

Erodabilidad en suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del Pacífico de Nicaragua de Nicaragua

Erodability in Andisols, Mollisols and Vertisols soils from the Pacific Region of Nicaragua de Nicaragua

Treminio Corea, Maykeling Lisbeth; Mendoza Corrales, Reynaldo Bismarck; Garmendia Zapata, Miguel Angel

 **Maykeling Lisbeth Treminio Corea 1**
maykeling.treminio@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

 **Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales 2**
rmendoza@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

 **Miguel Angel Garmendia Zapata 3**
garmendiaz@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

La Calera

Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
ISSN: 1998-7846
ISSN-e: 1998-8850
Periodicidad: Semestral
vol. 23, núm. 41, 2023
Edgardo.jimenez@ci.una.edu.ni

Recepción: 23 Mayo 2023
Aprobación: 25 Agosto 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/306/3064360002/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v23i41.16678>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: Los modelos de predicción son una alternativa para reducir costos por monitoreo de la erosión en campo. El objetivo de esta investigación fue proponer un modelo local de mayor predicción de la erodabilidad, para esto, treinta muestras de suelo fueron colectadas en siete municipios de la región del Pacífico de Nicaragua en suelos Andisoles, Mollisoles, y Vertisoles, bajo diferentes usos productivos. Las variables estudiadas en campo fueron: permeabilidad superficial y tipo de estructura. En laboratorio; granulometría, materia orgánica y estabilidad de agregados. Los análisis estadísticos se realizaron en el software RStudio (2022), aplicándose pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks, análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y el Modelo de Regresión Lineal Múltiple. Donde las variables con mayor incidencia en la erodabilidad son el porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina y la permeabilidad superficial. El modelo de Regresión Lineal Múltiple propuesto $K = -0.0608 + 0.0076(a) + 0.0123(b) - 0.0261(c) - 0.000056(d) + 0.0011(e)$, encontró que las variables: porcentaje de limo (a), porcentaje de arena muy fina (b), contenido de materia orgánica (c), permeabilidad superficial (d) y estabilidad de agregados (e), presentan alto y significativo poder predictivo de 87.64 %, con una $P_r(>|t|) = 2.06 \times 10^{-10}, 5.34 \times 10^{-5}, 8 \times 10^{-4}, 12 \times 10^{-2}, 11 \times 10^{-2}$ respectivamente.

Palabras clave: modelo de regresión lineal múltiple, permeabilidad superficial, estabilidad de los agregados, porcentaje de limo, contenido de materia orgánica.

Abstract: Prediction models are an alternative to reduce costs for monitoring soil erosion in the field. The objective of this research was to propose a local model of greater erodibility (K) prediction, for this, thirty soil samples were collected in seven municipalities of the Pacific region of Nicaragua in Andisols, Mollisols, and Vertisols soils, under different productive uses. The variables studied were: surface soil permeability and soil type structure in the field. In the laboratory; granulometry, soil organic matter and soil aggregates stability. Statistical analyzes were performed using the RStudio (2022) software, applying Shapiro-Wilks normality tests, Kruskal-Wallis non-parametric analysis, and the Multiple Linear Regression Model. Were the variables with the highest incidence in the soil erodibility are

the percentage of silt, very fine sand, and the superficial soil permeability. The proposed Multiple Linear Regression model $K = -0.0608 + 0.0076(a) + 0.0123(b) - 0.0261(c) - 0.000056(d) + 0.0011(e)$, found that the variables: percentage of silt (a), percentage of very fine sand (b), organic matter content (c), surface permeability (d) and aggregate stability (e), present high and significant predictive power of 87.64%, with a $P_r(>|t|) = 2.06 \times 10^{-10}$, 5.34×10^{-5} , 8×10^{-4} , 12×10^{-2} and 11×10^{-2} respectively.

Keywords: Multiple linear regression model, surface permeability, aggregate stability, silt soil percentage, soil organic matter content.

El modelo más conocido para predecir pérdidas de suelo por erosión hídrica es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS por sus siglas en inglés). Algunos factores de la ecuación han sido modificados de acuerdo con el lugar y condiciones del medio donde se aplica (Ramírez *et al.*, 2009). Lal y Elliot (1994) señalan que “La erodabilidad del suelo, es una medida de la susceptibilidad de éste a la disgregación o separación de las partículas y al transporte de éstas por agentes erosivos” como se cita en Abarzúa (2017, p. 3). El factor K (coeficiente de erodabilidad) toma su valor en función de las propiedades físicas del suelo responsables de la formación y estabilidad de la estructura, de la capacidad de almacenar y transmitir agua a través del espacio poroso. Wischmeier y Smith (1978) determinaron el coeficiente de erodabilidad (K), a través de las propiedades físicas: textura, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

Los modelos de predicción son una alternativa para reducir costos por monitoreo de la erosión en campo. Por ejemplo, en los Estados Unidos, en 1946 se establecieron 100 000 parcelas de erosión para entender la relación entre factores y así, desarrollar un primer modelo de predicción “Corn Belt Equation”. En 1976, el Servicio de Conservación de Suelo de USDA, publicó el modelo de predicción USLE (ecuación universal de pérdidas de suelo), modificado por Wischmeier y Smith en 1978.

En Nicaragua entre los años 1989 y 2002, se establecieron más de 40 parcelas de erosión (Mendoza y Rivas, 1996; Mendoza y Cassel, 2002) para validar el modelo de Wischmeier y Smith (1978). En el año 2000, en dos pequeñas unidades hidrográficas, se instalaron seis colectores automatizados de sedimentos (Rivas, 2023). Estos estudios, reportaron tasas de erosión, menores a los valores de predicción computados a través del modelo EUPS. Fenómeno relacionado a la presencia de un micro relieve que intercepta la escorrentía a mayor longitud del gradiente, y a la ocurrencia de rápidas tasas de infiltración de agua, en suelos derivados de cenizas volcánicas.

El presente estudio propone una correspondencia entre la tasa de infiltración de agua en el suelo y la permeabilidad. Incorpora la estabilidad de los agregados en agua, en lugar del simple código de tipo de agregado que propuso Wischmeier y Smith (1978). Obteniendo un modelo adaptado del factor K, que permitiría en Nicaragua, utilizar con mayor precisión el modelo USLE, y así facilitar a los planificadores

NOTAS DE AUTOR

- 1 Ingeniera Agrícola, Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía
- 2 MSc. en Recursos Naturales – especialidad en ciencias del suelo y mención en estadística, departamento de Manejo de cuencas, Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente
- 3 MSc. en Biología Ambiental y de Bosques - Ecología, departamento de Manejo de Bosques y Ecosistemas, Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente

del uso de la tierra, reducir costo por monitoreo de erosión en campo, considerando que las variables contenido de limo, materia orgánica en el suelo, permeabilidad superficial y estabilidad de los agregados en agua, optimizan el valor de K, contribuyendo a mejorar el poder predictivo del modelo USLE, para suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del pacífico de Nicaragua.

El objetivo de esta investigación es estudiar el comportamiento de la erodabilidad en los suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del pacífico de Nicaragua, a la vez, proponer un modelo local de mayor predicción de la erodabilidad a partir del contenido porcentual de limo, materia orgánica, permeabilidad superficial y estabilidad de los agregados en agua, en los suelos antes mencionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se desarrolló en los municipios de Telica, León, Tipitapa, Granada, Diriá, Masaya y Niquinohomo, ubicados en la región del pacífico de Nicaragua. El muestreo se realizó en el 2022 en los órdenes de suelo Andisoles, Mollisoles y Vertisoles; su localización se observa en Figura 1.

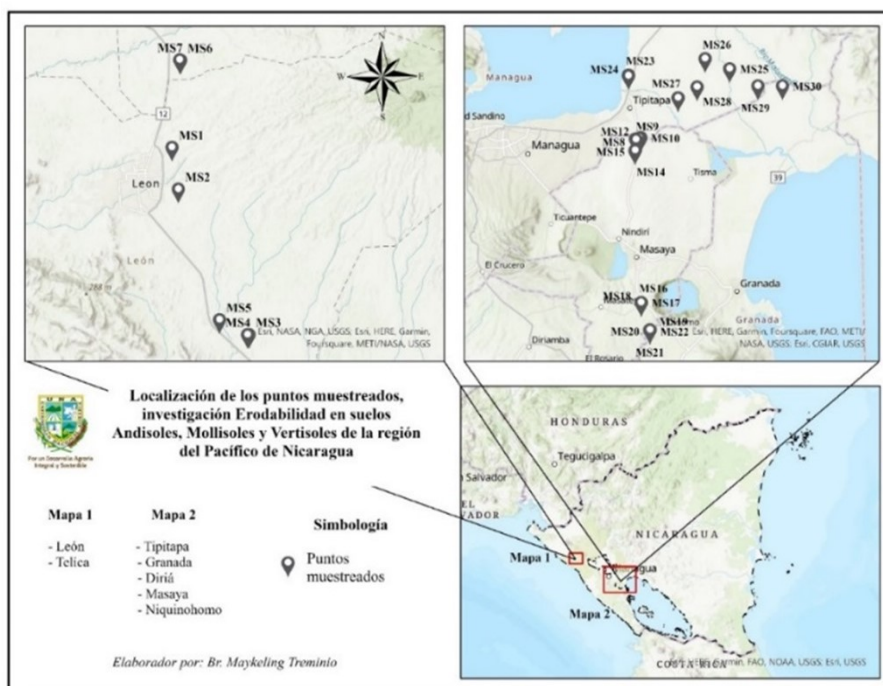


FIGURA 1. Localización de los puntos muestreados en los municipios de Telica, León, Tipitapa, Granada, Diriá, Masaya y Niquinohomo, Nicaragua, 2022.

Condiciones edafoclimáticas

En la región del Pacífico de Nicaragua, los materiales volcánicos expulsados están formados por roca volcánica, escoria y ceniza que varían en sus características físicas, (grado de cementación) y químicas (p. II-593). (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1971). En la región del Pacífico la temporada de lluvia es opresiva y nublada, con precipitaciones promedio de 1 000 mm a más de 1 400 mm. La temporada seca es

bochornosa, ventosa y mayormente despejada y la temperatura varía de 20 °C a 34 °C y rara vez baja a 18 °C [Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2019)].

Según el INETER (2021), los suelos Andisoles son de origen volcánico por antonomasia, se forman de cenizas, vidrios volcánicos, materiales piroclásticos, de colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura y fáciles de trabajar. Presentan una horizonación típica de suelos jóvenes A-Bw-C-R (p. 44). Los suelos Mollisoles, son suelos oscuros, enriquecidos por materia orgánica, suaves, bien estructurados, no son duros ni masivos cuando secos, de alta fertilidad natural. Su horizonación es A-Bt-C-R o pueden encontrarse otras variantes en función del grado de desarrollo del suelo (p. 45). Los suelos Vertisoles corresponden a suelos muy arcillosos; durante las épocas secas se agrietan y durante el período lluvioso se expanden y se encharcan con facilidad por su estructura prismática, son muy pesados para laborarlos, aunque desde el punto de vista químico son ricos en nutrientes (Ca, Mg, Na, K), pueden contener cantidades considerables de materia orgánica y carbonatos de calcio. (p. 46)

Diseño metodológico y recolección de datos

Treinta puntos de muestreo fueron seleccionados en los municipios de Telica, León, Tipitapa, Masaya, Niquinohomo, Diriá y Granada; en los cuales predominan los cultivos de maní, pasto, granos básicos, arroz, bosque ralo y sistemas agroforestales. Para la selección de los puntos de muestreo se consideró la existencia de base de datos de investigación en erosión de suelo. Las muestras se tomaron a 10 cm de profundidad y se trasladaron al laboratorio de suelos y agua de la Universidad Nacional Agraria (LABSA – UNA), localizado en Managua, para realizar análisis de textura, materia orgánica y estabilidad estructural de los agregados en agua.

La textura se determinó con el método de la Pipeta (código LABSA-FS-P03). El porcentaje de materia orgánica con el método GLOSOLAN-SOP-02. El tipo de estructura se determinó por observación visual, según la guía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999) y los códigos de la estructura se categorizaron según la USLE (Cuadro 1).

CUADRO 1.
Clases de estructuras superficiales

Código	Estructura	Diámetro de partículas
1	Granular muy fina	($\emptyset < 1 \text{ mm}$)
2	Granular fina	($1 \text{ mm} < \emptyset < 2 \text{ mm}$)
3	Granular de media a gruesa	($2 \text{ mm} < \emptyset < 10 \text{ mm}$)
4	Cúbica, laminar o masiva	

Gisbert *et al.* (2012).

Permeabilidad superficial ()

Se estimó en campo a través del método de infiltración con anillos sencillos (USDA, 1999). Aplicando tres pulgadas de agua, donde se asumió la primera pulgada de agua como sortividad, la segunda pulgada de agua

infiltrada como infiltración estable y la tercera pulgada como la permeabilidad superficial, la clasificación de éstas se presenta en el Cuadro 2.

CUADRO 2.
Clases de permeabilidad (I)

Código	Permeabilidad superficial	Velocidades de infiltración (mm h ⁻¹)
1	Rápida	
2	De rápida a moderada	
3	Moderada	
4	De moderada a lenta	
5	Lenta	
6	Muy lenta	

Gisbert *et al.* (2012).

Estabilidad de agregados en agua

El porcentaje de estabilidad de los agregados se determinó en el LABSA-UNA con la metodología de Grossman (1987), adecuada al manual del equipo de tamizado húmedo (Eijkelkamp, 2018). El procedimiento en el laboratorio consistió en:

1. Secado de muestra de suelo al aire y pase por los tamices de a 2 a 1 mm .
2. Colocar los tamices en el soporte del equipo y las latas numeradas.
3. Agregar 80 ml de agua destilada a las latas, de modo que la muestra se mueva bajo el agua durante el tamizado.
4. Pesar 3 g de la muestra de suelo de 1 - 2 mm y agregarlo a los tamices.
5. Colocar el soporte de tamiz en la posición de trabajo, colocando el soporte del tamiz en el segundo orificio del eje.
6. Comprobar si el interruptor de red está en la posición “of” y coloque el adaptador en un enchufe de pared.
7. Poner en marcha el motor con el interruptor de red en la posición “3 min” y dejar que suba y baje el porta-tamices durante 3 min (recorrido = 1.3 cm, a unas 34 veces/min), al final de este tiempo el motor se detendrá automáticamente.
8. Después del tamizado húmedo, agregar el contenido retenido en el tamiz a una tara previamente pesada y lleve al horno durante 24 horas a una temperatura de 105 °C .
9. Pesar el contenido una vez que esté seco.
10. Agrega 80ml de Hexametáfosfato de sodio ($NaPO_3$)₆ a las latas y el contenido del suelo al tamiz receptor.
11. Sumergir la muestra de suelo en el agente dispersante durante 30 min y luego ponga en marcha el equipo durante 10 minutos.
12. Después del tamizado húmedo con el agente dispersante, agregar el contenido retenido en el tamiz a la tara antes usada y lleve al horno durante 24 horas a una temperatura de 105 °C .
13. Pesar el contenido una vez que esté seco.
14. Los 2 - 0.5mm retenidos en el tamiz después del tratamiento de dispersión se restan del peso retenido y el peso inicial de la muestra en el cálculo del porcentaje de retención.

Nota. Para suelos vertisols (arcillas 2:1 montmorillonita), el terrón de la muestra se humedeció 50% , para desagregar los agregados grandes a un tamaño entre 2 - 4mm , para el análisis de estabilidad.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron en el programa R 4.2.2 (R Core Team, 2022) y su interfaz RStudio 2022.07.1 (RStudio Team, 2022), con un nivel de significancia de 0.05. Se aplicaron pruebas de normalidad Shapiro– Wilk; y el análisis Kruskal– Wallis, para análisis de independencia no paramétrica (medianas), considerada una alternativa al ANDEVA. La variable numérica es K (erodabilidad) y las variables categóricas fueron: orden, gran grupo, y estructura del suelo. Para comparación múltiple se utilizó a Dunn.

El coeficiente de correlación de Spearman se utilizó para determinar la dirección y fuerza de las correlaciones y nivel de significancia. Donde la variable dependiente es K, con las independientes; limo, arena muy fina, arcilla, permeabilidad superficial y materia orgánica.

El modelo regresión lineal múltiple creado en esta investigación es para predecir los valores de la variable dependiente erodabilidad (K). El modelo aplicado fue: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$ donde, Y : representa el factor K , ($t \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$), β_0 : ordenada del origen del plano de regresión, X_1 : porcentaje de limo, X_2 : porcentaje de materia orgánica , X_3 : permeabilidad superficial ($mm \cdot h^{-1}$), X_4 : porcentaje de estabilidad de los agregados, y ε error de la ecuación.

Los supuestos del modelo de Regresión Lineal Múltiple fueron: linealidad se refiere a que la relación entre las variables sea lineal; normalidad que determina si los datos siguen una distribución normal; homocedasticidad que se refiere a la homogeneidad de la varianza de los residuales; independencia de los residuales que explora si los residuales son dependientes (están correlacionados) o son independientes (no están correlacionados).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La erodabilidad de los suelos

La erodabilidad del suelo es un factor afectado significativamente por su localización, tipo de suelo, estructuras desarrolladas, y el uso de este (Figura 2). En este estudio se evidencia que los valores de erodabilidad ($t \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$) calculados fueron significativamente diferentes entre ordenes de suelo ($p = 0.0006$), y subgrupos taxonómicos ($p = 0.0001$), presentando el suelo *Durustolls* la mayor erodabilidad y el *Haplusterts* el menor valor de K.

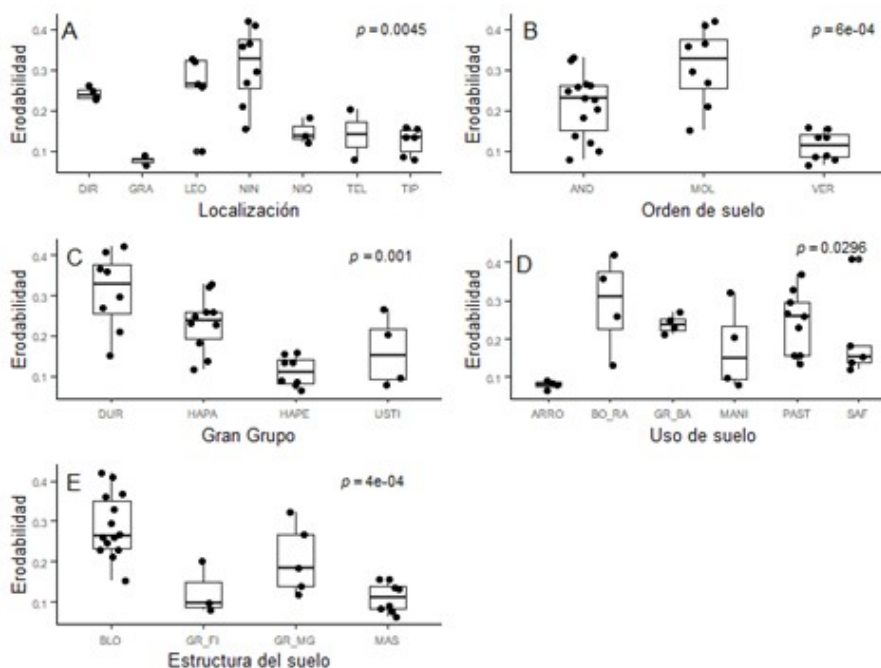


FIGURA 2.

Comparación de la erodabilidad en función de B. Orden de suelo (AND: Andisols, MOL: Mollisols y VER: Vertisols), C: Gran Grupo (DUR: Durustolls, HAPA: Haplustands, HAPE: Haplusterts y USTI: Ustivitrands), para los suelos de la región Pacífica de Nicaragua, 2022.

Propiedades y erodabilidad de los suelos

El análisis de correlación de Spearman (Figura 3), mostró una correlación positiva ($r_s = 0.69$) entre el porcentaje de limo y el valor de K, relación considerada moderadamente fuerte y significativa ($p \leq 0.001$). También, el porcentaje de arena muy fina presentó una correlación positiva ($r_s = 0.43$) moderada y significativa ($p \leq 0.05$), con respecto a K. El análisis también muestra una correlación negativa ($r_s = -0.46$), entre la permeabilidad superficial y la erodabilidad, con una relación moderada y significativa ($p \leq 0.05$). Los suelos sensibles a la erosión serán aquellos que tengan partículas débilmente unidas y una permeabilidad muy baja (Cantero, 2021).

Sin embargo, el porcentaje de materia orgánica y contenido de arcillas no fueron influyentes en la erodabilidad (Figura 3), debido a la mineralogía variante de las arcillas en estos suelos; partiendo de arcillas del tipo 2:1 (montmorillonita) a las amorfas del tipo alófanas. Según, Sánchez (1981), “Los Vertisoles, Molisoles, y Andisoles y Entisoles tienen familias mineralógicas montmoriloníticas, vermiculitas, cloríticas, ílticas, carbonáticas, silíceas o mezcladas” (p. 142).

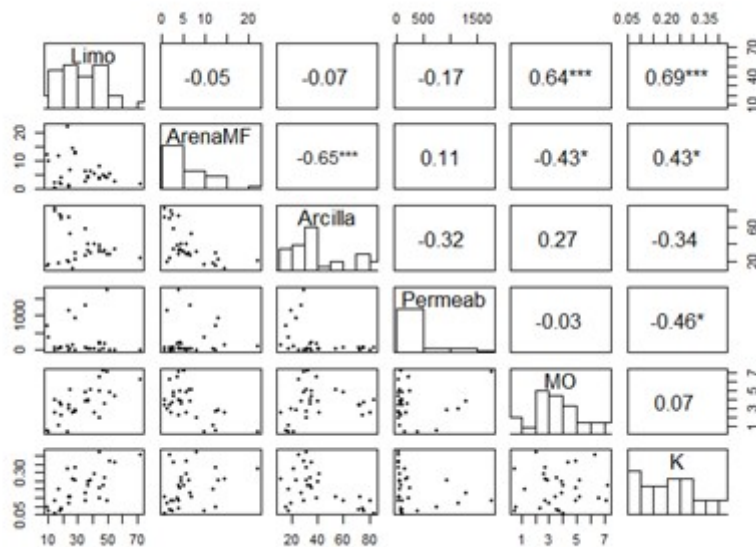


FIGURA 3.

Correlación entre las variables % limo, % arena muy fina (ArenaMF), % arcilla, permeabilidad (mm h⁻¹), materia orgánica (% MO) y erodabilidad (t·ha·h·MJ⁻¹·ha⁻¹·mm⁻¹, K). La diagonal representando la distribución de cada variable; sobre la diagonal se presenta los valores de correlación y significancia (asteriscos); bajo la diagonal la dispersión para cada par de variable. Suelos de la región Pacífica de Nicaragua, 2022.

Modelo propuesto de erodabilidad

El modelo propuesto predice con un 87.64 % de variabilidad la erodabilidad de los suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles, de acuerdo con el coeficiente de determinación ajustado. Estos coeficientes son significativos para: porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, contenido de materia orgánica, permeabilidad superficial y estabilidad de los agregados en agua; con valores de probabilidades $Pr(> |t|) = 2.06 \times 10^{-10}, 5.34 \times 10^{-5}, 8 \times 10^4, 12 \times 10^2$ y 11×10^2 , respectivamente.

El modelo identifica los diferentes interceptos para cada variable, en lenguaje del software Rstudio (ec.1), los que fueron transformados al lenguaje matemático (ec.2).

El Modelo de Regresión Lineal Múltiple propuesto para determinar la erodabilidad en suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del Pacífico corresponde a:

$$K = -6.08e - 2 + 7.64e - 3(Limo) + 1.23e - 2(ArenaMF) + (-2.61e - 2(MO)) + (-5.6e - 5(Permeab)) + 1.1e - 3(EAA) \quad (ec. 1)$$

finalmente

$$K = -0.0608 + 0.0076(a) + 0.0123(b) - 0.0261(c) - 0.000056(d) + 0.0011(e) \quad (ec. 2)$$

Donde:

K: Erodabilidad (t·ha·h·MJ⁻¹·ha⁻¹·mm⁻¹)

a : Porcentaje de limo (%)

b : Porcentaje de arena muy fina (%)

c : Porcentaje de materia orgánica (%)

d : Permeabilidad superficial ($mm \cdot h^{-1}$)

e : Estabilidad estructural de los agregados (%)

Los modelos de Regresión Lineal Simple de cada variable indican que solamente el limo tiene el poder predictivo para la erodabilidad ($R^2 = 0.4545$, $p = 2.653 \times 10^{-5}$); en cambio el porcentaje de arena muy fina, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad superficial y estabilidad de los agregados no tienen las características para poder predecir con precisión el factor K. Sin embargo, las cinco variables en el modelo de Regresión Lineal Múltiple son significativas, consistente y con alto poder de determinación de la erodabilidad.

CONCLUSIONES

La erodabilidad en los suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del Pacífico de Nicaragua incrementa a medida que aumentan los porcentajes de limo y de arena muy fina. Sin embargo, esta erodabilidad es afectada por la disminución de la permeabilidad superficial de agua en el suelo. Es decir, a medida que aumenta la permeabilidad superficial disminuye el valor de la erodabilidad.

El modelo de regresión generado $K = -0.0608 + 0.0076(a) + 0.0123(b) - 0.0261(c) - 0.000056(d) + 0.0011(e)$, tiene un poder predictivo de 87.64 % y se encontró que las variables, porcentaje de limo (a), porcentaje de arena muy fina (b), contenido de materia orgánica (c), permeabilidad superficial (d) y estabilidad de los agregados (e), presentaron alto y significativo poder predictivo para determinar el valor de la erodabilidad (K) para los suelos Andisoles, Mollisoles y Vertisoles de la región del Pacífico de Nicaragua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarzúa Muñoz, A. C. (2017). *Evaluación de la erodabilidad de algunos suelos de Chile de uso actual forestal mediante índices basados en propiedades del suelo de fácil medición* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio académico <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151383/Evaluacion-de-la-erodabilidad-de-algunos-suelos-de-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cantero Benitez, M. (2021). *Erosión hídrica*. <https://www.studocu.com/co/.document/universidad-pontificia-bolivariana/sistemas-de-gestion/.erosion-hidrica/14052684>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Eijkkamp Soil y Water. (2018). *Manual aparato de tamizado húmedo*. <https://sp.eijkkamp.com/productos/equipos-de-laboratorio/especificaciones-tecnicas-estabilidad-de-los-agregados.html>
- Grossman, R. B. (1987). *Methods appendix: Agronomically-related soil survey characterization procedures*. Soil Scientist, NSSL.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2019). *Precipitaciones, temperaturas media mínima y máxima anual*. INETER.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2021). *Primer atlas Nacional de Suelos de la República de Nicaragua*. Clasificación taxonómica de los suelos. INETER.
- Mendoza Corrales, R. B. y Rivas Cerda, D. (1996). *Informe anual parcelas de escurrimiento con el proyecto agroforestal El Pital*. Universidad Nacional Agraria
- Mendoza Corrales, R. B. & Cassel, D. K. (2002). *Hedgerows and their effects on crop productivity and soil loss induced by water and tillage erosion on small runoff plots in the el pital watershed, Nicaragua*.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1971). *Levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua*.
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing* (versión 4.2.1) [software]. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez Ortiz, F. A., Hincapié Gómez, E. y Sadeghian Khalajabadi, S. (2009). Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetalera del departamento de caldas. *Cenicafé*, 60(1), 58-71. [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060\(01\)58-71.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060(01)58-71.pdf)
- Rivas, D. (2023). *Cultivate Steepland of the "El Pital" watershed Nicaragua. Characterization, classification and hydrology of volcanic soil*. <https://www.researchgate.net/publication/33770970> Cultivated steeplands on the El Pital watershed Nicaragua characterization classification and hydrology of volcanic soils
- RStudio Team. (2022). *RStudio: Integrated Development for R*. <http://www.rstudio.com>
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA.