

VALIDACIÓN DEL FACTOR ERODABILIDAD EN SUELOS DE LA UNIDAD CHINCHINÁ, *Melanudands*, MEDIANTE EL USO DE SIMULADOR DE LLUVIAS¹

Edgar Hincapié-Gómez²; Horacio Rivera-Posada*

RESUMEN

HINCAPIÉ G., E.; RIVERA P., H. Validación del factor erodabilidad en suelos de la unidad Chinchiná, *Melanudands*, mediante el uso de simulador de lluvias. Cenicafé 54(1):77-89.2003.

En cuatro localidades con suelos de la Unidad Chinchiná (*Melanudands*) se determinó en condiciones de campo y laboratorio el factor erodabilidad entre surcos (K_i -WEPP). Para ello se utilizó un simulador aplicando una intensidad de lluvia de $100\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ durante una hora. Se utilizaron tres metodologías: 1. Parcelas de 1m^2 en condiciones de campo; 2. Moldes de $0,0825\text{m}^2$ y muestras de suelo no disturbadas en laboratorio; y 3. Bandejas de $0,0825\text{m}^2$ y muestras disturbadas en laboratorio; estas últimas se separaron y se clasificaron por tamaños de los agregados: 2-1, 1-0,5 y $<0,5\text{mm}$ de diámetro promedio. Se correlacionó entre sí el factor erodabilidad determinado en campo y laboratorio. El factor K_i -WEPP determinado en campo varió entre 107.519 a $159.425\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$; en laboratorio osciló entre $90.814\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$ y $2.496.129\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$. Los valores de K_i más bajos se presentaron en laboratorio para los agregados de 2-1 mm y los mayores en las muestras con agregados $<0,5\text{mm}$ de diámetro promedio. Se encontró correlación lineal simple entre las determinaciones de campo y laboratorio, excepto para los agregados $<0,5\text{mm}$ de diámetro promedio. La mejor correlación del factor K_i entre campo y laboratorio se obtuvo con las muestras no disturbadas con una asociación lineal y un coeficiente de determinación $R^2 = 0,40$ significativo al 1%.

Palabras claves: Edafología, suelos, erosión, erodabilidad, lluvia simulada.

ABSTRACT

In four locations with soils of the Chinchiná Unit (*Melanudands*) under field and laboratory conditions the interrill erodibility factor among trenches (K_i - WEPP) was determined. An oscillating nozzle rainfall simulator was used and an intensity of rain $100\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ was applied during 1 hour. Three methods were used: 1. runoff plots 1m^2 in the field; 2. metallic boxes of 0.0825m^2 undisturbed soil samples taken, and 3. metallic pans of 0.0825m^2 and soils disturbed in laboratory; these last soil samples were separated into different soil aggregate sizes: 2-1, 1-0.5 and $<0.5\text{mm}$ mean diameter. Interrill erodibility factor data from the three methods and soil samples were compared and classified by sizes. K_i - WEPP factor in field conditions ranged between $107.519\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$ and $159.425\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$; in laboratory ranged between $90.814\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$ to $2.496.129\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$. K_i values were lower for aggregates of 1-2 mm, for the smallest aggregates ($<0.5\text{mm}$ diameter), was higher. Simple linear correlation between K_i field and K_i determined in laboratory were determined except for aggregates $<0.5\text{mm}$ diameter. The best correlation was found between K_i field and interrill erodibility data from the undisturbed boxes with an lineal association and a coefficient determination of $R^2 = 0.40$, to 1% of significance.

Keywords: Edaphology, soils, erosion, erodibility, rainfall simulator.

¹ Fragmento de la Tesis "Validación del factor erodabilidad K_i - WEPP, usando un simulador de lluvias en suelos de la Unidad Chinchiná, *Melanudands*", presentada por el primer autor a la Universidad de Caldas para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Manizales, Caldas, Colombia.

** Asistente de Investigación e Investigador Científico II, hasta Agosto de 2002, respectivamente. Conservación de suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

La erodabilidad del suelo se define como la susceptibilidad de un suelo al desprendimiento de agregados grandes, microagregados y partículas por efectos de los agentes erosivos (6, 8, 9, 11, 13, 15, 16). La erodabilidad del suelo puede determinarse bajo condiciones de lluvia natural, mediante el establecimiento y mantenimiento por un período mínimo entre 3 a 5 años de parcelas de escorrentía (11). Este método es costoso, requiere de mucho tiempo en las operaciones y las parcelas pueden colocarse sólo para un número limitado de suelos.

Por tales razones se ha trascendido en la predicción de la erosión usando simuladores de lluvias (4, 14, 17, 19, 20, 22) y modelos matemáticos, basados en la aplicación de los procesos que intervienen en la erosión; es así como el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) ha desarrollado el modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) para estimar pérdidas de suelo por el agua sobre terrenos pendientes, el cual puede ser usado en la predicción de la erosión. En este modelo se representan los procesos de arranque, transporte y depósito de partículas. El modelo tiene la capacidad de estimar cambios espaciales y temporales de la erodabilidad y aplicarlos a un amplio rango de condiciones de clima, topografía, cultivos y condiciones del suelo en el cual se está trabajando (2, 7).

Este modelo usa una ecuación estable de continuidad para predecir los procesos de la erosión en surcos y entre surcos. La erodabilidad entre surcos es la susceptibilidad de un suelo al desprendimiento y transporte de sus agregados debido al impacto de las gotas de lluvia y al flujo superficial; mientras que la erodabilidad en surcos se define como la vulnerabilidad del suelo a la formación de canales pequeños por el flujo de agua. El modelo WEPP, ofrece un potencial de utilización para la planificación y conservación de los suelos por tener mayor detalle de predicción, siendo

capaz de predecir procesos como el de depósito y aportes de sedimentos; se han obtenido resultados bastante promisorios donde se utilizó el modelo para la simulación de erosión y descarga en varios escenarios de aplicación, usando datos de clima, relieve, suelos y manejo (7, 9, 16).

El tamaño, distribución, velocidad de impacto de las gotas de lluvia y la intensidad de la lluvia, son las características más importantes que deben simularse para realizar investigaciones sobre los procesos de la erosión hídrica, ya que son los factores principales en el arranque y transporte de los agregados del suelo y en el sellamiento superficial producidos por las lluvias (15).

Las características del simulador de lluvias y la metodología experimental utilizada tal como el tamaño de las parcelas o bandejas, técnicas de preparación del suelo, variabilidad espacial de las propiedades del suelo entre otras, pueden influir en los resultados de las investigaciones llevadas a cabo con simuladores de lluvia (4, 20).

Las pérdidas de suelo y la erodabilidad determinadas bajo condiciones de laboratorio, permiten un control mejor de las condiciones experimentales. Además, puede realizarse una mayor cantidad de comparaciones entre suelos y son más repetibles en el tiempo, al compararlas con las determinaciones en condiciones de campo (11) las cuales representan la realidad de la erosión. Por tales razones es indispensable llevar a cabo el estudio de los procesos básicos de la erosión del suelo por el agua tanto en condiciones de campo como en laboratorio, para poder tener una aproximación real de los resultados encontrados.

El objetivo de esta investigación fue determinar y comparar la erodabilidad obtenida en condiciones de campo con la obtenida en laboratorio, en suelos de la unidad Chinchiná

(*Melanudands*) muestreados durante un mismo período.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en dos fases: campo y laboratorio. La fase de campo se llevó a cabo en cuatro subestaciones experimentales del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (Tabla 1). La fase de laboratorio se desarrolló en la Sede Central de Cenicafé en Chinchiná, Caldas, ubicada a una altitud de 1.310m, 4° 59' latitud norte y 75°36' longitud oeste y una temperatura media de 21,6°C.

En ambas fases del experimento se utilizaron suelos de la Unidad Chinchiná, derivados de cenizas volcánicas, clasificados taxonómicamente como *Melanudands*, con pendientes del 70%, cultivados con café no mayor de un año. Se determinaron las propiedades físicas y químicas a una profundidad de 0 - 10cm, en cada uno de los sitios donde se llevó a cabo el experimento (Tabla 2).

Para la aplicación de la lluvia simulada se utilizó un simulador programable, con boquillas oscilatorias Veejet 80100. El simulador se colocó a una altura de 3,0m sobre la bandeja o la parcela y se aplicó lluvia con una intensidad

de 100mm.h⁻¹ durante 1 hora, en todos los casos. Para la aplicación de la lluvia se utilizó agua con una conductividad eléctrica entre 18 y 30 mS.cm⁻¹.

Fase de campo. Se utilizó la metodología para campo propuesta por Truman y Bradford (20). Se instalaron 5 parcelas de escorrentía construidas en lámina galvanizada de tamaño 1m x 1m, sobre el suelo totalmente desnudo con una pendiente del 70% en cada una de las localidades (Figura 1). Después de instalada la parcela, se aplicó una lluvia simulada con una intensidad de 100mm.h⁻¹ durante 30 minutos, con el fin de saturar el suelo y de arrastrar los agregados sueltos. Luego de esta lluvia el suelo se cubrió y dejó drenar por 24 horas para tener suelo a capacidad de campo al momento de la determinación; posteriormente se aplicó la lluvia simulada durante 1 hora y se realizaron las siguientes mediciones:

- Pérdidas de suelo por escorrentía.
- Suelo retenido en el canal de escorrentía.

Fase de laboratorio

Determinaciones en muestras de suelo sin disturbar. Se tomaron muestras de suelo desnudo sin disturbar adyacentes a cada uno de los sitios de muestreo, se usaron moldes de lámina galvanizada de 0,2m x 0,40m x 0,1m para tomar las muestras no disturbadas y se

Tabla 1. Ubicación geográfica de las localidades donde se llevó a cabo la investigación

Localidad	Municipio	Depto.	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.	Temperatura media °C	Precipitación media mm/año
Naranjal	Chinchiná	Caldas	4°59' N	75°39' O	1.400	20,80	2656
La Catalina	Pereira	Risaralda	4°45' N	75°45' O	1.350	21,60	2062
R. Escobar	R. Escobar	Caldas	5°28' N	75°39' O	1.320	22,10	1926
El Rosario	Venecia	Antioquia	5°58' N	75°43' O	1.600	20,10	2504

Fuente: Datos históricos Disciplina Agroclimatología, Cenicafé.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de las localidades estudiadas.

Localidad	pH	MO %	K	Ca	Mg	Al	CIC	P ppm	A	Ar	L	DA	RCT	DPM	CH
Naranjal	5,3	13,0	0,28	2,8	1,2	0,6	23	2	47,0	19,5	33,5	0,67	0,32	2,87	35,28
La Catalina	5,1	10,2	0,55	3,6	0,8	0,6	23	2	38,5	27,5	34,0	0,77	0,34	2,98	61,92
Rosario	4,5	14,7	0,59	1,1	0,5	4,2	28	27	37,2	38,4	24,4	0,73	0,26	2,93	48,60
R. Escobar	4,9	10,6	0,66	3,6	1,3	1,3	21	19	45,8	34,6	19,6	0,89	0,25	2,66	83,16

A = Arena; Ar = Arcilla; L = Limo; DA= Densidad aparente; RCT= Resistencia al cortante tangencial; DPM= Diámetro ponderado medio; CH= Conductividad hidráulica saturada.



Figura 1. Parcela de escorrentía instalada en el campo con una pendiente del 70% (a). Simulador de lluvias instalado en el campo para aplicar la lluvia simulada (b).



marcó en el molde el sentido de la pendiente con el fin de replicarla en laboratorio.

Posteriormente, se llevaron los moldes con las muestras de suelo al laboratorio, se colocaron en la parte inferior de estos un anejo y tela de gasa. Luego se depositaron en porta bandejas y se sometieron a saturación por capilaridad en agua lluvia durante 24 horas;

después de la saturación las muestras se drenaron por espacio de una hora y se colocaron en un soporte con una pendiente del 70%. Alrededor del soporte se colocó un protector metálico para recoger el suelo dispersado. Finalmente se sometieron a la acción de la lluvia simulada (Figura 2).

Durante el tiempo de duración de la lluvia simulada se determinaron:



Figura 2.
Simulador de lluvias
bandejas con la muestra
de suelo en condiciones
de laboratorio



- Las pérdidas de suelo por escorrentía.
- Pérdidas de suelo por dispersión de agregados.
- Suelo retenido en el canal de escorrentía.

Las muestras de suelo y aguas recogidas se dejaron decantar durante 48 horas, posteriormente se eliminó el sobrenadante y se secaron en estufa a 105°C.

Determinaciones en muestras de suelo disturbadas y clasificadas por tamaños de agregados. Se tomaron muestras de suelo adyacentes al sitio de muestreo a una profundidad de 0 a 10cm, se empacaron en bolsas plásticas. Cada una de las muestras se secó a la sombra, se molió y luego se pasó por tamices No. 10, 18 y 35 para obtener suelo con tamaños de agregados de 2-1, 1-0,5 y < 0,5 mm de diámetro, con el fin de evaluar la influencia del tamaño de los agregados, sobre la erodabilidad del suelo.

Las muestras previamente tamizadas se empacaron individualmente por cada tamaño

de agregados en bandejas metálicas de 20,4 cm de ancho por 40,4 cm de largo; se colocaron en su orden los siguientes elementos siguiendo la metodología descrita por Rivera (17): anejo, tela gasa, una capa de 3 cm de espesor de arena lavada la cual obra como filtro y una capa de 2 cm de espesor de la muestra de suelo uniformemente distribuida. Las bandejas con las muestras de suelo se sometieron a la acción de la lluvia simulada y se determinaron las mismas variables mencionadas en la metodología anterior.

Cálculo del factor erodabilidad entre surcos K_f - WEPP. Con los valores de pérdidas de suelo entre surcos, intensidad de la lluvia y pendiente del terreno, se determinó el factor erodabilidad K_f , mediante la ecuación del Proyecto de Predicción de Erosión por el Agua - WEPP (2, 6, 7, 9, 16):

$$K_f = \frac{D_i}{I^2 S_f}$$

donde, D_i es la pérdida total de suelo entre surcos ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). En condiciones de laboratorio D_i es igual a la suma de: pérdidas de suelo por escorrentía, dispersión de agregados y suelo depositado en el canal de escorrentía obtenidos durante 1 hora; este valor total se divide por el tiempo de duración del aguacero en segundos. En condiciones de campo la pérdida total de suelo entre surcos D_p es igual a la suma de pérdidas de suelo por escorrentía y suelo depositado en el canal de escorrentía obtenidos durante 1 hora; el total se divide por el tiempo de duración de la lluvia en segundos.

I es la intensidad de la lluvia en $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$, la cual se obtiene expresando la intensidad de la lluvia en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y elevando este valor al cuadrado, de donde

$$I = (0,1 \text{ m} / 3600 \text{ s})^2$$

por tanto, $I = 7,71 \times 10^{-10} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$

S_f es el factor pendiente del suelo entre surcos el cual se calculó a partir de la expresión:

$$S_f = 1,05 - 0,85 e^{-4 \sin(\theta)}$$

donde, θ es el ángulo de la pendiente en grados ($70\% = 35^\circ$), por lo tanto, $S_f = 0,96429$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo condiciones de campo, en las cuatro localidades las pérdidas de suelo ocasionadas por el arrastre de partículas y agregados debidas al escurrimiento superficial del agua (pérdidas de suelo por escorrentía) fueron mayores que la cantidad de suelo retenido en la parte baja del canal o suelo que no fue arrastrado por el flujo superficial de agua (pérdidas de suelo depositado en el canal de escorrentía) (Tabla 3). Esto indica la alta capacidad de arrastre de partículas y agregados por el flujo superficial bajo condiciones de campo. En la localidad

Rafael Escobar, se presentó la mayor cantidad de suelo retenido en el canal, lo cual se debe a un menor escurrimiento superficial y por tanto, menor capacidad de arrastre de partículas y agregados sueltos, debidos posiblemente a la mayor capacidad de infiltración del agua en el suelo en esta localidad.

No obstante, bajo condiciones de campo, en las localidades Rafael Escobar y La Catalina, ocurrieron las mayores pérdidas totales de suelo y por tanto, los valores mayores de erodabilidad (Tabla 4) debido posiblemente a los efectos de la dispersión de agregados por el impacto de las gotas de lluvia.

Bajo condiciones de laboratorio, la cantidad de suelo colectado en el canal de escorrentía, fue mayor que la cantidad de suelo arrastrado por el escurrimiento superficial, a excepción de las muestras con agregados $<0,5 \text{ mm}$; este comportamiento se debe principalmente a la alteración de las muestras en condiciones de laboratorio, lo cual ocasiona cambios en las propiedades que afectan el movimiento del agua en el suelo; tales como tamaño, distribución y forma de las partículas, porosidad total y estabilidad de la agregación del suelo; por lo tanto la capacidad de infiltración del agua en el suelo aumenta y se disminuye la escorrentía. Estos cambios influyen directamente en los procesos de pérdidas de suelo, de allí las diferencias que se presentaron en condiciones de laboratorio comparado con las condiciones naturales del campo.

En la Tabla 3, se observa cómo a medida que el tamaño de los agregados disminuye, aumentan las pérdidas de suelo; esta condición podría compararse con prácticas inadecuadas tales como el control de arvenses por medio de herramientas como el azadón, el uso del arado y el rastrillo, los cuales alteran la estructura del suelo, se exponen los agregados al impacto de las gotas de lluvia y también acelera la descomposición de la materia orgánica y la

Tabla 3. Flujo de agua por escorrentía (cm.h⁻¹), pérdidas de suelo por escorrentía, dispersión y suelo retenido en el canal de escorrentía (kg.m⁻²) medidos en campo y laboratorio. Suelos unidad Chinchiná, *Melanudands*.

Localidad	Flujo de agua por escorrentía cm.h ⁻¹	Pérdida de suelo por Escorrentía kg.m ⁻²	Suelo retenido en el canal de escorrentía kg.m ⁻²	Pérdida de suelo por dispersión kg.m ⁻²
Condiciones de campo				
Naranjal	5,53 a	0,24 a	0,07 b	-
Catalina	6,32 a	0,33 a	0,09 ab	-
Rosario	5,82 a	0,19 a	0,08 ab	-
R. Escobar	4,59 a	0,26 a	0,11 a	-
Laboratorio – Muestras No disturbadas				
Naranjal	5,19 ab	0,28 a	0,28 a	0,53 ab
Catalina	5,06 ab	0,22 a	0,28 a	0,57 ab
Rosario	5,94 a	0,24 a	0,17 b	0,45 b
R. Escobar	3,82 b	0,46 a	0,21 ab	0,68 a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados 2-1 mm				
Naranjal	0,92 ab	0,004 b	0,16 b	0,076 b
Catalina	1,33 a	0,029 a	0,36 ab	0,206 ab
Rosario	0,31 b	0,014 ab	0,17 b	0,089 b
R. Escobar	0,78 ab	0,028 a	0,49 a	0,493 a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados 1-0,5 mm				
Naranjal	0,70 b	0,035 a	0,22 b	0,24 b
Catalina	1,58 a	0,309 a	0,37 b	1,10 a
Rosario	0,44 b	0,019 a	0,28 b	0,31 b
R. Escobar	0,92 ab	0,096 a	0,56 a	1,02 a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados <0,5 mm				
Naranjal	0,73 b	0,23 b	0,19 b	1,24 b
Catalina	2,55 a	3,72 a	0,13 b	2,00 a
Rosario	2,70 a	3,59 a	0,20 ab	2,58 a
R. Escobar	1,79 ab	1,98 ab	0,29 a	2,17 a

* Letras no comunes entre localidades, dentro de cada condición, implican diferencias estadísticas según Duncan al 5%.

disminución de la cantidad en el suelo, afectándose con ello la estabilidad estructural de los agregados y por tanto, la susceptibilidad de éstos a la erosión.

Bajo condiciones naturales en el campo, cuando se dejan los suelos totalmente desnudos la estructura superficial queda expuesta a la acción dispersante de las gotas de lluvia, que

Tabla 4. Pérdidas de suelo y valores del factor erodabilidad K_1 - WEPP determinados en condiciones de campo y laboratorio, usando lluvia simulada. Suelos unidad Chinchiná, *Melanudands*.

Localidad	Pérdidas totales de suelo D_1 Kg.m ² .h ⁻¹	K_1 - WEPP kg.s.m ⁻⁴
Condiciones de campo		
Naranjal	0,31 a	114.210a
Catalina	0,42 a	159.425a
Rosario	0,27 a	107.519a
R. Escobar	0,36 a	135.560a
Laboratorio – Muestras No disturbadas mm		
Naranjal	1,09 ab	408.466ab
Catalina	1,06 ab	402.817ab
Rosario	0,85 b	331.956b
R. Escobar	1,36 a	508.195a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados 2-1 mm		
Naranjal	0,24 b	90.814b
Catalina	0,60 ab	226.610ab
Rosario	0,28 b	109.784b
R. Escobar	1,02 a	380.266a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados 1-0,5 mm		
Naranjal	0,50 b	187.488b
Catalina	1,79 a	681.743a
Rosario	0,63 b	242.875b
R. Escobar	1,69 a	631.135a
Laboratorio - Muestras Disturbadas con Agregados <0,5 mm		
Naranjal	1,66 b	619.887b
Catalina	5,87 a	2.225.911a
Rosario	6,39 a	2.496.129a
R. Escobar	4,46 a	1.664.498a

* Letras no comunes entre localidades, dentro de cada condición, implican diferencias estadísticas según Duncan al 5%.

desintegran los agregados y dispersan las partículas finas haciéndolas fácilmente arrastradas por el agua de escorrentía en eventos sucesivos. Por tanto, el manejo de los suelos debe abarcar otros enfoques y prácticas, entre ellas, el establecimiento de coberturas

protectoras o de mulch de hojas o residuos de cultivos que protejan el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, provean material para las actividades de los macro y microorganismos y favorezcan la agregación de las partículas del suelo (18).

En la Tabla 4, se presentan los datos de pérdidas de suelo entre surcos (D_i) y erodabilidad entre surcos K_i - WEPP, por cada método utilizado en cada una de las localidades. El análisis de varianza para las variables: pérdidas de suelo y erodabilidad K_i , no detectó diferencias estadísticas entre las localidades evaluadas bajo condiciones de campo; mientras que en condiciones de laboratorio se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre localidades; encontrándose bajo estas condiciones, suelos menos susceptibles a la erosión entre surcos en las localidades Naranjal y El Rosario, lo cual se explica considerando la alta relación entre el contenido de materia orgánica en el suelo y la susceptibilidad de este a la erosión (2, 5, 8, 11, 12, 17, 18), ya que estas localidades registraron los valores mayores de esta propiedad (Tabla 2).

Los métodos utilizados muestran considerables diferencias con referencia a la variable factor erodabilidad. Los valores de K_i variaron entre 107.519 a 159.425 kg.s.m⁴ para campo; de 331.956 a 508.195 kg.s.m⁴ para muestras sin disturbar y de 90.814 a 380.266 kg.s.m⁴, 187.488 a 681.743 kg.s.m⁴, 619.887 a 2.496.129 kg.s.m⁴ para muestras disturbadas con agregados de 2-1mm, 1-0,5 y <0,5 mm de diámetro medio, respectivamente (Tabla 4).

Los valores de K_i obtenidos en condiciones de campo resultaron en general más bajos que los K_i de laboratorio; excepto en la localidad Naranjal, donde la erodabilidad determinada en muestras disturbadas con agregados de 2-1 mm, fue 21 veces menor que la determinada en condiciones de campo, los valores mayores de K_i encontrados en condiciones de laboratorio muestran el efecto resultante de la disturbación del suelo en el incremento de la erodabilidad. Estas observaciones sugieren que las determinaciones en condiciones de laboratorio sobrestiman la erodabilidad para los suelos de la unidad Chinchiná estudiados.

Actualmente, no existe una escala definida que permita calificar la erodabilidad K_i - WEPP como baja, media o alta para los suelos tropicales. Para suelos agrícolas o cultivados de zonas templadas los valores de K_i usualmente oscilan entre 2.000.000 y 11.000.000 kg.s.m⁴ y para suelos con pasturas permanentes entre 10.000 y 2.000.000 kg.s.m⁴; a valores mayores de K_i mayor es la susceptibilidad del suelo a la erosión y viceversa (7); reportes de K_i para suelos cultivados de 4.000.000 kg.s.m⁴ califican la erodabilidad como alta y de 2.180.000 kg.s.m⁴ como moderada (9)

Al comparar los valores obtenidos en el presente trabajo en condiciones de campo y en laboratorio usando muestras sin disturbar (Tabla 4) con los valores reportados por los autores anteriores (7, 9) para suelos en pasturas sin disturbar, la erodabilidad de los suelos de la unidad Chinchiná, puede ser considerada como moderada, si se comparan los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio usando muestras disturbadas con los reportados por los mismos autores para suelos cultivados, la erodabilidad puede ser considerada como baja a moderada. Dadas las condiciones distintas de suelos, clima, cultivo, manejo, para las zonas tropicales comparada con las zonas templadas, no se puede tener como base la anterior escala y por lo tanto es necesario diseñar y/o ajustar escalas para calificar los suelos de acuerdo a la susceptibilidad de estos a la erosión (erodabilidad) para ser usada con el modelo WEPP, acordes a las condiciones de los suelos tropicales y especialmente de los suelos derivados de cenizas volcánicas, teniendo en cuenta la tasa de formación del suelo.

Recientemente, Rivera (17) en condiciones experimentales y agroecosistemas similares, para suelos de la Unidad Chinchiná, encontró valores K_i de 190.086; 551.366 y 1.320.967 kg.s.m⁴ para agregados de 2-1; 1-0,5 y <0,5 mm de diámetro medio, respectivamente. Los valores mayores obtenidos por Rivera, (17) se deben posiblemente

a la gran variabilidad espacial y temporal de la erodabilidad (9) a cambios en las propiedades físicas del suelo, ya que la erodabilidad es una propiedad dinámica, fácilmente alterada por cambios en la estabilidad estructural, contenido de materia orgánica, actividad biótica (10); por cambios en las características superficiales del suelo tales como resistencia al cortante y al sellamiento de poros (3) y/o por el tiempo de aplicación de la lluvia (5) entre otras.

En la determinación de la erodabilidad entre surcos en suelos cultivados y en suelos con pasturas y arbustos (9), se ha encontrado que los valores mayores (770.000 a 4.320.000 kg.s.m⁻⁴) se presentaron para los suelos cultivados y los menores (10.782 a 1.872.648 kg.s.m⁻⁴) para los suelos con pasturas y arbustos. La razón principal de estas diferencias, se debió al manejo de las parcelas; ya que la medición llevada a cabo en los suelos con pasturas se realizó en lotes que no fueron disturbados; mientras que los suelos cultivados fueron labrados antes de aplicar la lluvia (9). Esta situación es similar a la encontrada en la presente investigación; ya que la erodabilidad mas alta se presentó en

las muestras disturbadas con agregados pequeños (<0,5 mm) y la menor en las parcelas sin disturbar bajo condiciones de campo.

Comparación entre el factor erodabilidad K_i en condiciones de campo y laboratorio. Las correlaciones lineales utilizadas como parámetro para comparar el factor de erodabilidad entre campo y laboratorio (Tabla 5), mostraron en la mayoría de los casos coeficientes de correlación y determinación bajos, lo cual indica que existen otros factores que influyen en la erodabilidad del suelo. Las mejores correlaciones entre el K_i determinado en condiciones de campo y el K_i determinado en laboratorio, se encontró cuando se utilizaron muestras sin disturbar con valores $r = 0,62$ y $R^2 = 0,39$ ($P > 0,05$) y muestras disturbadas con agregados de 1-0,5 mm de diámetro medio con valores $r = 0,6$ y $R^2 = 0,36$ ($P > 0,05$) (Tabla 4). Al realizar un ajuste en las correlaciones anteriores, se obtuvieron coeficientes de determinación mayores, $R^2 = 0,41$ y $0,47$ para muestras indisturbadas y agregados de 1-0,5 mm, respectivamente, mediante correlaciones tipo cuadrática (Figuras 3 y 4).

Tabla 5. Coeficientes de correlación (r) y determinación (R^2) para el factor K_i - WEPP, determinado en campo y laboratorio. Suelos unidad Chinchiná, *Melanudands*.

MÉTODO	Coeficiente de Correlación (r)	Coeficiente de Determinación (R^2)	Prob. >r	CV (%)
CAMPO vs M. IND.	0,62	0,39	0,0028**	27,90
CAMPO vs AG 2-1	0,48	0,24	0,0265*	31,25
CAMPO vs AG 1-0,5	0,60	0,36	0,0052**	28,78
CAMPO vs AG < 0,5	0,38	0,14	0,0993	33,28
M. IND. vs AG 2-1	0,71	0,51	0,0004**	19,93
M. IND. vs 1-0,5	0,52	0,27	0,0169*	24,20
M. IND. vs AG < 0,5	0,10	0,01	0,6225	28,28
AG 2-1 vs AG 1-0,5	0,67	0,45	0,0012**	67,03
AG 2-1 vs AG < 0,5	0,34	0,12	0,1336	84,64
AG 1-0,5 vs AG < 0,5	0,47	0,22	0,0356*	63,76

*, ** Nivel de significancia al 0,01 y 0,05 respectivamente.

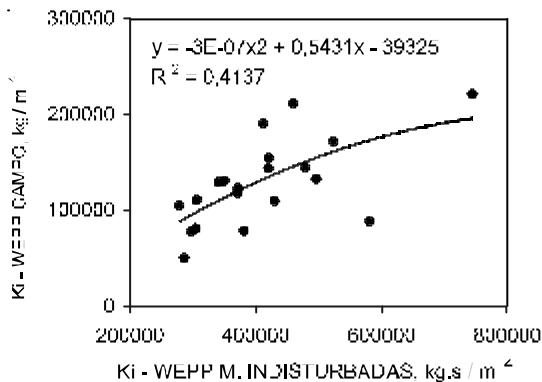


Figura 3. Correlación ajustada entre K_d determinado en campo y K_d determinado en muestras sin disturbar en laboratorio. Suelos unidad Chinchiná, Mlanudands.

Investigaciones similares realizadas para comparar las pérdidas de suelo y la erodabilidad entre surcos en condiciones de campo y laboratorio, reportan coeficientes de correlación entre campo y laboratorio de $r = 0,56$ a $r = 0,79$ (20), los cuales son similares a los obtenidos en el presente trabajo.

La correlación baja entre campo y laboratorio puede ser atribuida principalmente a las diferencias en la metodología utilizada para la determinación de la erodabilidad tal como el tamaño de las bandejas o micro-parcelas, grado de alteración de las muestras de suelo y métodos para colectar las pérdidas entre otros, ya que estos factores influyen directamente en las pérdidas relativas de suelo y por tanto en la erodabilidad (10, 20).

Otros factores que pueden influir en la baja correlación fueron, el limitado contraste de las propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados y la variabilidad espacial entre el punto donde se tomó la muestra de suelo para las determinaciones en laboratorio y el sitio de evaluación en el campo.

Un factor importante que debe ser tenido en cuenta en la determinación de la erodabilidad

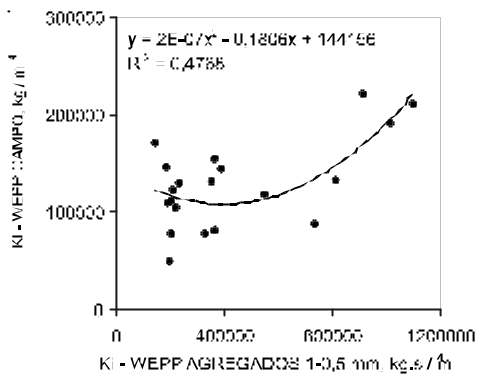


Figura 4. Correlación ajustada entre K_d determinado en campo y K_d determinado en muestras con agregados de 1-0,5 mm de diámetro medio en laboratorio. Suelos unidad Chinchiná, Mlanudands.

es la biomasa de raíces vivas y muertas presentes en el campo, las cuales influyen en la agregación natural del suelo y en los procesos de pérdidas de suelo (10). Esta característica no se presenta en laboratorio con muestras disturbadas, ya que cuando las muestras son alteradas y clasificadas por tamaño de agregados, la mayoría de las raíces son separadas de las muestras de suelo, las cuales pueden obrar como agentes agregantes naturales. La alteración de las muestras produce un efecto similar al laboreo del suelo, lo cual conduce a una oxidación de la materia orgánica influyendo sobre la estabilidad de la agregación, posiblemente con mayor efecto sobre los agregados más pequeños.

Bajo condiciones de campo los subprocesos de pérdidas de suelo por dispersión y escorrentía no fueron separados, lo cual si ocurrió en condiciones de laboratorio; esta condición puede influir en las pérdidas totales de suelo y por lo tanto en la erodabilidad de este; cuando los subprocesos de arranque por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo superficial, transporte y depósito de los agregados, sean separados individualmente, se podría determinar la erodabilidad por cualquier procedimiento de campo o laboratorio (1, 4, 10).

La susceptibilidad del suelo a la erosión es una propiedad compleja que está influida por propiedades que interactúan con el clima y los sistemas de manejo; Rivera (18) afirma que los procesos que determinan la susceptibilidad o resistencia de un suelo a la erosión, hasta el momento no son bien entendidos, por lo tanto es necesario realizar investigaciones que permitan entender, los procesos que influyen en la resistencia del suelo a la erosión (12).

Las diferencias entre los valores de erodabilidad encontradas por cada uno de los métodos y entre localidades indican que la erodabilidad es una propiedad intrínseca del suelo y que su determinación debe hacerse en forma independiente, eliminando los efectos de los factores antes mencionados tales como presencia de coberturas o de mulch, raíces vivas y muertas, microtopografía y rugosidad superficiales entre otras, de manera que se pueda calificar la resistencia real de un suelo a la erosión y además se puedan realizar comparaciones entre diferentes tipos de suelos (21).

No obstante, la correlación baja entre las determinaciones de campo y laboratorio, las evaluaciones realizadas en laboratorio utilizando muestras de suelo con agregados de 1-0,5 mm de diámetro medio, permiten observar que dichas determinaciones logran expresar la erodabilidad del suelo con una buena aproximación de lo que sucede en condiciones de campo; lo anterior indica que para los suelos de la unidad Chinchiná, la erodabilidad del suelo puede ser determinada en condiciones de laboratorio utilizando muestras de suelo con agregados de 1 - 0,5mm de diámetro medio, aplicando un factor de corrección, el cual debe ser determinado con un mayor número de pruebas; lo cual permitirá tener una idea muy cercana de la resistencia real del suelo a la erosión.

La ventaja de determinar la erodabilidad en laboratorio usando muestras de suelo alteradas

y totalmente desnudas, permitirá tener valores de erodabilidad para mayor número de unidades de suelo en corto tiempo, lo cual permitirá a su vez en un futuro, clasificar los suelos de acuerdo a la susceptibilidad a la erosión y trazar curvas de isoerodabilidad, que servirán de herramienta para la planificación, ordenamiento y manejo de los suelos de la zona cafetera colombiana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la investigación, en particular, a: Franco Humberto Obando M., Luis Fernando Salazar, a los revisores.

LITERATURA CITADA

1. AGASSI, M.; BRADFORD, J. M. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil and Tillage Research* 49:277-287. 1999.
2. BAJRACHARYA, R. H.; ELLIOT, W. J.; LAL, R. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field simulation. *Soil Science Society of America Journal* 56: 267-272. 1992
3. BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E.; REMLEY, P. A. Interrill soil erosion processes: II Relationship of splash detachment to soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 51(6): 1571-1575. 1987
4. BRADFORD, J. M.; HUANG, C. Comparison of interrill soil loss for laboratory and field procedures. *Soil Technology* 6:145-156. 1993.
5. BRADFORD, J. M.; FOSTER, G., R. Interrill soil erosion and slope steepness factors. *Soil Science Society of America Journal* 60: 909-915. 1996.
6. ELLIOT, W. J.; FOSTER, G. R.; ELLIOT, A. V. Soil erosion: Processes, impacts and prediction. *In*: LAL, R.; PIERCE, F. J. eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 25-34.

7. FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. USDA - Water Erosion Prediction Project- (WEPP). Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. West Lafayette, USDA - Agricultural Research Service, 1995. 131 p. (NSERL Report No. 10).
8. FOSTER, G. R. Modeling soil erosion and sediment yield. *In*: LAL, R. eds. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 97-111.
9. LAFLEN, J. M.; ELLIOT, W. J.; SIMATION, J. R.; KOHL, K. D. WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 46(1): 39-44. 1991.
10. LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy* 37: 183-248. 1984.
11. LAL, R. Erosivity and erodibility. *In*: LAL, R. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.
12. LAL, R. Soil erosion in the tropics. Principles and management. Ankeny, McGraw Hill, 1990. 580 p.
13. MEYER, L. D. How rain intensity affects interrill erosion. *Transactions of the ASAE* 24(6): 1472-1474. 1981.
14. MEYER, L. D. Rainfall simulators for soil conservation research. *In*: LAL, R. ed. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 75-95.
15. MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Susceptibility of agriculture soils to interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal* 48(5): 1152-1157. 1984.
16. NEARING, M. A.; FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; FINKNER, S. C. A process-based soil erosion model for USDA - Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions of the ASAE* 32 (5):1587-1593. 1989.
17. RIVERA P., H. Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera central colombiana. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 1999. 525 p. (Tesis: Ph.D.).
18. RIVERA P., H.; LAL, R.; AMÉZQUITA C., E.; MESA S., O.; CHAVES C., B. Erodabilidad de cinco suelos de la zona cafetera central colombiana mediante simulación de lluvias. *Cenicafé* 49 (3):197-210. 1998.
19. SUÁREZ DE CASTRO, F.; RODRÍGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá, FEDERACAFÉ. 1962. 473 p.
20. TRUMAN, C. C.; BRADFORD, J. M. Laboratory determination of interrill soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal* 59: 519-526. 1995.
21. WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook. No. 537).
22. YOUNG, R. A.; BURWELL, R. E. Prediction of runoff and erosion from natural rainfall using a rainfall simulator. *Soil Science Society of America Journal* 36 (5): 827-830. 1972.