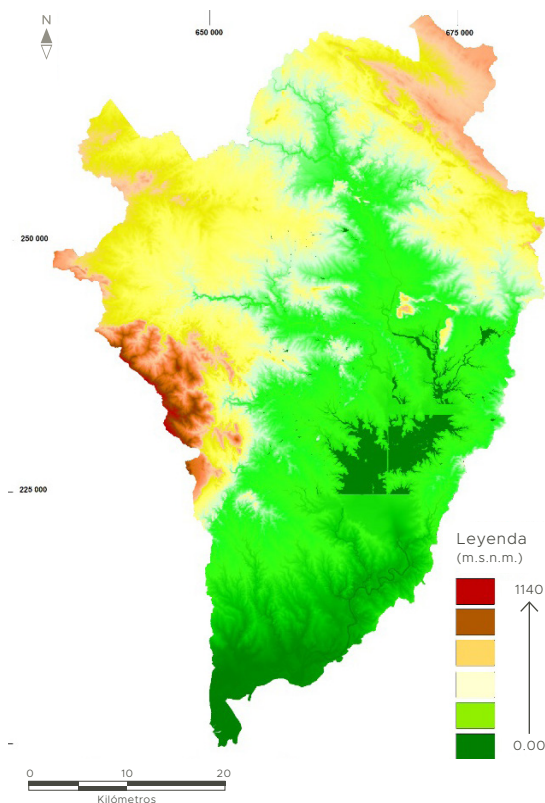
2.2 Coeficientes utilizados en la norma cubana

La Norma utilizada establece ciertos indicadores variables de acuerdo con las regiones del país:

Clima. En dependencia de la cantidad y la intensidad de las precipitaciones (con el resto de las condiciones constantes), en la pendiente se forman las escorrentías con diferentes grados de intensidad, la cual destruye en una u otra medida los horizontes de los suelos. Por consiguiente, las precipitaciones constituyen una de las principales causas que provocan la erosión de los suelos de Cuba.

Para valorar la influencia de las precipitaciones en la erosión potencial de los suelos se escogió el índice Lai, el cual es elaborado para condiciones tropicales. Este índice se calcula por la siguiente fórmula:

FIGURA 1. Mapa hipsográfico de la cuenca Zaza



$$Lai \text{ máx.} = 12 \text{ (n.a.imáx)}$$

Donde:

a: cantidad de precipitaciones en una lluvia; Imáx: intensidad máxima de la lluvia; n: número de días con precipitaciones en cada mes.

Teniendo en cuenta esta fórmula y los datos sobre precipitaciones, la norma establece el coeficiente de influencia erosiva de las precipitaciones (Ip) para las diferentes regiones del país (CUADRO 1). Para la determinación de este coeficiente en el área de estudio se utilizó la base de datos de lluvias de la red pluviométrica del Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spiritus (CMPSS, 2013).

Suelo. En el proceso de cartografía de los suelos con erosión potencial, se les valora conjuntamente con la roca subyacente y se calcula el coeficiente SR (CUADRO 2) a través de la siguiente fórmula:

$$SR = Psp / P$$

Donde:

SR: índice de la influencia del suelo y roca; Psp: pérdida de suelo en condiciones de patrón; P: índice de la influencia de las precipitaciones.

Se utilizó el mapa de suelos de la República de Cuba a escala 1:25000 (IS, 1975).

Relieve. La influencia del relieve sobre la erosión potencial de los suelos se determinó por el coeficiente R (CUADRO 3) y expresa la relación entre la pérdida de suelo en condiciones de patrón según la siguiente fórmula:

$$R = Ps / Pt$$

Donde:

R: factor de relieve; Ps: pérdida de suelo según el relieve; Pt: patrón.

Por sus magnitudes, el factor R se destaca por alcanzar mayor peso que el resto de los coeficientes. Por esta razón, su influencia es mucho mayor que los demás en la determinación de la erosión potencial. Para calcular las pendientes se utilizó el modelo digital del terreno con resolución espacial de 30 metros realizado por el proyecto SRTM.

La valoración conjunta de la influencia de los factores naturales sobre la erosión potencial de los suelos se establece por medio de la multiplicación de los coeficientes particulares que caracterizan a cada uno de los factores naturales ($E_p = SR \cdot R \cdot Ip$). El resultado de la multiplicación de estos coeficientes expresa la pérdida de una parte del perfil en cm, la cual se produciría si no se realizan las medidas antierosivas.

CUADRO 1. Valoración de las precipitaciones en diferentes regiones naturales de Cuba

Regiones naturales de Cuba	Coeficiente Ip de la influencia erosiva de las precipitaciones (mm)							
	800	800 1.000	1.000 1.200	1.200 1.400	1.400 1.600	1.600 1.800	1.800 2.000	2.000 2.200
Montañosa Occidental	-	-	53	62	70	79	88	106
Llana Occidental	-	42	50	59	67	76	84	-
Montañosa Central	-	-	49	57	66	74	82	98
Llana Central	-	40	48	56	64	72	80	-
Camagüey-Tunas	-	39	47	55	62	70	-	-
Montañosa Oriental	-	-	53	62	70	79	88	106
Llana Oriental	-	42	50	59	67	76	84	-

La erosión potencial calculada puede variar desde 0 hasta 203,52 que es la multiplicación de los valores máximos de los coeficientes individuales (CUADROS 1,2 y 3).

2.3 Procedimiento para la validación del resultado en la gestión de la erosión

En la norma cubana no se tienen en consideración la cobertura vegetal (factor C) ni las prácticas de conservación de suelos (factor P) que se incluyen en la USLE; por esta razón no permite calcular el volumen de sedimentos perdidos, sino que expresa cómo el medio físico va a ser más o menos susceptible a la erosión, a partir de sus componentes de relieve y erosionabilidad del suelo, mientras que la lluvia puede considerarse el factor disparador para formar el peligro de erosión.

Esta característica es una limitante de la norma cubana en el caso tradicional de cálculo por cierre de área de drenaje que permite aumentar su aplicación para la gestión agrícola de los territorios cuando se aplica el álgebra de mapas como se expone en este trabajo.

Por ello, se realiza una demostración de la aplicación de la norma de acuerdo con el resultado alcanzado, de modo que pueda entenderse la capacidad que tiene el álgebra de mapas para diseñar el mejor ordenamiento territorial de las actividades agrícolas.

Con este objetivo, se utilizó el mapa de uso de la tierra del año 2013. Esta información se obtuvo en el Departamento provincial de Suelos de Sancti Spiritus (Minagri, 2014). La información de esta fuente está consolidada en 12 categorías de uso de suelo, el cálculo se realizó para las categorías

CUADRO 2. Coeficiente SR de acuerdo con suelo y roca

Tipos de suelos	SR
Ferralítico rojo sobre caliza	0,17
Húmico carbonático sobre marga, arenisca y otros	0,20
Pardo con carbonatos	0,21
Pardo sin carbonato sobre roca básica y ultrabásica	0,29
Pardo grisáceo sobre granodiorita	0,32
Ferralítico púrpura	0,35
Ferralítico cuarcítico amarillos rojizo lixiviado sobre materiales transportados y corteza de meteorización y esquistos	0,50
Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado sobre materiales transportados y esquistos	0,23

CUADRO 3. Coeficiente R que establece la influencia del relieve

Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente	
%	R	%	R	%	R	%	R
1	0,16	7	1,12	13	2,08	19	3,04
2	0,32	8	1,28	14	2,24	20	3,20
3	0,48	9	1,44	15	2,40	21	3,36
4	0,64	10	1,60	16	2,56	22	3,52
5	0,80	11	1,76	17	2,72	23	3,68
6	0,96	12	1,92	18	2,88	24	3,84

de uso agrícola de suelo. Las características generales de estas coberturas de suelo permitieron determinar el coeficiente C más apropiado en cada caso, según Weischmeier y Smith (1978) y así se expresa en el CUADRO 4.

2.4 Procedimiento de aplicación del álgebra de mapas

Como modificación a la norma, se utilizó un modelo ráster que permite calcular la erosión potencial para cada celda de un territorio. Lo realiza de acuerdo con la escala en que se encuentre la información que se posea. Este modelo se implementó a escala 1: 25.000 para la cuenca del río Zaza.

Con los datos de la serie de datos de lluvias medias de 45 pluviómetros en la provincia de Sancti Spiritus, se obtuvo el mapa ráster de lluvias. La técnica aplicada para ello fue la del vecino más

cercano y se estableció un tamaño de celda para este mapa y todos los otros de 25 metros. Mediante una reclasificación del ráster obtenido, se le atribuyeron los valores del coeficiente de erosividad de las lluvias (Ip).

Según el tipo de suelo y roca, se les atribuyó el coeficiente correspondiente (SR), para obtener un mapa ráster de la misma resolución espacial que expresa la erosionabilidad del suelo. Con el modelo digital del terreno (*Digital Terrain Model*), se extrajeron los valores de elevación para celdas de 25 metros. El mapa de pendiente se obtuvo posteriormente y se reclasificó con el coeficiente R de la norma.

El mapa de uso de los suelos también fue convertido al formato ráster con el mismo tamaño de celda y se le atribuyeron los valores de C de acuerdo con el CUADRO 4.

CUADRO 4. Categorías de uso de suelo, características generales de cada una y coeficiente C determinado en cada caso

Categorías de uso	Características generales del uso de suelo en la cuenca Zaza	C
Urbano	No posee suelos agrícolas a escala cartografiable, no se calcula la erosión potencial	-
Embalse de agua	No posee suelos agrícolas, no se calcula la erosión potencial	-
Superficies de agua	No posee suelos agrícolas, no se calcula la erosión potencial	-
Tabaco	Cultivo temporal intenso que rota estacionalmente con otros cultivos temporales	0,68
Cultivos varios	Cultivos temporales intensos	0,39
Caña de azúcar	Cultivo permanente que recibe generalmente un alto grado de mecanización; usualmente mantiene la cobertura del suelo con los residuales	0,17
Cítricos y frutales	Cultivo permanente que no recibe roturación; alta cobertura del suelo con gramínea	0,14
Tierra ociosa	Por lo general, posee un estrato arbustivo denso, con estrato herbáceo permanente	0,11
Pastos	Cultivos permanentes con baja intensidad de manejo	0,02
Café	Cultivo permanente en fajas perpendiculares a la pendiente, control manual de malezas y combinación con estrato arbóreo. Suelo bastante cubierto por residuos vegetales	0,04
Plantaciones forestales	Estrato arbóreo, arbustivo y de gramíneas. Labores silviculturales de poca intensidad	0,006
Bosques	Condiciones naturales o seminaturales	0,003

Los mapas obtenidos fueron multiplicados mediante un *Grid calculator* y el resultado fue el mapa de erosión potencial. A continuación, según el rango de valores del coeficiente de erosión potencial, se establecieron cuartiles reclasificando en 4 clases de erosión potencial: Alta, Media, Baja y Muy baja. EL objetivo de la reclasificación en clases es determinar los niveles de prioridad para la gestión de los procesos de erosión potencial.

Los valores de erosión potencial son útiles por su valor numérico, que cuantifica los procesos de erosión, pero tanto en la fórmula USLE, como en otras posteriores, se cuenta con varios niveles de incertidumbre, debido a diversos factores como el grado de complejidad de los procesos naturales imposibles de modelar matemáticamente a la perfección, la existencia en todos los casos de una escala de trabajo adecuada a la información existente, pero que es insuficiente para un cálculo exacto y, además, la subjetividad en la determinación de los coeficientes, que en muchos de los casos son valoraciones cualitativas convertidas en números como por ejemplo el coeficiente C.

Sin embargo, al establecer clases de erosión potencial, se determinan las categorías cualitativas de mayor a menor erosión, el valor numérico pierde su connotación absoluta al perseguirse el objetivo de identificar las áreas dónde se pueden ejecutar acciones para disminuir la erosión. Importan más las relaciones de erosión entre las áreas para ordenarlas y dirigir esfuerzos y recursos hacia las áreas críticas que el conocer, como tal, el volumen de suelo perdido. Pero ha sido gracias a los estudios orientados a la cuantificación, que se puede aplicar la determinación de las clases cualitativas de erosión.

3. Resultados

El primer coeficiente que conforma la erosión potencial, la Intensidad de las precipitaciones (I_p) tiene una distribución regular en la cuenca. Su mayor valor es de 82, asociado a la zona montañosa. Estos valores disminuyen a medida que se alejan de la parte más elevada. La mayor disminución es hacia el sur, donde llega a alcanzar el valor de 48. El coeficiente SR, que expresa la erosionabilidad asociada a los factores roca y suelo, se distribuye en cuatro zonas principales dentro de la cuenca. La parte norte, con altos valores, la zona central de la cuenca con valores bajos a excepción de la parte montañosa y sus alrededores de llanura colinosa que presenta valores elevados y el sur de la cuenca y la zona de su desembocadura, con alta variabilidad espacial del coeficiente. El coeficiente R, asociado al relieve, presenta sus valores más elevados en la montaña, a continuación en la parte norte de la cuenca y en algunas áreas colinosas dispersas en la parte media. Los valores bajos se concentran al Sur, así como en el resto de la parte media (FIGURAS 2A, B y C).

Estos indicadores expresan una clara tendencia a ser elevados en la zona montañosa. En el mapa de erosión potencial obtenido (FIGURA 3A), se observa tres regiones principales: norte de la cuenca, montañas y centro sur. La erosión potencial alcanza 125 en las montañas. La pendiente y como resultado el coeficiente relacionado con el relieve es el que más influencia tiene en el comportamiento de este indicador. La distribución espacial expresa la importancia de usar el método de álgebra de mapas en la aplicación de la fórmula a diferencia del método de cierres de áreas de flujos. Con el procedimiento tradicional, solo se determinaban las subcuencas que en conjunto tenían una alta erosión potencial. Del modo propuesto, se puede diferenciar dentro de cada área de cierre, los lugares específicos donde se manifiesta el fenómeno con mayor intensidad.

FIGURA 2. Comportamiento de los coeficientes para el cálculo de la erosión potencial en la cuenca Zaza

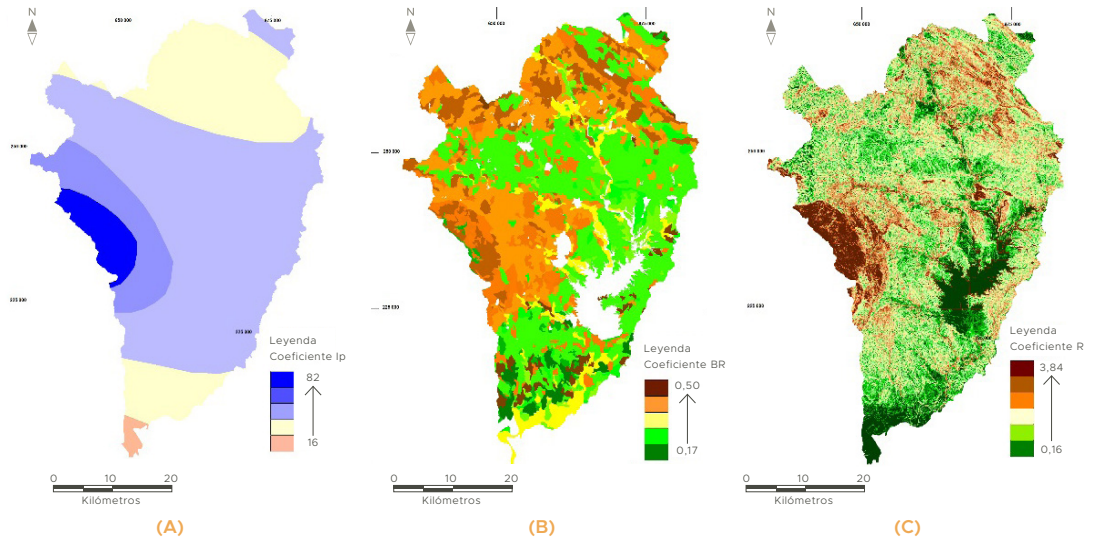
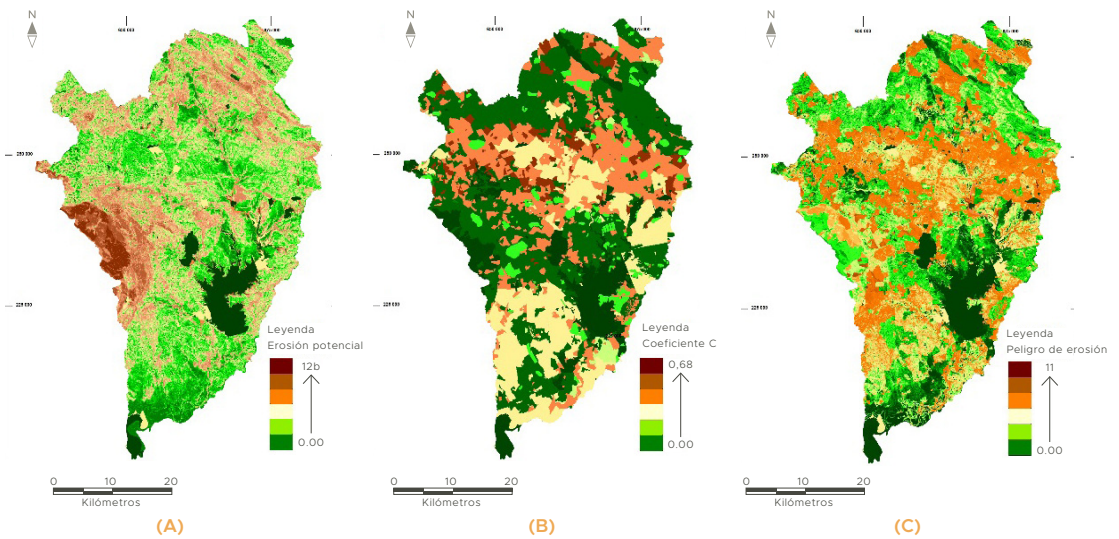


FIGURA 3. Mapas de erosión potencial, coeficiente de cobertura vegetal y peligro de erosión en la cuenca Zaza



La erosión potencial de la norma cubana, de este modo puede ser utilizada en la planificación y gestión del territorio, como un indicador de peligro de erosión. Este término se entiende como las condiciones naturales del medio geográfico en que se desarrolla la actividad agropecuaria que favorecen o no, la ocurrencia del fenómeno de erosión. Bajo esta interpretación, el uso agropecuario de la tierra, resulta ser el factor de disparo que provoca que el fenómeno se active o no en condiciones de explotación. Por tanto, la combinación del coeficiente C de la fórmula USLE con la erosión potencial de la norma cubana calculada a través de álgebra de mapas, puede considerarse el peligro de erosión y esta conceptualización, tiene una alta aplicación en la gestión de los procesos erosivos del territorio agrícola del área de estudio.

La cobertura vegetal (coeficiente C) tiene un comportamiento completamente diferente a la erosión potencial (FIGURA 3B). En las áreas con menos posibilidad de erosión, se encuentran las coberturas vegetales más propensas a favorecer la erosión de los suelos. Esta tendencia resulta normal, ya que por sí, la erosión potencial está asociada a factores edáficos inversamente proporcionales a la productividad del suelo. Los suelos con menor pendiente, el factor relieve es el de mayor peso, son generalmente más aptos agrológicamente. Tanto en el centro norte de la provincia, como en el sur, se aprecian los valores más altos del coeficiente de cobertura vegetal, mientras en la montaña y en las alturas del norte, los usos que predominan tienen un bajo coeficiente.

El mapa de peligro de erosión (FIGURA 3C) expresa la importancia que tiene la cobertura vegetal en la protección de los suelos. De modo general es inversamente proporcional al de erosión potencial. La zona centro norte, conjuntamente con un sector de las montañas, expresa los valores mayores. Algunas áreas del norte de la cuenca se incluyen en esta categoría, mientras que ciertas

partes de las montañas, de las llanuras y de las alturas, o sea, de todas las zonas morfométricas, mantienen niveles de bajo peligro. El uso que se hace del suelo es el factor principal para establecer la propensión a favorecer la erosión y es un elemento con posibilidad de manejo en las políticas de gestión territorial.

4. Discusión

El procedimiento realizado permite reconocer la situación de erosión potencial en cada uno de los espacios del territorio en estudio. También permite realizar acciones de gestión mediante el ordenamiento agrícola o la aplicación de técnicas diferentes de manejo de los cultivos presentes.

Para la gestión territorial del fenómeno, en ocasiones, se deben priorizar áreas de trabajo. Si se realiza con la aplicación tradicional de la norma, serían seleccionadas determinadas subcuencas como áreas de mayor intensidad de erosión. Mediante este procedimiento, resulta factible seleccionar áreas de diversas cuencas dentro del grupo de espacios a gestionar. Para ello solo se debe aplicar el álgebra de mapas y reclasificar los resultados obtenidos en nuevas clases percentílicas para obtener categorías de áreas donde realizar las intervenciones.

5. Conclusiones

La norma cubana NC 36 (1999) constituye el documento técnico reconocido en Cuba para el cálculo de la erosión potencial de los suelos. La aplicación de las tecnologías geomáticas permite actualizar su aplicación, aumentar la precisión y ampliar el espectro de aplicaciones de esta normativa. Los datos espaciales generados dependen de la calidad de la información de base. La aplicación del álgebra de mapas permite establecer clases de susceptibilidad, peligro y riesgo de erosión y a

partir de estos resultados, planificar los posibles escenarios de gestión por cada una de las áreas de manejo sin tener que adherirse a estructuras de cuencas hidrográficas, lo que permite una mejor orientación de la gestión de este fenómeno en el territorio de estudio. Este procedimiento es aplicable para cualquier territorio de la República de Cuba mientras continúe vigente la norma mencionada.

6. Referencias citadas

- ARNOLDUS, H. M. 1978. "An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation". En: M. DE BOODST y D. GABRIELS (eds.). *Assessment of erosion*. pp.127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester. Gran Bretaña.
- CAMACHO A. y L. ARIOSIA. 2000. *Diccionario de términos ambientales*. Instituto de Literatura y Lingüística. Publicaciones Acuario. Centro Félix Valera. La Habana, Cuba.
- CASTRO, I. 2013. "Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en micro-cuenca de presa Madín, México". *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2): 3-16. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200001 [Consulta: octubre, 2017].
- CENTRO METEOROLÓGICO PROVINCIAL DE SANCTI SPIRITUS (CMPSS), 2013. *Base de datos de lluvia de la red de pluviómetros provincial*. Centro meteorológico provincial de Sancti Spíritus. Sancti Spíritus, Cuba. (Inédito).
- CLÉRICI, C. y F. GARCÍA PRECHAC. 2001. "Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata". *Agrociencia*, 5(1): 92-103.
- FERNÁNDEZ PÉREZ, D. y A. J. DE LA COLINA RODRÍGUEZ. 2009. Cartografía del riesgo de erosión en el consejo popular Punta de La Sierra mediante el empleo de SIG. *III CIET (Congreso internacional de estudios territoriales)*. 1-11. Quito, Ecuador. (17-20 de noviembre). Disponible en: https://es.slideshare.net/KifaMedina/aplicacion-de-sig-y-de-la-percepcion-remota-a-estudios-territoriales?from_action=save. [Consulta: diciembre, 2017].
- FOURNIER, F. 1960. *Climat et erosion*. Presses universitaires de France. Paris, Francia.
- INSTITUTO DE SUELOS (IS). 1975. *Mapa de suelos de la República de Cuba a escala 1:25.000*. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. Mapa de trabajo. (Inédito).
- JORDÁN, N. y A. BELLIFANTE. 2000. "Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz)". *Revista Edafología*, 7(3): 83-92.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (MINAGRI). 2014. *Informe resumen del uso y tenencia de la tierra*. Provincia de Sancti Spiritus, 2013. Departamento provincial de suelos. Sancti Spiritus, Cuba.
- MONTALVO, N. 1998. *Navegando entre brumas*. Ediciones A. Maskrey. Lima, Perú.
- NEL, W. & P. D. SUMNER. 2007. "Intensity, Energy and Erosivity Attributes of Rainstorms in the KwaZulu-Natal Drakensberg, South Africa". *Journal of Science*, 103: 398-402.

- NEL, W.; REYNHARDT, D & P. D. SUMNER. 2010. "Effect of altitude on erosive characteristics of concurrent rainfall events in the Northern KwaZulu-Natal Drakensberg". *Revista Water SA*, 36(4): 509-512.
- NORMA CUBANA. 1999. *Calidad del suelo. Método para la determinación de la erosión potencial de los suelos*. NC 36: 1999. Oficina de Normalización. La Habana, Cuba.
- OLIVER, J. E. 1980. "Monthly precipitation distribution: a comparative index". *Revista Professional Geographer*, 32(3):300-309.
- OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (ONE). 2012. *Anuario estadístico de Cuba*. La Habana, Cuba. Disponible en: <http://www.one.cu/aec2012.htm>. [Consulta: noviembre, 2017].
- OÑATE-VALDIVIESO, F. 2004. "Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de proyectos hidráulicos". *Revista electrónica de la REDLACH*, 1(1): 27-32.
- SOARES, J.; COELHO, C.; CARVALHO, T.; OLIVEIRA E. y S. VALENTE. 2012. "The use of rainfall simulations to assess land degradation and soil erosion produced by an SLM Thechnology, Portugal". *Revista Geophysical Research Abstracts*, 14(EGU): 885.
- VEGA, B; FEBLES-GONZÁLEZ, J. M.; TOLÓN, A. y X. LASTRA. 2012. "Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante la metodología CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba". *Revista Land Degradation & Development*, 23(5):465-474. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/ldr.1089>. [Consulta: noviembre, 2017].
- WISCHMEIER, W. H. & D. D. SMITH. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. Department of Agricultura. Washington, USA.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
marzo, 2018; El Carmen, Ecuador; Sancti Spiritus, Cuba
Fecha de revisión y corrección:
noviembre, 2018; El Carmen y Jipijapa (Manabí), Ecuador