

APLICACIÓN DEL MODELO MMF EN SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS LIXIVIADOS DE LADERA EN LA LOCALIDAD DE SAN ANDRÉS, PINAR DEL RÍO, CUBA

APPLICATION OF THE MMF MODEL IN LEACHED RED FERRALITIC SLOPE SOILS IN THE TOWN OF SAN ANDRÉS, PINAR DEL RÍO, CUBA

APLICAÇÃO DO MODELO MMF EM SOLOS FERRALÍTICOS VERMELHOS LIXIVIADOS DA ENCOSTA DA CIDADE DE SAN ANDRÉS, PINAR DEL RÍO, CUBA

José Reinaldo Díaz Rivera^{1*}, José Manuel Febles González², Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho³, Carlos Ernesto Aguilar Jiménez⁴, Miguel Antonio Sarmiento Gómez⁵

¹Doctor en Ciencias Agrícolas. Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular del Departamento de Agronomía de Montaña. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Cuba. <https://orcid.org/0009-0008-0743-9003>. E-mail: reynaldojrd@upr.edu.cu

²Doctor en Ciencias. Centro de Estudios Ambientales de La Habana. Universidad de La Habana, Zapata y G, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, CP 10400. <https://orcid.org/0000-0002-9360-1117>. E-mail: febles@rect.uh.cu

³Doctor en Ciencias Agrícolas. Departamento de Suelos, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica, Seropédica-Rio de Janeiro, Brasil, CEP 23.897-000. <https://orcid.org/0000-0002-5053-7338>. E-mail: nmbas@gmail.com

⁴Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Tuxtlan Gutiérrez. Villaflores. México. CP 30470. <https://orcid.org/0000-0002-6332-1771>

⁵Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Ingeniero agrónomo. Profesor del Departamento de Agronomía de Montaña. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Pinar del Río, Cuba. <https://orcid.org/0000-0002-8560-9661>. E-mail: miguel.sgomez@upr.edu.cu

*Autor para la correspondencia (e-mail): reynaldojrd@upr.edu.cu

Recibido para su publicación: 07/02/2025 - Aceptado para su publicación: 28/03/2025

Resumen

Los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados del norte de Pinar del Río han sido sometidos a un uso agrícola intensivo, lo que ha generado una progresiva degradación, principalmente por erosión hídrica en laderas, afectando la sostenibilidad de la producción agropecuaria en la región. En esta investigación, se realizó por primera vez una estimación cuantitativa de las pérdidas de suelo mediante el modelo Morgan, Morgan y Finney, con el objetivo de estimar las pérdidas de los suelos Ferralítico Rojo Lixiviados, según el modelo de erosión Morgan cuyos resultados muestran valores que superan los límites permisibles (54,6 t/ha/año), evidenciando el carácter erodable de estos suelos. La aplicación de este modelo permitió determinar con precisión la magnitud del daño y evaluar la vulnerabilidad del suelo frente a la erosión, ofreciendo un enfoque genético para su análisis, confirmando además el avance progresivo de los procesos erosivos en la región y la necesidad de implementar estrategias de conservación para mitigar su impacto. Estos hallazgos son fundamentales para el desarrollo de políticas de manejo sostenible y prácticas agrícolas que minimicen la degradación en áreas de ladera, aportando información clave para futuras investigaciones y acciones orientadas a la preservación de los recursos naturales.

Palabras claves: Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados; Erosión, Modelo MMF; Límites permisibles de erosión; Degradación de suelos.

Abstract

The Leached Red Ferralitic soils of northern Pinar del Río have been subjected to intensive agricultural use, resulting in progressive degradation, mainly due to water erosion on slopes, affecting the sustainability of agricultural production in the region. In this study, a quantitative estimate of soil losses was performed for the first time using the Morgan-Morgan-Finney model. The objective of this study was to estimate the losses of Leached Red Ferralitic soils according to the Morgan erosion model, whose results show values that exceed permissible limits (54.6 t/ha/year), evidencing the erodible nature of these soils. The application of this model made it possible to accurately determine the magnitude of the damage and assess soil vulnerability to erosion. It offers a genetic approach for analysis and confirms the progressive advance of erosion processes in the region and the need to implement conservation strategies to mitigate their impact. These findings are critical for developing sustainable management policies and agricultural practices that minimize degradation in hillside areas, providing key information for future research and actions aimed at preserving natural resources.

Keywords: Red Ferralitic Leached Soils, Erosion, MMF Model, Permissible Erosion Limits, Soil Degradation

Resumo

Os solos ferralíticos vermelhos lixiviados do norte de Pinar del Río foram submetidos ao uso agrícola intensivo, resultando em degradação progressiva, principalmente devido à erosão hídrica nas encostas, afetando a sustentabilidade da produção agrícola na região. Nesta pesquisa, foi realizada pela primeira vez uma estimativa quantitativa de perdas de solo utilizando o modelo de Morgan, Morgan e Finney, com o objetivo de estimar as perdas de solos Ferralíticos Vermelhos Lixiviados, segundo o modelo de erosão de Morgan cujos resultados apresentam valores que ultrapassam os limites permitidos (54,6 t/ha/ano), evidenciando a natureza erodível destes solos. A aplicação deste modelo permitiu determinar com precisão a extensão dos danos e avaliar a vulnerabilidade do solo à erosão. Oferece uma abordagem genética para sua análise e confirma o avanço progressivo dos processos erosivos na região e a necessidade de implementar estratégias de conservação para mitigar seus impactos. Essas descobertas são essenciais para o desenvolvimento de políticas de gestão sustentável e práticas agrícolas que minimizem a degradação em áreas de encosta, fornecendo informações importantes para futuras pesquisas e ações voltadas à preservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: Solos Ferralíticos Vermelhos Lixiviados, Erosão, Modelo MMF, Limites de Erosão Permitidos, Degradação do Solo.

INTRODUCCIÓN

Los procesos que provocan una disminución de la capacidad productiva del suelo se denominan procesos de degradación (Gaitán et al., 2017). La degradación del suelo es un proceso multifacético que implica la disminución de su calidad debido al deterioro físico, químico y biológico, frecuentemente causado por prácticas inadecuadas de uso, como actividades agrícolas, sobrepastoreo y urbanización (Khaledian et al., 2016).

Los suelos sometidos a prácticas agrícolas exhiben un proceso de degradación caracterizado por una disminución en la cantidad de materia orgánica, nitrógeno total y bases intercambiables, además de una capacidad de intercambio catiónico reducida en comparación con suelos sin cultivo y áreas con vegetación natural (Buelvas, 2021 & Orellana et al., 2020) puntualizan que, los procesos de degradación de los ecosistemas naturales se deben a cambios en el uso del suelo, ya que observaron variación de los contenidos de N almacenado en el suelo con pérdida 12,5 kg ha⁻¹ por la conversión de un sistema natural a pastizal.

Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1,9 billones de hectáreas (25 % de la superficie terrestre), esto incluye 30 % de los suelos bajo riego, 47 % del suelo con agricultura de secano y 73 % del suelo bajo pastoreo, afectando al 40 % de la población mundial; la erosión es responsable del 85% de los suelos degradados (1,5 billones de hectáreas) además, 1500 millones de personas dependen para su alimentación de la producción de alimentos en suelos degradados (UNCCD, 2022).

En él, se señala que de los 6,6 millones de hectáreas que conforman la superficie agrícola del país, se cultivan 3,6 millones y de ellas, el 70% está afectada por procesos de degradación reconociéndose a la erosión, como uno de los factores limitantes de mayor relevancia, lo cual se traduce en que 2,9 millones de hectáreas están afectadas por este proceso.

La degradación de los suelos, y en particular la erosión, es uno de los problemas más importantes que enfrenta la agricultura cubana en la actualidad. Una serie de fenómenos naturales combinados con la acción descuidada del hombre han hecho posible que en Cuba el 40 % de los suelos presentan en la actualidad afectaciones por erosión (Pérez Jiménez et al., 1990).

La erosión de los suelos se ha extendido progresivamente al ámbito provincial, los índices promedios de rendimiento en los cultivos durante los últimos 20 años tienden a disminuir y aunque en algunas regiones afectadas se ha practicado tradicionalmente la aplicación de suelo sobre la superficie proveniente de zonas cercanas (localmente

denominada relleno), solo ha permitido, transitoriamente, compensar en parte su fertilidad, ya que la generalidad de las investigaciones realizadas adolecen de estrategias agroecológicas para mitigar los efectos negativos de la erosión.

Los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados han sido en general poco estudiados y el sector Norte de Pinar del Río es uno de los territorios más importantes desde el punto de vista agrícola y de la fertilidad de sus suelos. En estas zonas durante muchas décadas se han obtenido cosechas satisfactorias de tabaco (*Nicotina tabacum*), café (*Coffea arabica*), caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y en menor escala la producción de viandas y hortalizas. El mejor aprovechamiento en ellos debe ir encaminado a resolver los problemas fundamentales para protegerlos y mejorarlos, lo que se traducirá en la obtención de mayores rendimientos en el contexto de una agricultura sostenible.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un modelo ampliamente utilizado para predecir la erosión del suelo, estima la pérdida promedio anual causada por la erosión laminar y en surcos en laderas específicas durante un periodo de tiempo.

El objetivo del siguiente trabajo es Estimar las pérdidas de los suelos Ferralítico Rojo Lixiviados, según el modelo de erosión Morgan

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos Unidades Morfoedafológica del sector occidental de la sierra de los Órganos

Unidad Morfoedafológica (UME) I. “Canalete”

Esta unidad limita al Norte con la Sierra de los Órganos, al Sur con el reparto Villa Nueva, al Este con la Sierra Guacamaya y el pueblo de Puerto Escondido y al Oeste con Viñales.

Unidad Morfoedafológica (UME) II. “Ceja del Río”

Limitada al Norte con El Mirador, al Sur con Ceja de Luna, al Este con el pueblo de San Andrés y al Oeste con el Yuyal (Fig.1).



Figura 1. Toma satelital de la Unidad Morfoedafológica II “Ceja del Río”. (Fuente: Díaz Rivera et. al, 2024)

Figure 1. Satellite image of the Morphoedaphological Unit II “Ceja del Río”. (Source: Díaz Rivera et. al, 2024)

Temperatura máxima media

Las temperaturas máximas medias de los 37 años incluidos en esta investigación vienen representadas en el diagrama de barras de la Figura 2. Once años entre el 89 y el 2015 poseen valores de 30 o más, los mayores valores corresponden a los años 1990, 1994 y 2015 con 31, 30.8 y 30.7 °C respectivamente, mientras que los menores se dan

en 1980 y en 1995 (28.5 y 28.6 °C). Para la EHFA la temperatura máxima media de todo el período es de 29.67 °C, 0.67 °C superior a la isoterma para esa zona de 29 °C

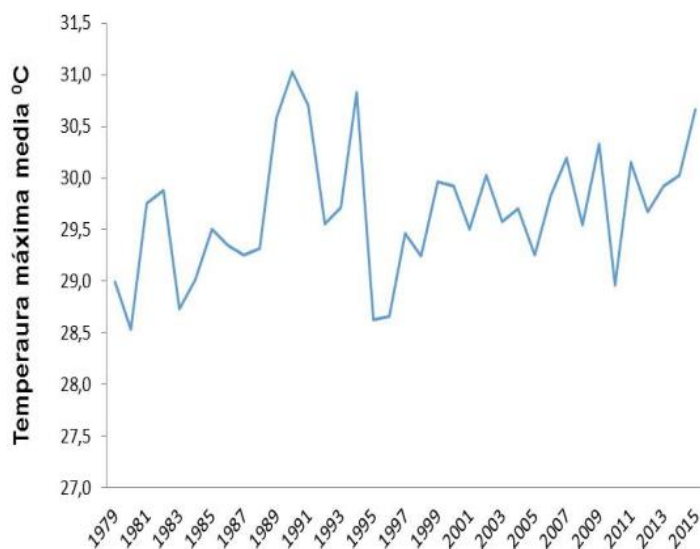


Figura 2. Temperatura máxima media; período 1979-2015. (Fuente: Plasencia Puentes et. al, 2020)

Figure 2. Average maximum temperature; period 1979-2015. (Source: Plasencia Puentes et. al, 2020)

Precipitaciones

En el comportamiento de las precipitaciones del período 1979-2019 en la EHFA, los años que sobrepasan los 2000 mm están por lo general marcados por algunos de estos fenómenos.

Los años con mayores promedios de precipitaciones son 1979, 82, 83, 95, 2005 y 2008 (Fig 3). En los años 1979, 1982, 1996 y 2001 ocurrieron ciclones y por otro lado como consecuencia del efecto del Niño, en el período 1982-1983, se presentaron 26 ciclones extratropicales en el Golfo de México y la precipitación fue de 3 a 5 veces mayor que el acumulado histórico para el período seco considerándose el invierno más húmedo en los últimos 50 años.

Posteriormente se presentó el evento 1994-1995 donde precipitaron 2816 mm para comportarse como el año más lluvioso en la Estación Amistad en el período de 41 años. Respecto a la lluvia total anual como promedio en la EHFA precipitan 1853 mm y de ellos corresponden 1389 mm (74,9 %) al período húmedo. En el período seco precipitan 465 mm (25,1 %).

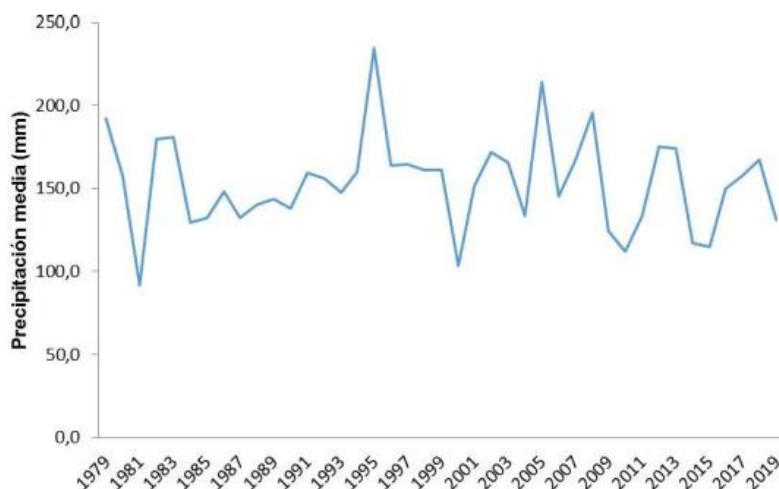


Figura 3. Comportamiento de las precipitaciones período 1979-2019 (Fuente: Plasencia Puentes et. al, 2020)
Figure 3. Precipitation behavior during the period 1979-2019 (Source: Plasencia Puentes et. al, 2020)

Cobertura edáfica

Los diferentes tipos de suelos presentes, de acuerdo con la versión digital del Mapa Nacional de Suelos escala 1:25 000 (Paneque et al., 1991), corresponden al Agrupamiento Ferralítico Rojo Lixiviado típico (Hernández., et al., 2015), donde el proceso de ferralitización es predominante. Asimismo el Instituto de Suelos (1980), evalúa la cobertura con aptitudes favorables para la agricultura con erosión en general leve, con buenas condiciones para el laboreo mecánico, pudiendo requerir eventualmente obras de drenaje, especialmente en aquellos sectores donde la morfogénesis cársica ha originado el desarrollo y evolución secuencial de depresiones superficiales, con dimensiones variables.

Tabla 1. Superficie ocupada por los principales tipos de suelos.

Table 1. Area occupied by the main types of soil.

Tipo (Paneque et al., 1991)	Superficie (ha)	World Reference Base (FAO, 2006)	Nueva versión de Clasificación (Hernández et al., 2015)
Ferralítico Rojo Lixiviado	348	Nitisol Rhodic	Ferralítico Rojo Lixiviado típico

Por otra parte y de acuerdo a los reportes de Marrero (1984), el solum se caracteriza por un contenido de materia orgánica entre el 2,1 a 3 %, la reserva de Ca y Mg son menores, en el primer caso de 250 Kg. ha⁻¹ y de Mg de 500 Kg. ha⁻¹.

Con relación a la reserva de los macroelementos primarios P₂O₅ y K₂O, en el primer caso oscila entre 10 y 20 Kg. ha⁻¹ y en el segundo 300 Kg. ha⁻¹. Respecto al comportamiento del equilibrio ácido - básico éste fluctúa entre 4,1 y 4,5. Su composición mecánica es franco arcillosa con predominio de las fracciones menores a 0,01 mm, con horizontes iluviales de coloración rojo - amarillento, que retienen eventualmente la percolación profunda de las aguas al interior del perfil. De hecho, en las superficies más erosionadas, las arcillas más compactas y plásticas afloran a la

superficie, formando grietas de desecación cuando se secan. Aún cuando se reporta que estos territorios son de grado de complejidad I (Belobrov et al., 1979).

Metodología general utilizada en la investigación

Descripción de perfiles y toma de muestras de suelos:

- Selección de perfiles principales y puntos de control en los tercios superior, medio e inferior en las flexuras del microrelieve.
- Descripción morfológico – genética de los horizontes de los suelos.
- Toma de muestras por profundidades hasta la profundidad de los horizontes de diagnóstico erosivo A + B 0-50 cm. De ese nivel en adelante, cada 20 cm. hasta profundidades nunca inferiores al metro.
- Selección en el transepto o toposecuencia de los perfiles con horizontes completos (sin erosión aparente), en calidad de perfiles de referencia o patrones.
- Utilización de la nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 2015).

Método cuantitativo (Modelo MMF). Morgan et al. (1984) presentaron un modelo empírico imple, actualizado posteriormente por Morgan (2001), para predecir la pérdida anual de suelo en pendientes. Se utilizaron los conceptos propuestos por Meyer y Wischmeier (1959) para proporcionar una base física más sólida que la de la USLE (Wischmeier y Smith 1960).

Mediante el empleo de este modelo, la predicción final de la pérdida de suelo se realiza comparando los valores obtenidos para la capacidad de transporte del flujo superficial (G) y para la remoción por salpicadura (F).

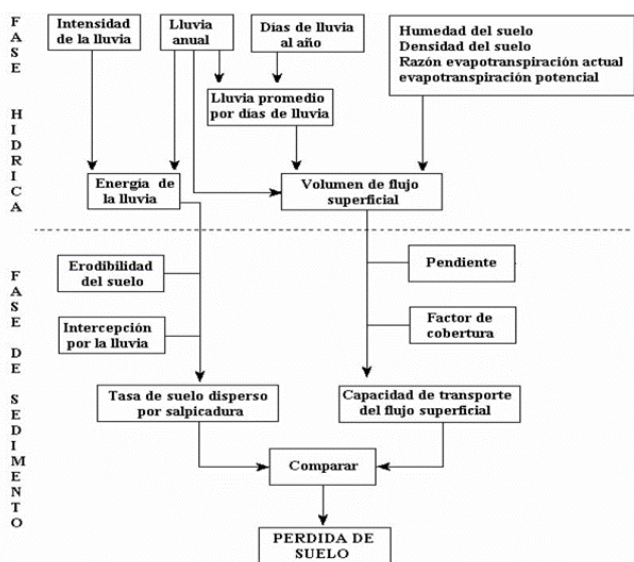


Figura 4. Diagrama de flujo del modelo (Morgan et al., 1984), (Morgan, 2001)

Figure 4. Flowchart of the model (Morgan et al., 1984), (Morgan, 2001)

El proceso erosivo se divide en dos fases una hídrica y otra de sedimentos.

a. Fase hídrica

En la misma, la erosión del suelo es el resultado de la desagregación de las partículas debido a la erosión por impacto y el transporte de las mismas por el flujo superficial por ello se necesita estimar la energía cinética del impacto de la lluvia (E) y el volumen de flujo superficial (Q).

$$E = 29,8 - (127,5 / I) \quad (5)$$

Donde:

E = energía cinética de la lluvia para climas tropicales (Hudson, 1965) (J/m²)

I = valor típico de la intensidad de lluvia para climas tropicales (25 mm/h)

$$Q = R \exp (- R_c / R_o) \quad (6)$$

$$R_c = 1000 * MS * BD * RD * (ET / E_0)^{0.5} \quad (7)$$

$$R_o = R / R_n \quad (8)$$

Donde:

Q = volumen del flujo superficial (mm)

R = cantidad de lluvia anual (mm)

R_c = valor crítico de almacenamiento de humedad.

R_o = lluvia promedio de los días de lluvia al año (mm / día)

MS = humedad del suelo (%)

BD = densidad del suelo (Mg. m⁻³)

RD = profundidad de enraizamiento (m)

ET = evapotranspiración actual

E₀ = evapotranspiración potencial

b. Fase de sedimentos

En esta fase se evalúa la tasa de suelo disperso por salpicadura (F) y por la capacidad de transporte del flujo superficial (G) mediante las ecuaciones siguientes:

$$F = 0.001 * K(E * \exp (0.05 * A)) \quad (9)$$

Donde:

F = partículas movilizadas por salpicadura (kg/m²)

K = índice de erodibilidad

E = energía cinética de la lluvia (J/m²)

A = factor de intercepción por la lluvia

$$G = 0.001 * C * Q^2 \text{ Sen } (S) \quad (10)$$

Donde:

G = capacidad de transporte del flujo superficial (kg/m²)

C = factor de vegetación

Q = volumen del flujo superficial (mm)

S = pendiente (grados)

La predicción final de la pérdida de suelo se realiza comparando los valores obtenidos para la capacidad de transporte del flujo superficial. (G) y para la remoción por salpicadura (F). El más bajo de ellos se toma como la tasa de pérdida anual de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación de las pérdidas de los suelos Ferralítico Rojo Lixiviados, según el modelo de erosión MMF (Morgan et al., 1984; Morgan, 2001)

Con el propósito de calcular la cantidad de suelo removido por efecto de las acciones conjuntas y simultáneas de la erosión hídrica, se aplicó un modelo de erosión paramétrico, sustentado en la dinámica de los procesos erosivos, las propiedades de los suelos, las características climáticas y el uso del suelo, lo cual permitió evaluar la magnitud de las pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en una región agrícola de laderas representativa del Norte de la provincia de Pinar del Río.

Estimación de la tasa de erosión por impacto (F)

Para ello se evaluó la ecuación de F en el modelo de Morgan et al., (1984), que requiere del cálculo previo de algunos parámetros y otros los estima a partir de las tablas de valores propuestas por los autores del modelo.

$$F = 0.001 * K(E * \exp(0.05 * A)) \quad (9)$$

Los valores utilizados como parámetros de entrada fueron los siguientes:

E = 33 590 J /m² calculada para una intensidad de lluvia erosiva en zonas tropicales 25 mm /h

K = 0.02 estimado para la textura arcillosa que caracteriza a los suelos Ferralíticos

A = 30 estimado para una ocupación del suelo por pastos

F = 3,01 Kg./m²

30,1 t/ha

Dada la homogeneidad de la cobertura edáfica, la ocupación del suelo y régimen de las precipitaciones en el área, que constituyen los parámetros de los cuales depende el valor de F, este resultado es característico de la dinámica de los procesos erosivos en que transcurre las UME I de “Canalete” y UME II de “Ceja del Río” para la zona de San Andrés

Estimación de la capacidad de transporte por el flujo superficial (G)

Se realizó a partir de la evaluación de la ecuación:

$$G = 0.001 * C * Q^2 \text{ Sen } (S)$$

De igual manera que en el caso de la evaluación de F (erosión por impacto), algunos parámetros fueron calculados y otros estimados de las tablas propuestas para el modelo. Los valores utilizados como parámetros de entrada fueron los siguientes:

- R = 1 903 m según datos de la estación de Galalón para el año 2024
- Rn = 172 según reportes de la estación de Galalón para el año 2024
- Ro = 19,18 (mm / día)
- MS = 0,45 estimada para la textura arcillosa que caracteriza a los suelos Ferralíticos
- BD = 1.30 Mg./m³ tomado de los perfiles principales de suelos
- RD = 0,05 m estimada de las tablas propuestas para el modelo
- ET/ E0 = 0.85 valorada de las tablas propuestas para el modelo
- Rc = 28, 21 calculado por la fórmula correspondiente.
- Q = 227,81 mm
- C = 0.05 estimado de las tablas propuestas para el modelo
- S (UME “Canalete”)
- S (UME “Ceja del Río”) = 13,5 grados
- = 10,8 grados

Dado que los valores de G (capacidad de transporte por el flujo superficial), dependen de la inclinación de las vertientes por donde se produce los valores energéticos del escurrimiento, el declive resultó en consecuencia diferente para cada una de las secciones investigadas por lo cual se utilizaron los datos de la morfométricos y los determinados en las evaluaciones de campo durante la realización de esta investigación.

En este sentido algunos productores en un intento desesperado de recuperar el fondo de tierra destinado al cultivo de tabaco y otros interés económico, han vertido y distribuido sobre las superficies apreciables volúmenes de suelos (localmente denominada “relleno”), especialmente en la UME I “Canalete”, donde la complejidad desde el punto de vista geomorfológico es mayor dada la diversidad de formas del relieve que posee.

Es de significar que durante la fase de ejecución de la investigación pudo constatarse que estos sectores así “beneficiados”, continúan erosionándose por lo cual esta práctica no fue nada efectiva tanto desde el punto de vista ambiental, por obstruir justamente las vías de drenaje por la cual tiene lugar el escurrimiento, reforzando la sedimentación aguas abajo, como en el orden económico.

Los valores de G obtenidos para las UME “Canalete” (60,6 t/ha/año) y “Ceja del Río” (48,6 t/ha/año), son mayores que los de F, por tanto, es el parámetro G quien en este caso evalúa la tasa de pérdida anual de suelo por m² del perfil longitudinal para cada segmento de laderas. Esto significa que para la correcta interpretación de este resultado, debe considerarse el sistema de vertientes, el cual se comporta de manera diferenciada con niveles de bases locales a manera de una microcuenca bien definida respecto a los productos generados por erosión (ya sea por el impacto de las lluvias, gravitacional o escurrimiento), provenientes de superficies automórficas vecinas, y a la cual arriban de

acuerdo con la estructura de la red de drenaje por al menos por dos cañadas o corrientes de flujo durante cada episodio de lluvia intensa.

La estimación del volumen de suelo removido hacia los sectores de mayor estabilidad geomorfológica a partir de los resultados obtenidos sobrepasan los límites permisibles en términos de erosión. (Tauta Muñoz, J. L., 2018) indicando la intensidad que ha alcanzado el proceso erosivo. La morfología de la superficie del suelo expresada por las líneas del drenaje que muestran los sectores que descienden hacia las zonas más depresionales, los afloramientos de las cortezas de intemperismo, formas erosivas de carácter lineal, etc., constituyen entre otros los rasgos de un proceso degradativo en pleno desarrollo, cuya subvaloración según (Febles González et. al, 2024), conducen a la fase paroxismal del proceso erosivo, dejando secuencialmente improductivas los suelos agrícolas.

La evaluación conjunta de los valores de G obtenidos por la aplicación del modelo de Morgan et al. (1984), así como los volúmenes calculados se corresponden con las categorías de erosión moderada y demuestran que los suelos del Agrupamiento Ferralítico Rojo Lixiviado presentes en estas regiones están afectados por procesos erosivos en pleno desarrollo, dando lugar a una reducción considerable del fondo de tierra destinado al cultivo del tabaco. Este resultado corrobora de forma cuantitativa lo que (Febles González et. al, 2022) expusieran en investigaciones similares en la provincia La Habana.

Es importante indicar que resulta difícil definir una propuesta de indicadores de erodabilidad que cubra adecuadamente el problema de la degradación de los suelos Ferralítico Rojos Lixiviados en regiones de laderas, aunque hay al menos dos sub indicadores que se revelaron manifiesta regularidad a partir de las investigaciones realizadas los bajos porcentajes de materia orgánica y la creciente compactación, directamente condicionada por la densidad del suelo e influida por la erosión, (Hidalgo, 2020); (Santander-Mendoza et. al, 2021); (Sánchez Pisco, 2024).

CONCLUSIONES

Los análisis realizados nos permiten concluir que:

- Los valores de G obtenidos para las UME “Canalete” (60,6 t/ha/año) y “Ceja del Río” (48,6 t/ha/año), son mayores que los de F, por tanto, es el parámetro G quien en este caso evalúa la tasa de pérdida anual de suelo por m² del perfil longitudinal para cada segmento de laderas.
- La aplicación del modelo de erosión de Morgan, Morgan y Finney, permitió obtener por primera vez la magnitud de pérdidas de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, con valores que sobrepasan los límites de tolerabilidad permisibles (54,6 t/ha/año) y que evidencia el progresivo desarrollo de los procesos erosivos en la región.

ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Los autores del manuscrito declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del mismo; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras que se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

REFERENCIAS

Belobrov, V., A. Marrero, M. Riverol, N. Castro, y R. Morzán (1979): Instrucciones metodológicas para la cartografía

- de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos, La Habana, 57 pp.
- Buelvas J. M. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 6(1), 28-34. Recuperado a partir de <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcyta/article/view/1080>
- FAO, I. (2006). ISRIC: world reference base for soil resource in world soil resource report no. 103. FAO, Rome, Italy.
- Febles González, J. M., Febles Díaz, J. M., Vega Carreño, M. B., Herrera Sorzano, A., Maura Santiago, A. V., Tolón Becerra, A., & Martínez Robaina, A. (2022). Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del Occidente de Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 12(2).
- Febles González, J. M. Díaz, J. M. F., Santiago, A. V. M., Becerra, A. T., do Amaral Sobrinho, N. M. B., & Zonta, E. (2024). Irreversibilidad de la degradación de los suelos ferralíticos rojos en áreas de influencia de las depresiones kársticas. *Cultivos Tropicales*, 45(1), 1-11.
- Gaitán, J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L., Pizarro, M. J., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Colección: Investigación, desarrollo e innovación INTA. Ediciones INTA.
- Hernández-Jiménez, Alberto, Pérez-Jiménez, Juan Miguel, Bosch-Infante, Dalmacio, y Speck, Nelson Castro. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1), e15. Recuperado en 26 de enero de 2024, de <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script>
- Hidalgo, R. R. (2020). Indicadores físicos e hídricos y uso del suelo en los frutales. *Suelos ecuatoriales*, 50(1), 40-53.
- Instituto de Suelo (1980): Clasificación Genética de los suelos de Cuba. Editorial Academia: 28pp.
- Instituto de Suelo (2001): Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. Ministerio de la Agricultura, Agrinfor, 38pp.
- Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E. C., & Aitkenhead-Peterson, J. (2016, April). Using Innovative Statistical Analyses to Assess Soil Degradation due to Land Use Change. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EPSC2016-1338).
- Marrero, A. (1984): Principales tipos de suelos como componentes de la cobertura de suelos de la provincia de Pinar del Río. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, , 136p.
- Morgan, R. P. C. (1997): Erosión y conservación del suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 343 pp.
- Morgan, R. P. C., D. D. V. Morgan, y H. J. Finney (1984): A predictive model for the assessment for soil erosion risk. *J. Agric. Eng. Res.*, 30 245-253.
- Morgan, R. P. C. (2001): A simple approach to soil loss prediction. a revised Morgan–Morgan–Finney model. *Catena*, 44:305 – 322.
- Orellana, R., Orellana, E. C. & Méndez, R. (2020). Calidad del agroecosistema de producción de cacao (*Theobroma cacao*L) en la finca Los Lirios municipio Sucre estado Portuguesa Venezuela. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 5(1), 3-8. Recuperado a partir de <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcyta/article/view/786>

- Paneque, J., E. Fuentes, A. Mesa, y A. Echemendía (1991): El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25 000. En Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo, La Habana, Memorias, (D. R. Villegas y D. Ponce de León, eds.), pp. 1345-1347.
- Pérez, J. M., Elbia D. Suárez., A. Ancizar., E. Vega., Migdalia Azcuy (1990): Mapa de erosión actual de los suelos escala 1: 250 000. Instituto de Suelos
- Plasencia Puentes, T.A.; Herrero Echevarría, J.A.; Renda Sayouz, A.; Saldívar Solís, A.; Escarré Esteve, A. (2020): Estación Hidrológico-Forestal “Amistad”: Antecedentes, principales resultados y perspectivas. Departamento de Ecología, Universidad de Alicante. ISBN: 978-959-16-4477-0. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/345313145_MONOGRAFIA_29_AGOSTO_DEFINITIVA
- Sanchez Pisco, L. B. (2024). Evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE, Babahoyo (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).
- Santander-Mendoza, Sol Desireet, Falcón-Acosta, María del Carmen, Suárez-Santana, Maylin, & Durán-Álvarez, José Luis. (2021). Degradación de estructura en un suelo agrogénico: análisis de factores incidentes, medidas de conservación asociadas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 30(4), . Epub 01 de diciembre de 2021. Recuperado en 26 de febrero de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542021000400003&lng=es&tlng=es
- United Nation Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2022). Perspectiva Global de la Tierra. United Nation. 304 p.
- Tauta Muñoz, J. L., Camacho-Tamayo, J. H., y Rodríguez Borray, G. A. (2018). Estimación de erosión potencial bajo dos sistemas de corte de caña panelera utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica, 21(2), 405-413. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1074>
- Rivera, J. R. D., González, J. M. F., Gómez, M. A. S., & Rodríguez, R. G. (2024). Assessment of the erosion proceses un Ceja del Río location, La Palma municipality. Revista ECOVIDA, 14(2), 204-213.
- Wischmeier, W. H. (1959): A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Pro. Soil Sci. Soc.Am., 23:246-249.
- Wischmeier, W. H., y D. D. Smith (1960): A universal soil equation to guide conservation farm planning. En 7th International Congress of Soil Sciences, Madison, Estados Unidos, Proceedings, pp. 418-425.