

ARTÍCULO ORIGINAL

# La erodibilidad de los principales suelos de la cuenca V Aniversario del Río Cuyaguaje: su relación con otras propiedades

## *Erodibility for the main soils in V Aniversario watershed of Cuyaguaje River: relationship with other properties*

Jorge Díaz Suárez<sup>1</sup>, María E. Ruiz Pérez<sup>2</sup>, Zuzel Leal Cuba<sup>1</sup>, Gustavo Alonso Brito<sup>1</sup> y Donald Gabriels<sup>3</sup>

**RESUMEN.** La erosión hídrica es el proceso de degradación más extendido en los suelos cubanos con más del 43,3% del área agrícola entre fuerte y medianamente erosionada. Una de las regiones fuertemente afectadas por la erosión hídrica es la Cuenca del Río Cuyaguaje localizada en la provincia de Pinar del Río. Esta región se caracteriza por un relieve ondulado y suelos susceptibles a la erosión. En este trabajo se presenta el resultado de 18 simulaciones de lluvia realizadas en la subcuenca V Aniversario en la parte norte del Río Cuyaguaje para suelos agrícolas de importancia en la región. En un análisis preliminar de la erodibilidad, se observa que todos los suelos no satisfacen el nomograma presente en el modelo RUSLE. Al estudiar la relación de la erodibilidad con diferentes propiedades de los suelos no se observan tendencias claras. El agrupamiento de los suelos en base al cociente Capacidad de Cambio de Base/Arcilla mejora considerablemente la correlación intragrupo, se examinan las tendencias por grupo y se evalúa la humedad al potencial de 1 500 kPa como indicador de la erodibilidad.

**Palabras clave:** erosión hídrica, modelo RUSLE, indicador, retención de agua.

**ABSTRACT.** Water erosion is the most broadly extended degradation process on Cuban soils, with more than 43.3% of the agricultural area classified between medium and strongly eroded. One of the regions strongly affected by water erosion is the Cuyaguaje River watershed, located in Pinar del Río province. This region is characterized by an undulating landscape and soils susceptible to erosion. This work presents the result of 18 rainfall simulation experiments done on the agricultural main soils in the V aniversario subwatershed at the northernmost part of Cuyaguaje watershed. In a preliminary analysis of the erodibility, it shows a low correlation between RUSLE nomograph predicted values and observed ones. The relationship between soil properties and erodibility show no clear tendency. The segregation of the data set in groups based on the ratio Cation Exchange Capacity/clay content improved considerably the intragroup correlation. The tendency for each group is analyzed and a model based on moisture content at 1 500 kPa is evaluated as erodibility index.

**Keywords:** water erosion, RUSLE model, indicators, water retention.

## INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es el proceso de degradación más extendido en los suelos cubanos con más del 43,3% del área agrícola entre fuerte y medianamente erosionada (Alonso, 2006). Una de las regiones fuertemente afectadas por la erosión hídrica es la Cuenca del Río Cuyaguaje localizada en la provincia de Pinar del Río. Esta región se caracteriza por

un relieve ondulado y suelos susceptibles a la erosión. La posición latitudinal de la cuenca, similar a las demás de grandes dimensiones en el país, favorece el desarrollo de un volumen de escurrimiento superior a otras corrientes en zonas cársticas del país (CTCH, 2000).

Los cuatro factores medioambientales que determinan la erosión y la sedimentación son el clima, el suelo, la topografía y uso de la tierra. Cada factor opera independiente e interacti-

**Recibido** 17/03/11, aprobado 20/07/12, trabajo 55/12, artículo original.

<sup>1</sup> M. Sc. Profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigaciones Agrofísicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, E-✉: [jdiaz@isch.edu.cu](mailto:jdiaz@isch.edu.cu)

<sup>2</sup> Dr. C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigaciones Agrofísicas,

<sup>3</sup> Dr. C., Profesor Titular, Departamento de Manejo y Cuidado de Suelos, Universidad de Gante, Bélgica.

Colaboradores de la investigación: Yeleine Almoza Hernández, M. Cornelis y W. Schiettecatte, a los que se le agradece su participación.

vamente (Terrence *et al.*, 2002). Para la evaluación de la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica se recomienda el establecimiento de parcelas de observación, pero razones de costo y tiempo han dado paso al uso de parcelas con lluvia simulada (Morgan, 2005). La pérdida de suelo observada ante el evento de lluvia puede ser relacionada con las propiedades de los suelos para el establecimiento de funciones de pedotransferencia.

El empleo de las funciones de pedotransferencia por los modelos de simulación, una de las herramientas más usadas para la estimación de las pérdidas potenciales o reales de suelo (Morgan, 2005), permite hacer uso de la información disponible o de fácil adquisición. Entre ellos está el modelo RUSLE (Ecuación de Pérdidas de Suelo Universal Revisada) (Renard, *et al.*, 1997), en el cual la susceptibilidad del suelo a la erosión se evalúa mediante el llamado factor “K” o erodibilidad del suelo. El valor de K se puede estimar a partir de la distribución de tamaño de las partículas primarias del suelo (textura), contenido orgánico, estructura y la permeabilidad del terreno (Wischmeier *et al.*, 1971), relación conocida como nomograma. Los valores de erodibilidad del suelo han sido descritos satisfactoriamente para muchos suelos agrícolas en EEUU (Wischmeier y Smith 1978) y para suelos Ferralíticos y Ferruginosos en África Occidental

(Roose 1977). Los valores de K para los suelos con características similares a lo de EEUU existe una correlación cercana entre los valores predichos y los valores medidos, pero las predicciones más inexactas son obtenidas cuando es necesario extrapolar los valores del nomograma.

Este trabajo tiene como objetivo, determinar el comportamiento erosivo de los principales suelos agrícolas de la subcuenca V Aniversario del Río Cuyaguaje, a partir de 18 simulaciones de lluvia y establecer indicadores que permitan agrupar los suelos estudiados según su comportamiento erosivo.

## MÉTODOS

### Localización del área experimental

Las simulaciones de lluvia se llevaron a cabo en la subcuenca V Aniversario (ver Figura 1), uno de los cierres hidrográficos naturales de la cuenca del río Cuyaguaje. La subcuenca V Aniversario abarca parte de los municipios Viñales y Minas de Matahambre con una extensión de 157 km<sup>2</sup> y coordenadas 22°24'6" – 22°35'40" Latitud Norte, 83°47'55" – 83°56'9" Longitud Oeste.



FIGURA 1. Ubicación geográfica de la subcuenca V Aniversario, perteneciente a la cuenca del Río Cuyaguaje.

### Selección de los suelos para las simulaciones

En total fueron seleccionadas 18 parcelas teniendo en cuenta los perfiles representativos de acuerdo al mapa de suelo 1:25000, basado en la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, de Hernández *et al.* (1975), además de las

condiciones de accesibilidad, pendiente uniforme y parcelas con uso agrícola indispensables para la realización de las simulaciones de lluvia. Los diferentes tipos de suelos presentes en la subcuenca, así como los sitios seleccionados para las simulaciones se muestran en la Figura 2.

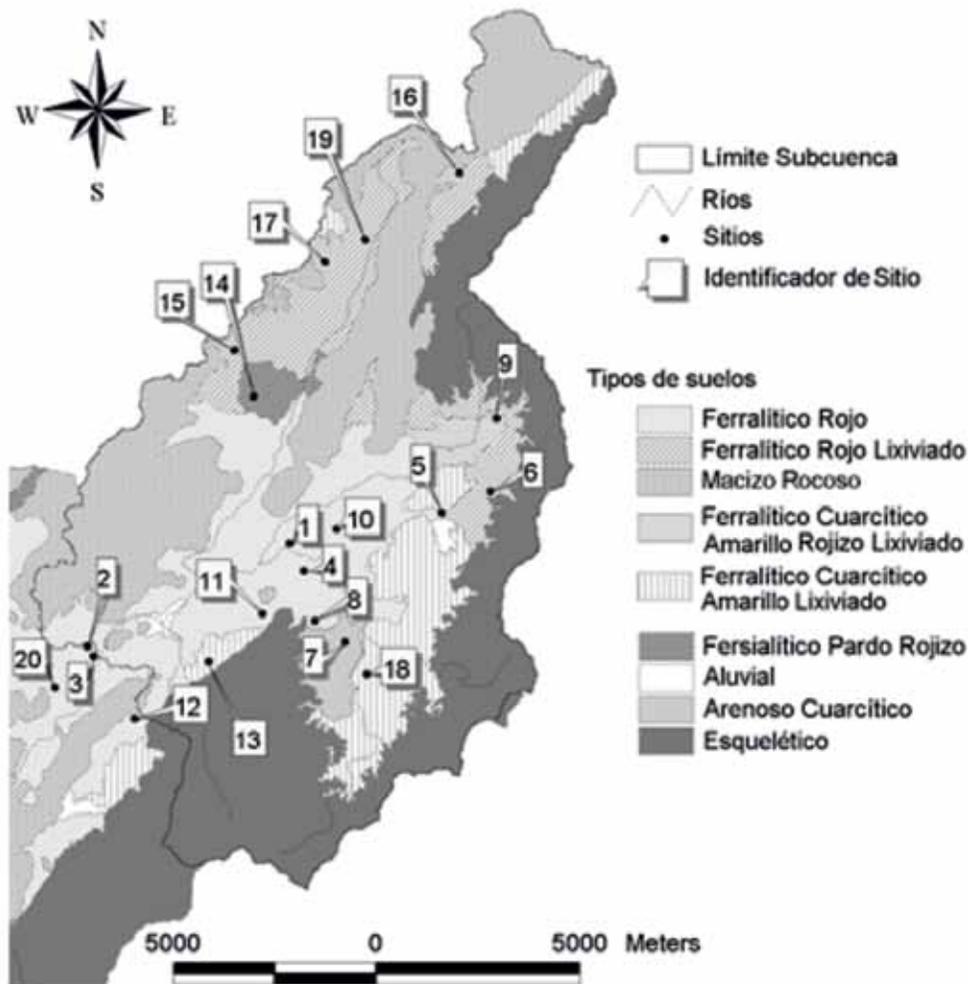


FIGURA 2. Mapa de suelos y sitios en que fueron realizadas las 18 simulaciones de lluvia en la subcuenca V Aniversario.

### Simulaciones de lluvia

El simulador de lluvia empleado para los experimentos está basado en el simulador de lluvia del Centro Internacional de Eremología (I.C.E., siglas en inglés) (Gabriels *et al.*, 1997; Cornelis *et al.*, 2004). El área de las parcelas de simulación fue de 2x5 m (10 m<sup>2</sup>), la cual fue delineada por láminas de plástico introducidas en el suelo a una profundidad de 15 a 20 cm para evitar el escape de escorrentía superficial de la parcela.

Las condiciones del suelo fueron siempre las mismas, suelo desnudo, labrado a favor de la pendiente, sin formación de surcos o camellones. La altura de los aspersores fue siempre de 1,80 m, copiando la topografía de la parcela.

Atendiendo a la microtopografía de la parcela, se colocó en el punto más bajo un tubo plástico para coleccionar el escurrimiento. El sistema usado para determinar la escorrentía superficial fue el conteo manual con recipientes de 1000, 500 y

250 mL (usados en dependencia del caudal de escurrimiento). Con intervalo de 1 min se tomaron muestras de escurrimiento, las cuales fueron trasladadas al laboratorio, sedimentadas, decantadas y secadas en la estufa a 105 °C, determinándose así la concentración de sedimentos de la muestra.

La intensidad de lluvia fue medida en cada simulación mediante una red de pluviómetros ubicados en la parcela de simulación, considerando esta constante durante el tiempo de simulación. La intensidad medida osciló entre 110 y 130 (mm/h).

El tiempo total de las simulaciones estuvo dado por el criterio de estabilidad del escurrimiento. Varios minutos después de haberse estabilizado el escurrimiento, con este la infiltración del suelo y la concentración de sedimentos, se detuvo el experimento. El tiempo exacto para la configuración empleada osciló entre 20-30 min.

## Cálculo de la erodibilidad

En base a los datos obtenidos de las simulaciones, entre ellos la intensidad de la lluvia, el gasto sólido, el escurrimiento líquido y la geometría de la parcela, se determinó la erodibilidad del suelo. Esto se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Lal y Elliot (1994). La erodibilidad  $K_{sim}$  se calculó según la Ecuación 1. En esta expresión los valores de resistencia del suelo son corregidos por el factor LS, dado que las características de la parcela varían respecto al estándar de USDA (Torri *et al.*, 1997).

$$K_{sim} = \frac{A}{EI \cdot LS_{plot}} \quad (1)$$

donde:  $K_{sim}$  - erodibilidad del suelo [t·ha·h/ha·MJ·mm];

$A$  - pérdida de suelo total del evento [t/ha];

$LS_{plot}$  - factor topográfico de la parcela de simulación considerando la parcela un segmento de pendiente uniforme;

$EI$  - índice de erosividad del evento, [MJ·mm·ha<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>] (Wischmeier, 1959) dado por el producto de la Energía Cinética total del chubasco [MJ·ha<sup>-1</sup>] y la intensidad mm·h<sup>-1</sup> de la lluvia simulada.

Erpul (1996) empleó el mismo tipo de aspersores y una configuración del simulador similar y obtuvo una energía cinética igual a 3,03 J/m<sup>2</sup>/mm.

## Determinación de las propiedades en los suelos estudiados

Los 18 sitios seleccionados fueron muestreados en el horizonte superficial (0-10 cm) mediante muestras combinadas a partir de 6 submuestras. Las siguientes propiedades fueron determinadas a cada una de las muestras: 1) Textura según el método de De Leenheer (1966) basado en el tamizado en seco de las arenas y la sedimentación diferenciada del limo y las arcillas. El pretratamiento incluye el tamizado (<2mm), la eliminación de la materia orgánica y los carbonatos [%Arcilla ( $\leq 2 \mu\text{m}$ ), % Limo (entre 2 y 50  $\mu\text{m}$ ), % Arena muy fina (A1: 50-100  $\mu\text{m}$ ), % Arena fina (A2: 100-200  $\mu\text{m}$ ), % Arena media (A3: 200-500  $\mu\text{m}$ ), % Arena Gruesa (A4: 500-1000  $\mu\text{m}$ ) y % Arena muy gruesa (A5: 1000-2000  $\mu\text{m}$ )], 2) MO (Walkley Black, 1934), 3) CCB (Gavlak *et al.*, 2003), 4) Límite de plasticidad (LP) por el método Casagrande descrito por Kretschmer (1996), 5) pH al agua, CaCO<sub>3</sub> y 6) la humedad gravimétrica a los potenciales 1 kPa ( $\theta$ -1), 5 kPa ( $\theta$ -2), 10 kPa, ( $\theta$ -3), 33 kPa ( $\theta$ -4), 100 kPa ( $\theta$ -5), 300 kPa( $\theta$ -6) y 1 500 kPa( $\theta$ -7).

## Determinación de las características mineralógicas de los principales agrupamientos

Con el objetivo de establecer las características mineralógicas de las arcillas de los principales suelos de uso agrícola en la subcuenca, se seleccionaron cinco sitios (1, 3, 6, 14 y 16, ver Figura 2) para su estudio por difracción de rayos x.

Los cinco suelos seleccionados corresponden a los principales tipos de suelos presentes en la subcuenca (1-Ferralítico Rojo, 3-Aluvial, 6-Ferralítico cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado, 14-Ferralsitico pardo Rojizo, 16-Ferralsitico Rojo Lixiviado). Debido a la similitud en la estructura entre diferentes minerales arcillosos, se aplicaron tres tratamientos adicionales, además del tratamiento de saturación con sodio. Estos tratamientos permiten la diferenciación entre grupos de minerales arcillosos, basada fundamentalmente en las características de expansión contracción.

La fracción arcillosa fue primeramente usada sin tratamiento, posteriormente saturada con Na<sup>+</sup> y adicionalmente saturada con Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup>. La saturación con Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup> se obtuvo mediante el lavado repetido con una solución 1N de MgCl<sub>2</sub> y Mg(OAc)<sub>2</sub> o KCl y KOAc respectivamente. El exceso de la solución de saturación fue lavado con acetona y alcohol hasta la eliminación del Cl<sup>-</sup>. El lavado de la muestra saturada con Mg<sup>+2</sup> fue llevada a cabo al vacío con vapores de glicol durante 24 horas. Los diferentes tratamientos con calor (350 y 550°C) de la muestra saturada con K<sup>+</sup> se realizó siempre durante dos horas. El patrón de difracción de rayos x fue colectado mediante un difractómetro PW 3710 (Philips X'PERT SYSTEM) equipado con un tubo anódico de Cu, un monocromador de haz secundario de grafito y un detector proporcional de xenón.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos de erodibilidad calculados a partir de la información obtenida en las simulaciones y empleando la ecuación (1), se llevó a cabo un estudio de correlación con las diferentes propiedades determinadas para los 18 suelos, no observándose niveles de correlación significativas. La imposibilidad de desarrollar una función válida para todos los suelos puede estar causado por el amplio rango de propiedades de los suelos. Según Bruand (2004), el agrupamiento de éstos emerge como una estrategia para estratificar la variabilidad resultante.

### Establecimiento de los grupos

Los datos de erodibilidad fueron agrupados bajo diferentes criterios: en función de las clases texturales, la presencia o ausencia de CaCO<sub>3</sub> y el cociente entre la capacidad de cambio de base (CCB) y la fracción de arcilla de cada suelo. Tomando como criterio la mejoría en las correlaciones de cada grupo con sus respectivas erodibilidades, la mejor variable de agrupación resultó ser el cociente CCB/Arcilla. De esta forma se establecieron tres grupos: I CCB/arcilla  $\leq 15$ , II)  $15 < \text{CCB/arcilla} \leq 35$ , III) CCB  $> 35$ ) que se muestran en la Figura 3. Si bien los puntos de corte (15 cmol/kg y 35 cmol/kg) en la variable de agrupación fueron seleccionados de forma arbitraria, en general, este agrupamiento corresponde a diferencias en las características mineralógicas de los suelos.

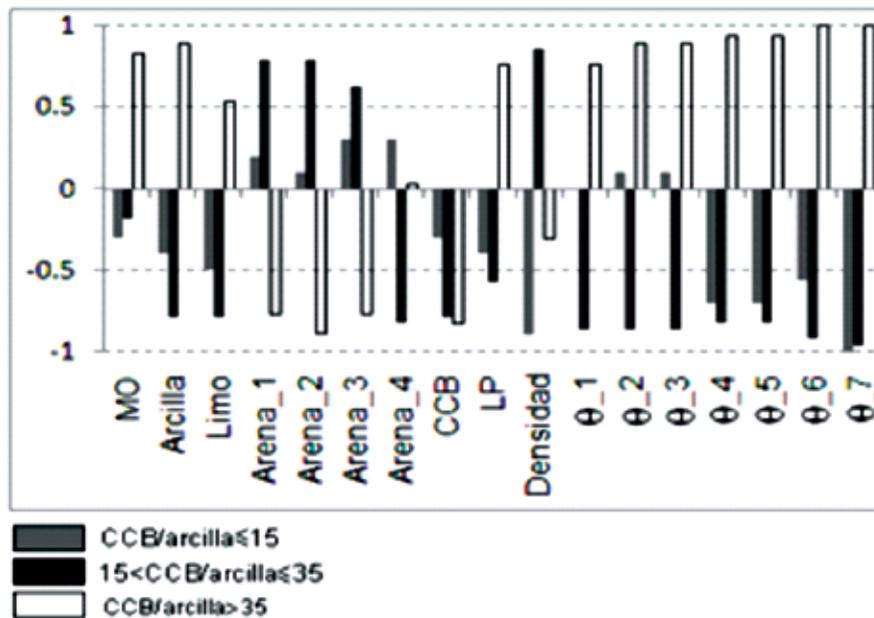


FIGURA 3. Correlaciones de Spearman entre la erodibilidad y las propiedades de los suelos para los tres grupos separados en base a la relación CCB/arcilla.

### Características mineralógicas generales de las arcillas por grupo

Los suelos agrupados en el Grupo I (sitios: 1, 11, 12, 13 y 20) presentan una distribución de minerales en la fracción de arcilla similar al sitio 1, donde la caolinita es el mineral predominante en asociación con gibsita. Presentan a su vez bajos niveles de arcillas 2:1 representados por la mica y muy bajos niveles de vermiculita o esmectita.

Los suelos del Grupo II (sitios: 3, 4, 6, 8, 9, 10, 16 y 17) presentan una estructura de minerales arcillosos algo más compleja. En este grupo pueden o no predominar las arcillas 1:1, representadas desde el cuarzo y feldespato hasta la caolinita, la gibsita o la goetita. La característica fundamental de este grupo radica en la presencia en cantidades apreciables de arcillas 2:1, representados principalmente por la mica y la vermiculita, aunque pueden existir muy pequeñas cantidades de esmectita. Estas arcillas presentan características expansivas limitadas.

Los suelos del tercer grupo (sitios: 2, 5, 7, 14, 15, 18) presentan una estructura de minerales arcillosos similar a los del segundo grupo, pero a diferencia de estos, la esmectita es el mineral 2:1 predominante.

### Relación de las propiedades físicas y físico-químicas con la erodibilidad

La relación entre la erodibilidad (K) y las propiedades del suelo fue inicialmente evaluada usando la tabla de correlación de Spearman (Figura 3) para cada uno de los grupos. Como puede observarse el establecimiento de los grupos permite estudiar las posibles relaciones entre la erodibilidad y las propiedades de los suelos, que de otra forma se verían oscurecidas por las diferencias inherentes a las interrelaciones del complejo órgano-mineral con el resto de las propiedades.

Para el primer grupo solo la densidad del suelo y la humedad al potencial de 1 500 kPa muestran una tendencia clara. Como en este grupo la distribución granulométrica es muy uniforme (solo un suelo es arcilloso arenoso, el resto son arcillosos) la variación en densidad está asociada al grado de consolidación del suelo. Es por ello la tendencia negativa entre la densidad y la erodibilidad. Si bien una mayor densidad favorece la generación de escurrimiento, un suelo más consolidado tiene menores tasas de desprendimiento de partículas que puedan ser transportadas por el flujo.

Por su parte la relación entre la humedad a 1 500 y la erodibilidad puede resultar algo polémica, pero como veremos más adelante, esta misma relación se observa para los suelos del segundo grupo, por lo tanto, es difícilmente atribuible al azar. La humedad a 1 500 está asociada a una fracción del agua adherida al complejo órgano-mineral. Una humedad mayor a este potencial indica la presencia de un complejo órgano-mineral más activo, capaz de establecer una asociación entre las partículas más fuerte, disminuyendo de esta forma el desprendimiento de suelo. Es por ello que ni la arcilla ni la materia orgánica de forma independiente, muestran una relación tan fuerte con la erodibilidad como lo muestra la humedad a 1 500 kPa.

El segundo grupo muestra una correlación positiva con la densidad. La influencia de la densidad sobre la erodibilidad para este grupo, es a través de la porosidad y mediante ésta la capacidad de infiltración. La relación con todas las humedades a los diferentes potenciales enfatiza esta relación para los diferentes tamaños de poros. Al igual que para el primer grupo, el segundo grupo muestra una relación fuerte con la humedad a 1 500 kPa. Aunque no es significativa para los niveles de significación establecidos, la relación con prácticamente todas las clases texturales para este grupo evidencia su influencia en todo el proceso erosivo.

El tercer grupo presenta un comportamiento atípico. Muestra una correlación positiva con la arcilla, la materia orgánica y por ende con la CCB; de igual forma, no muestra relación alguna con la densidad aparente y una relación positiva con la humedad gravimétrica a 1 500 kPa. La explicación a todos estos comportamientos atípicos está relacionada con la presencia de arcillas dilatables. La presencia de arcillas de bajo poder de cohesión en saturación limita la formación de agregados estables, su ruptura dispone de estas fracciones finas para su fácil transportación por la escorrentía. La densidad aparente de estos suelos depende de la humedad, por tanto no es de extrañar que la densidad aparente en el momento del muestreo no guarde relación con las pérdidas observadas en campo. La correlación positiva de la erodibilidad con todas las humedades a los diferentes potenciales, evidencia que las mayores pérdidas de suelo ocurren con el aumento de la porosidad. Al unir este último hallazgo y la correlación positiva de la erodibilidad con la arcilla y la materia orgánica sugiere que para altos tenores de estas dos últimas se forman agregados estables de baja densidad (alta porosidad) que son fácilmente arrastrados por la escorrentía. Mediante el tamizado del escurrimiento generado en los sitios 14 y 15 (resultado no mostrado) se observó que las pérdidas de suelo ocurrían mayoritariamente en agregados de gran tamaño y prácticamente no existía arcilla dispersa, lo que reafirma esta hipótesis.

El valor de K predicho por el nomograma RUSLE se basa fundamentalmente en la textura y el contenido de materia orgánica. Al observar la tendencia similar entre los grupos I y II

para la textura y la MO, así como las diferencias de estos con el grupo III, evidencia la aplicabilidad observada por Roose (1977) del factor K de la USLE a los suelos Caoliniticos del África Occidental y la falta de correlación entre los valores predichos por este y los observados para suelos con arcilla expansiva. Sin embargo es de señalar que otros índices de erodibilidad que empleen alguna medida de estructuración de los suelos como la densidad o la distribución de agregados deben mostrar un comportamiento diferenciado entre los grupos I y II.

### Modelación de la relación entre la erodibilidad y la humedad a 1 500 kPa

De las propiedades analizadas la humedad a 1 500 kPa es la más fuertemente correlacionada con las pérdidas de suelo. La Figura 4 muestra la tendencia general para cada uno de los grupos. Los grupos I y II muestran un comportamiento similar, aumentando la erodibilidad de forma no lineal con la disminución de la humedad a 1 500 kPa. Esta coincidencia sugiere que este modelo es aplicable a los suelos con muy bajos contenidos de esmectita y para un rango muy amplio de otras propiedades como la textura (Arcilla 12,8-75,7%) y la materia orgánica (1,35-4,48%). Sin embargo, cuando el contenido de esmectita es apreciable, su comportamiento cambia radicalmente. La tendencia lineal positiva observada para el grupo III (Figura 4) se soporta por pocos puntos (6), jugando un peso importante los valores extremos.

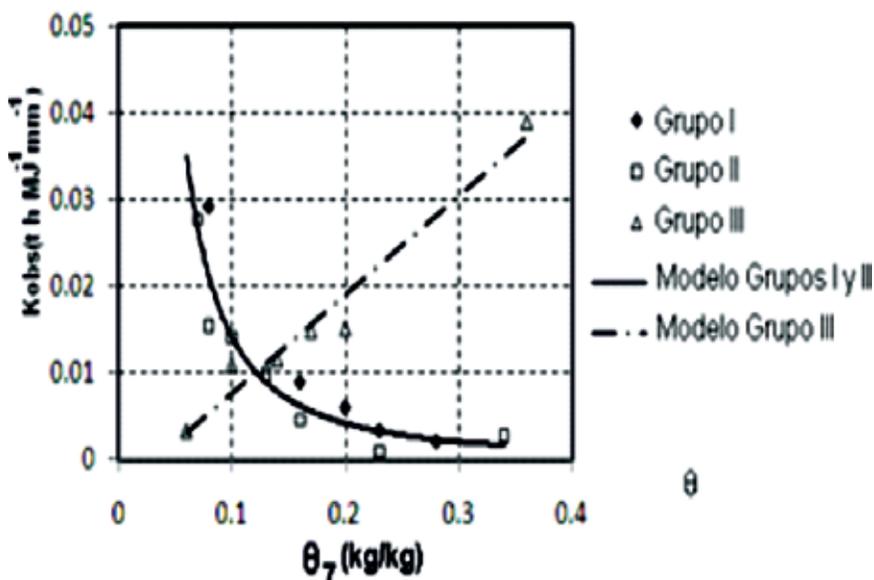


FIGURA 4. Relación de la erodibilidad de los suelos con la humedad gravimétrica al potencial de 1500 kPa para los tres grupos.

El modelo potencial empleado para el ajuste del comportamiento de los Grupos I y II (Ecuación 2), así como el modelo lineal ajustado al comportamiento del grupo III (Ecuación 3) describen correctamente la tendencia observada con valores de los coeficientes de determinación altos.

$$K_{obs\_I,II} = 2.73 \cdot 10^{-4} (Sita7)^{-1.74} \quad R^2 = 0.88 \quad (2)$$

$$K_{obs\_III} = 0.113(Sita7) - 0.004 \quad R^2 = 0.96 \quad (3)$$

## CONCLUSIONES

- El agrupamiento de los suelos en base a la relación CCB/Arcilla permite diferenciar las relaciones que se establecen entre las propiedades del suelo y la susceptibilidad de los mismos a la erosión. Los suelos con valores de dicha relación menor de 15 cmol/kg (Grupo I) presentan su fracción arcillosa constituida fundamentalmente por arcillas del tipo 1:1. Los suelos cuyo valor de la relación se encuentra entre 15 y 35 cmol/kg (Grupo II) presentan una estructura mineralógica de la fracción arcillosa algo más compleja donde las arcillas de tipo 2:1 pueden llegar a predominar, pero a diferencia del grupo III (CCB/Arcilla > 35cmol/kg) donde la esmectita juega un papel importante, las arcillas 2:1 del grupo II presentan un carácter expansivo limitado.
- Los grupos I y II presentan un comportamiento similar, las diferencias observadas se corresponden a las diferencias de los rangos de variación textural existentes entre los grupos. La presencia de esmectita le confiere a los suelos del grupo III un comportamiento muy diferente en cuanto a la relación de sus propiedades con la erodibilidad. La correlación

positiva con el contenido de arcilla y la materia orgánica, así como con la humedad a todos los potenciales sugiere la hipótesis de formación de agregados de baja densidad fácilmente transportados por la escorrentía.

- La humedad gravimétrica a 1 500 kPa es la propiedad más fuertemente relacionada con la erodibilidad. La existencia de una tendencia muy cercana entre los grupos I y II para el comportamiento de ambas variables, sugiere que el modelo obtenido es válido para un amplio rango de las propiedades del suelo, siempre y cuando el contenido de esmectita en la fracción arcillosa sea muy bajo. Para el grupo III se obtuvo un modelo lineal, pero el poco número de puntos observados sugiere la necesidad de su estudio ulterior.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el marco del proyecto de colaboración (ZEIN2005PR306) entre el Departamento de Manejo y Cuidado de Suelos de la Universidad de Gante y el Grupo de Investigaciones Agrofísicas financiado por el Consejo de Interuniversidades de la región de Flandes (VLIR).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALONSO, G.: Palabras de la directora del departamento de medioambiente del CITMA, En: **VI Congreso Nacional de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo**, La Habana, Cuba, 2006.
2. BRUAND, A.: *Developments in Soil Science - Volume 30. Development of pedotransfer Functions in Soil Hydrology*. Elsevier 2004, Chapter 10 Preliminary grouping of soils, Netherlands, 2004.
3. CORNELIS, W.M., G. ERPUL, & D. GABRIELS: *The I.C.E. wind tunnel for water and wind interaction research*. In: Visser, S., Cornelis, W.M. (Eds.), *Wind and Rain Interaction in Erosion*, Tropical Resource Management Paper, vol. 50, pp. 195-224, 2004 (Chapter 13, Wageningen, Netherlands), 2004.
4. CTCH: *Diagnóstico ambiental de la cuenca Cuyaguatete*, Consejo Territorial de Cuencas Hidrográficas de Pinar del Río, Cuba, 2002.
5. DE LEENHEER, L.: *Soil texture*, pp. 43-67, In: Linser, H. (Ed.), *Handbuch der Planzenernährung und-düngung*. Band ii: Boden und Düngemittel. Springer-Verlag, New York, USA, 1966.
6. ERPUL, G.: *Determination of rainfall characteristics in a wind tunnel*, 106 pp., **M. Sc. Thesis**, Ghent University, Ghent, 1996.
7. GABRIELS, D., M. CORNELIS, I. POLLET, T. VAN COILLIE, M. OUESSAR: "The I.C.E. wind tunnel for wind and water erosion studies", *Soil Technology*, 10: 1- 8, 1997.
8. GAVLAK, R., D. HORNECK, O. MILLER & J. KOTUBY-AMACHER: *Soil, plant and water reference methods for the western region*, 199pp., WCC-103 Publication, 2003.
9. KRETSCHMER, H.: *Koernung und Konsistenz*. In: Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P., Fischer, W.R., Frede, H.G., Horn, R., Stahr, K. (Eds.), *Handbuch der Bodenkunde*, vol. I, Ecomed, 1st ed., Chapter 2.6.1.1., Belgium, 1996.
10. LAL, R. & ELLIOT, M.: *Erodibility and erosivity*, pp 181-210, In: Lad, R. (Ed.), *Soil Erosion: Research Methods*, USA, 1994.
11. MORGAN R. P. C.: *Soil erosion and Soil Conservation*, Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 2005.
12. RENARD, K.G., R. FOSTER, A. WEESIES, K. MCCOOL, & C. YODER: *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*, 367pp., Agriculture Handbook 537, USA, 1997.
13. ROOSE, E.J.: *Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa*, pp. 177-189, In: Greenland, D.J. Ž Ed., *Soil Conservation and Management in the Humid tropics*, Greenland, 1977.
14. TERRENCE, J., R. FOSTERY G. RENARD: *Soil erosion: processes, prediction, prediction, measurement, and control*, 325pp., Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 2002.
15. TORRI, D. J. POESEN & L. BORSELLI: *Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset*, pp. 1-22, Catena 31, USA, 1997.
16. WALKLEY, A. & A. BLACK: "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method", *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.
17. WISCHMEIER, W. H.: *A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation*, Proc., *Soil Sci. Soc. Am.* 23(3): 246- 249, 1959.
18. WISCHMEIER, W.H., B. JOHNSON & V. CROSS: "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites" *Journal of Soil and Water Conservation*, 26(5): 189-193, 1971.
19. WISCHMEIER, W.H. & D. SMITH: *Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation*, 58pp, Agricultural Handbook 537, Planning, Science and Education Administration. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA, 1978.