

MOVIMIENTO DEL AGUA Y PROCESOS FUNDAMENTALES EN LA EROSIÓN DE CINCO SUELOS DE LA ZONA CAFETERA CENTRAL COLOMBIANA¹

José Horacio Rivera-Posada*; Rattan Lal**; Edgar Amézquita-C***; Oscar Mesa-Sánchez****; Bernardo Chaves-Córdoba.*

RESUMEN

RIVERA P., J.H.; LAL RATAN; AMÉZQUITA C., E.; MESA S., O.; CHAVES C., B. Movimiento del agua y procesos fundamentales en la erosión de cinco suelos de la zona cafetera central colombiana. Cenicafé 49(4): 308-324. 1998.

Se determinó el movimiento del agua en cinco suelos representativos de la zona cafetera colombiana y las pérdidas por erosión, utilizando un simulador de lluvias en laboratorio y aplicando 100mm de lluvia/h, equivalente a 0,002936 J/cm².mm de lluvia. Se utilizaron tres fracciones, de 2-1mm; 1-0,5mm y <0,5 mm. Los suelos contrastaban en textura y contenido de materia orgánica. Las muestras provinieron de los primeros 10cm de profundidad; se prepararon en bandejas manualmente antes de cada simulación y se inclinaron con un gradiente del 70%. Éstas se equiparon con una lámina metálica para coleccionar el suelo proveniente de la dispersión de agregados causada por el impacto de las gotas y tres dispositivos para coleccionar las aguas y el suelo arrastrado por la escorrentía, la percolación y la dispersión. El flujo por percolación para suelos de cenizas volcánicas fue del 65-91%. El flujo por escorrentía para Guamal estuvo entre 55 y 75%. La mayor escorrentía ocurrió en agregados <0,5mm. En cenizas volcánicas las mayores pérdidas por erosión ocurrieron por dispersión de agregados. En Guamal la mayor pérdida por erosión ocurrió a causa de la escorrentía. Las pérdidas más altas se presentaron así: unidad Guamal (Typic eutropepts) 7,09kg/m²; Montenegro (Melanudands) 2,57kg/m²; Chinchiná (Melanudands) 1,79kg/m²; Parnaso (Typic eutropepts) 1,40kg/m² y Fresno (Melanudands) 1,20kg/m². Los lodos suspendidos en superficie en las aguas de escorrentía y percolación fueron muy bajos para todos los suelos, excepto para el tamaño de agregados <0,5 mm.

Palabras claves: Zona cafetera, suelos, escorrentía, percolación, erosión.

ABSTRACT

Using a laboratory rainfall simulator at intensity of 100 mm/h, water flow through soil and soil loss erosion were measured. Five soils from the Colombian coffee-growing zone, with three aggregate size fractions (1-2 mm; 0.5-1 mm, and <0.5 mm), were selected based on contrasting textural composition and soil organic matter content, and representativeness in the coffee zone. Soil samples were taken from the top 100mm depth and packed in soil trays prepared manually just before each rainfall simulation run. Trays were equipped with splash board, runoff and percolation collection and were fitted on a stand with a 70% gradient, which is the representative slope of the Colombian coffee-growing zone. The percolation rate for volcanic ash soils ranged from 65% to 91%. In contrast, the runoff rate for the clayey soil Guamal (Typical eutropepts) ranged from 55% to 75%. The highest runoff for all soils was observed for aggregate size < 0.5 mm. Most soil loss occurred by splash and bedload deposited in the channel. The highest soil loss by runoff was observed for the Guamal soil unit (7.09 kg/m²) probably due to low structural stability, followed by Montenegro (Melanudands) (2.57 kg/m²); Chinchiná (Melanudands)(1.79 kg/m²); Parnaso (Typical eutropepts)(1.40 kg/m²) and Fresno (Melanudands)(1.20 kg/m²). The suspended load in surface runoff and percolation water was very low for all soils, except for the aggregates size < 0.5 mm.

Keywords: Runoff, percolation, soil erosion, coffee zone.

¹ Trabajo realizado en la Universidad del Estado de Ohio, Estados Unidos, con el apoyo de Colciencias, como requisito de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, para optar al título de Ph.D. en Recursos Hidráulicos.

* Investigador Científico I e Investigador Científico II, respectivamente. Conservación de Suelos y Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Ph.D. Professor School of Natural Resources 2021 Coffey Road Columbus, OH 43210

*** Ph.D. Programa Trópico Bajo, Física de Suelos CIAT. Palmira, Valle. AA 6713

**** I.C. Ph.D. Profesor Posgrado Recursos Hidráulicos Universidad Nacional, Medellín.

El tamaño, la distribución, la velocidad, el impacto de las gotas y las intensidades apropiadas, son las características más importantes que necesitan ser simuladas para realizar investigaciones de manejo de suelos y aguas, ya que son factores claves en el arranque de los suelos, el sellamiento superficial y la escorrentía producidas por las lluvias (17). Las lluvias ejercen su acción erosiva sobre el suelo debido al impacto de las gotas, que caen con velocidad y energía variable según el diámetro e intensidad, y por la energía cinética desarrollada por los volúmenes de agua de escorrentía (12, 13, 23). La energía cinética de la lluvia se considera como máxima, con intensidades de lluvia entre 50 y 100mm por hora y mayores de 200mm por hora; ya que gotas de lluvia mayores de 5,5 a 6 mm de diámetro son inestables debido a la turbulencia del aire, lo que hace que se rompan; sin embargo en el caso de lluvias con intensidades mayores de 200mm/h ocurre nuevamente la coalescencia de gotas pequeñas, menores de 2,5mm (15).

El valor medio del número de aguaceros al año en la zona cafetera es de 498, con valores extremos de 353 y 728 (14). Según Sánchez (23), el valor promedio de la erosión del suelo en América del sur y África es alrededor de 7t/ha.año, mientras en Europa es de 0,8t/ha.año. De las unidades de suelos reconocidas por la Federación Nacional de Cafeteros en el país, el 12,5% se clasifican como resistentes a la erosión, el 20% de resistencia moderada, el 37,5% susceptibles y el 30% muy susceptibles (19). Bennett, citado por Machado (16), afirma que la erosión se acelera a medida que el suelo de la superficie cargado de humus y con mayor capacidad de absorción es arrastrado, dejando al descubierto las capas inferiores, menos estables.

Cenicafé encontró en cultivos de café a la sombra las pérdidas menores de suelo por erosión (0,09; 0,22 y 0,56t/ha.año), donde se establecieron prácticas de conservación de suelos

tales como cobertura de añil rastrero, terrazas individuales y cajuelas, y donde se desyerbó con machete. La pérdida mayor (4,76t/ha.año), se presenta en el sistema de manejo en el cual no se efectuaron prácticas de conservación y las desyerbas se hicieron con azadón (2, 7). El manejo integrado de arvenses (manual, mecánico y químico), ha reducido las pérdidas de suelo por erosión a niveles cercanos o menores de 1.000kg/ha.año, sin disminuciones de producción de café.

Con el manejo integrado se logra en poco tiempo un dominio de la población de coberturas «nobles» (5, 6, 8, 20). Los modelos de erosión basados en procesos, se han desarrollado desde Meyer y Wischmeier, citados por Watson y Laflen (27), quienes presentaron descripciones matemáticas del arranque y transporte de los agregados del suelo por el impacto de las lluvias y la escorrentía, procesos que habían sido planteados por Nearing *et al.* (18).

El avance del entendimiento de la erosión entre surcos ha estado limitado por la dificultad de las medidas y por la extremada complejidad de los procesos (10). Esta investigación tuvo como propósito analizar los distintos procesos de erosión que ocurren en los suelos más representativos de la zona cafetera central de Colombia y caracterizar el movimiento del agua manifestado como aguas de escorrentía y percolación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales. Para determinar el movimiento del agua en el suelo y los procesos de erosión, se seleccionaron cinco Unidades de suelos ubicadas en diferentes regiones de la zona cafetera colombiana (Tabla 1) y un simulador de lluvias, bajo condiciones de laboratorio. El simulador fue desarrollado en la Universidad de Purdue en Estados Unidos. Tres de los suelos se derivan de

TABLA 1. Localización de los sitios de muestreo de suelos seleccionados para el estudio de erosión en la zona cafetera central colombiana, y valores anuales promedio de las variables del clima.

Departamento Municipio	Unidad Suelo	Altitud media (m)	Lluvia mm	Días lluviosos No.	T° media (°C)	Humedad relativa anual (%)
CALDAS						
Supía (Typic eutropepts)	Guamal	1.320	2.254	183	21,7	75
Chinchiná (Melanudands)	Chinchiná	1.400	2,665	251	20,6	78
Marquetalia (Melanudands)	Fresno	1.450	3.627	216	20,8	82
QUINDIO						
Quimbaya (Melanudands)	Montenegro	1.450	2.004	203	20,8	78
VALLE						
Sevilla (Typic eutropepts)	Parnaso	1.540	1.617	188	20,3	-

cenizas volcánicas: Unidades Chinchiná, Montenegro y Fresno, clasificadas como melanudands; las restantes, Unidades Parnaso y Guamal, Typic eutropepts, se derivan de basalto y areniscas olivínicas, respectivamente.

De cada una de las cinco unidades de suelos, se tomaron 30kg previamente tamizados (10kg para cada tamaño de agregados), para un total de 150kg, que fueron transportados en botellas plásticas al Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad del Estado de Ohio, Columbus, Estados Unidos.

Metodología. Los suelos se seleccionaron con base en diferencias de textura, contenido de materia orgánica y representatividad en el área cafetera colombiana. Las muestras se tomaron en los primeros 10cm de profundidad y se transportaron al laboratorio de Cenicafé, donde

se secaron a la sombra y posteriormente se clasificaron según los siguientes tamaños: 2-1mm, 1-0,5mm y <0,5mm de diámetro.

Se simularon aguaceros con intensidades de 100mm/h durante una hora. Antes de cada simulación, las muestras previamente tamizadas se distribuyeron manualmente en bandejas metálicas de 20,32cm de ancho por 40,64cm de longitud (0,08258 m²). Cada muestra se preparó en la bandeja colocando en su orden los siguientes elementos, según la metodología propuesta por Truman y Bradford (26): Anjeo, tela de gasa, arena lavada para que obre como filtro (3cm de espesor), muestra de suelo distribuida uniformemente (2cm de espesor).

El suelo de las muestras previamente distribuidas en las bandejas se saturó por capilaridad en agua deionizada, durante un período de 24 horas. Luego de la saturación se drenaron los

suelos durante una hora, colocándose con una inclinación equivalente a una pendiente del 70% (la más representativa de los suelos de la zona cafetera). Posteriormente se sometieron al impacto de la lluvia con agua deionizada. Alrededor de la bandeja se colocó un protector metálico de 54cm de altura, para medir las pérdidas por dispersión de agregados como consecuencia del impacto de las lluvias sobre el suelo.

Se calibró el simulador de lluvias a una intensidad, representativa, de 100mm/h, equivalente a una energía cinética de 0,002936 J/cm².mm de lluvia, durante una hora.

Se efectuaron entonces las siguientes determinaciones durante una hora:

- Distribución del flujo de agua por escorrentía y percolación en cada una de las muestras de las diferentes unidades de suelos, a intervalos de cinco minutos.
- Pérdidas de suelo por escorrentía cada cinco minutos.

- Pérdidas de suelo por percolación cada cinco minutos.
- Pérdidas de suelo por dispersión de agregados debido al impacto de la lluvia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución del flujo de agua por escorrentía y percolación. En la Tabla 2 se presenta la distribución del flujo de agua en las cinco Unidades de suelos seleccionadas. En los suelos derivados de cenizas volcánicas, Melanudands y en la Unidad Parnaso, Typic eutropepts, predomina el flujo de agua por percolación. El flujo más alto se encuentra en la Unidad Chinchiná (Melanudands), con valores de 8,68; 8,87 y 103cm/h para los tamaños de agregados de 2-1, 1-0,5 y <0,5 mm, respectivamente (Tabla 2), equivalentes al 88, 90 y 87% para cada tamaño de agregados en su orden. El flujo por percolación más bajo se encuentra en la Unidad Guamal, Typic eutropepts, con valo-

TABLA 2. Distribución del flujo de agua (cm/h) en cinco suelos de la zona cafetera colombiana.

Unidad de suelo	Tamaño de agregados de suelo (mm)					
	Flujo de escorrentía			Flujo de percolación		
	2-1	1-0,5	< 0,5	2-1	1-0,5	< 0,5
CHINCHINA (Melanudands)	0,56	0,56	0,79	8,68	8,87	8,58
MONTENEGRO (Melanudands)	1,64	1,69	1,89	7,44	7,41	6,40
FRESNO (Melanudands)	0,75	0,69	1,11	8,30	8,23	8,30
GUAMAL (Typic Eutropepts)	5,40	5,71	7,33	3,30	3,31	1,47
PARNASO (Typic Eutropepts)	0,59	0,56	3,98	8,57	8,59	4,61

res de 3,30; 3,31 y 1,47cm/h, para los tamaños de agregados de 2-1, 1-0,5 y <0,5mm, respectivamente (Tabla 2), equivalente a 33,5; 33,6 y 14,9%, para cada tamaño de agregados en su orden.

Todos los suelos presentan la tendencia a incrementar el flujo por escorrentía y a disminuir el flujo por percolación cuando el tamaño de agregados del suelo disminuye de 2 mm a < 0,5 mm. En los suelos derivados de cenizas volcánicas, Melanudands, durante los primeros 10 minutos tanto el flujo por escorrentía como por percolación son altos. Después, ambos flujos se tornan constantes pero la percolación siempre permanece mayor que la escorrentía, favorecida por los contenidos altos de materia orgánica (12 a 18%) y presencia alta de arena dentro del perfil (Tabla 3), permeabilidad moderada y densidad aparente baja que los convierte en suelos de buenas condiciones físicas

(21). Estas condiciones son favorables para los suelos de la zona cafetera, en el sentido que contrarrestan los procesos de erosión debido a la escorrentía, como consecuencia de las pendientes fuertes y longitudes largas.

La Unidad Guamal tiene un comportamiento contrario a las demás en cuanto al flujo de agua por escorrentía y percolación. Durante los primeros 10 minutos tanto el flujo por escorrentía como por percolación crecen rápidamente, pero a partir de este tiempo el flujo por percolación disminuye y el flujo por escorrentía se incrementa. Lo anterior se debe a las propiedades físicas desfavorables que presenta la Unidad Guamal, tales como contenido de materia orgánica bajo (Tabla 3), estabilidad estructural baja, permeabilidad baja, contenido de arcilla y densidad aparente altos (21). Estas condiciones físicas desfavorables, además de las fuertes pendientes y longitudes largas de

TABLA 3. Propiedades físicas y químicas de cinco suelos de la zona cafetera colombiana

UNIDAD SUELO	MO	pH	K	Ca	Mg	CIC	P	Fe	Mn	Zn	Cu	Al	Partículas			Tex- Agua tura disponible (%)	
													Ar	L (%)	A		
Chinchiná (Melanudands)	14	4,8	0,7	2,2	1,2	32	28	179	30	7	13	13	26	25	49	FArA	44
Montenegro (Melanudands)	12	5	0,6	5,6	1,4	26	17	147	27	10	2	12	28	26	46	FArA	26
Fresno (Melanudands)	18	4,9	0,4	2,6	1	34	2	178	16	1	5	19	24	30	46	F	9
Guamal (Typic Eutropepts)	3,9	5	0,8	4,4	3,2	13	24	240	84	4	3	2,9	42	24	34	Ar	10
Parnaso (Typic Eutropepts)	7,6	4,5	3	5	5,4	23	9	212	170	2	10	9,1	48	19	33	Ar	12

estos suelos (Tabla 3), favorecen los procesos de flujo de agua por escorrentía y el almacenamiento bajo de ésta en el perfil del suelo, ocasionando déficit hídrico en los períodos secos.

La Unidad Parnaso presenta un flujo de agua por escorrentía y percolación de tipo intermedio, comparada con los suelos de cenizas volcánicas y la Unidad Guamal, favorecida por su material de origen (basalto) y el contenido de materia orgánica mayor que en la Unidad Guamal (Tabla 3).

Análisis de la distribución del flujo de agua por escorrentía. En un análisis de regresión para la distribución del flujo de agua por escorrentía (Anexo 1), se observó, que los coeficientes de variación son bajos para las cinco Unidades de suelo, al igual que para los diferentes tamaños de agregados, con valores que oscilaron desde 22,45 a 3,8, para las Unidades de suelo Guamal y Fresno, respectivamente, con tamaños de agregados de 2-1, 1-0,5 y <0,5mm, en su orden. Entre menor es el tamaño de los agregados de suelo existe la tendencia a disminuir el coeficiente de variación.

Se determinaron, además, las correlaciones lineales simples entre el flujo de agua por escorrentía y el tiempo de aplicación del agua-cero con intervalos de cinco minutos, y se observó cómo a medida que se reduce el tamaño de los agregados de suelo se mejoran las correlaciones. La mejor regresión se presentó para la Unidad Fresno, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,95$ seguido por la Unidad Montenegro, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,89$ para los tamaños de agregados < 0,5 mm de diámetro.

Se encontró que en la Unidad Guamal la variación del flujo de agua por escorrentía a través del tiempo es muy alta, comparada con las demás Unidades de suelos, con coeficientes de determinación $R^2 = 0,89$; 0,72 y 0,61, para

los tamaños de agregados 2-1, 1-0,5 y <0,5mm de diámetro, respectivamente. A medida que disminuye el diámetro de los agregados del suelo se incrementa el flujo por escorrentía, especialmente en las Unidades de suelo Guamal, Parnaso y Montenegro, con coeficientes de determinación $R^2 = 0,61$; 0,82 y 0,89, respectivamente.

Análisis de la distribución del flujo de agua por percolación. En un análisis de regresión para la distribución del flujo de agua por percolación (Anexo 2), se observó, que los coeficientes de variación son bajos para las cinco Unidades de suelo, al igual que para los diferentes tamaños de agregados, con valores que oscilan desde 30,36 y 6,66 para las unidades Guamal y Fresno, respectivamente, que presentan tamaños de agregados de 2-1 y < 0,5mm en su orden. Entre menor es el tamaño de los agregados de suelo, así mismo tiende a disminuir el coeficiente de variación.

Se determinaron, además, las correlaciones lineales simples entre el flujo de agua por percolación y el tiempo de aplicación del agua-cero con intervalos de cinco minutos. La mejor correlación se presentó para la Unidad Fresno, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,58$, seguido por la Unidad Guamal, con $R^2 = 0,54$ para el tamaño de agregados 2-1 mm de diámetro. Se observó cómo en la Unidad Guamal el flujo de agua por percolación, a través del tiempo, se torna negativo para el tamaño de agregados 2-1mm y en los demás tamaños de agregados se incrementa un poco, no obstante su tendencia a disminuir a través del tiempo con coeficientes de determinación $R^2 = 0,54$; 0,50 y 0,20 para los tamaños de agregados de 2-1, 1-0,5 y <0,5mm, respectivamente. La Unidad Parnaso tiene un comportamiento similar a la Guamal cuando el tamaño de agregados es <0,5 mm, donde el flujo por percolación disminuye a través del tiempo y muestra un coeficiente $R^2 = 0,54$.

Procesos involucrados en las pérdidas de suelo por erosión, en los cinco suelos estudiados. En la Tabla 4 y las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5, se presentan para cada Unidad, cuatro tipos de procesos relacionados con las pérdidas de suelos por erosión: pérdidas de suelo por escorrentía, por percolación, por dispersión de agregados y según el suelo depositado en el canal de escorrentía, que por su peso no es arrastrado por las aguas de escorrentía al recipiente de recolección de la muestra.

Pérdidas de suelo por escorrentía. Estas pérdidas de suelo son muy bajas para todos los suelos y tamaños de agregados, excepto para el tamaño $<0,5$ mm, para las Unidades Chinchiná Melanudands y Guamal, Typic eutropepts especialmente, con valores entre $0,114\text{kg/m}^2$ (2,12%) y $11,2\text{kg/m}^2$ (52,68%), respectivamente (Tabla 4).

Las pérdidas altas de suelo por erosión, como consecuencia de la escorrentía alta en la Unidad Guamal, indican que estos suelos requieren un uso, manejo y conservación adecuados, tales como el establecimiento de cultivos perennes que permitan regular las aguas de escorrentía y favorecer la infiltración. También, bosques de explotación regulada, con sotobosque, caña panelera o café bajo sombrero regulado, con manejo de coberturas nobles; explotación silvopastoril, con ganadería alternada o de rotación, que evite el sobrepastoreo y con ello, la formación de calvas, surcos profundos, terracetos y cárcavas en el terreno.

Este es uno de los problemas mayores de erosión en América Central y Sur América, según el World Resources Institute, 1992, citado por Herrick y Lal (11). Las prácticas más efectivas contra la erosión en suelos de la Unidad Guamal las constituyen las barreras vivas de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), sembradas a través de la pendiente del terreno, acequias de ladera totalmente cubiertas por una cobertura vegetal densa como pastos o maní

forrajero (*Arachis pintoii*) que eviten el socavamiento de los taludes y el arrastre de suelo en el fondo del canal.

En todos los suelos estudiados y especialmente en la Unidad Guamal, debe evitarse el uso del azadón y la maquinaria agrícola como sistemas de manejo, que conlleven a la remoción, alteración de la estructura y cambios en la distribución de los agregados naturales del suelo.

En los suelos volcánicos, Melanudands, tales como, Montenegro, Chinchiná y Fresno, el uso de la maquinaria puede romper los agregados y compactar los suelos. Según Young *et al.* (28), debido a las operaciones de labranza se afecta la densidad de los suelos y consecuentemente, las características hidrológicas de los mismos.

Pérdidas de suelo por percolación. Las pérdidas de suelo por percolación, son casi imperceptibles para los suelos estudiados, con valores promedio entre $0,01\text{kg/m}^2$ (0,41%) a $0,02\text{kg/m}^2$ (1,07%) (Tabla 4). Esto indica, que en los suelos estudiados, la erosión de tipo vertical o hacia lo profundo del perfil del suelo no es un problema grave en la zona cafetera y se hace necesario dirigir la atención a los otros tipos de procesos erosivos como la dispersión de agregados, debida al impacto de las lluvias y la escorrentía.

Pérdidas de suelo por dispersión de agregados o salpique. Este proceso es ocasionado por el impacto directo de la gota de lluvia al hacer contacto con el suelo totalmente desnudo. En el presente trabajo estas pérdidas están representadas por el suelo desplazado hacia las paredes que bordean la bandeja donde estuvo depositada la muestra de suelo, expuesta al impacto de la lluvia con el equipo simulador.

Según Lal, 1988, citado por Bajracharya y Lal (1), la susceptibilidad de un suelo a las fuerzas erosivas por el impacto de las gotas de

TABLA 4. Pérdidas de suelo por erosión (kg/m²) en cinco suelos de la zona cafetera colombiana obtenidas mediante un simulador de lluvias (intensidad de lluvia 100mm/h)

UNIDAD SUELO	Tamaño agregado suelo (mm)										Total Total media							
	Pérdida suelo escorrentía		Pérdida suelo percolación			Pérdida suelo dispersión			Pérdida suelo canal									
	2-1	1-0,5	<0,5	Media	2-1	1-0,5	<0,5	media	2-1	1-0,5	<0,5	media	2-1	1-0,5	<0,5	media	Total	
CHINCHINÁ (Melanudands)	0,003	0,002	0,114	0,04	0,008	0,009	0,005	0,01	0,218	0,996	2,787	1,33	0,272	0,432	0,525	0,41	5,37	1,79
MONTENEGRO (Melanudands)	0,004	0,004	1,607	0,54	0,01	0,009	0,009	0,01	0,161	0,364	3,656	1,39	0,194	0,379	1,301	0,62	7,70	2,57
FRESNO (Melanudands)	0,001	0,001	0,218	0,07	0,007	0,008	0,007	0,01	0,161	0,278	1,49	0,64	0,349	0,525	0,55	0,47	3,60	1,20
GUAMAL Typic Eutropepis	1,467	0,985	11,2	4,55	0,018	0,012	0,005	0,01	1,391	1,748	1,822	1,65	0,701	0,987	0,924	0,87	21,26	7,09
PARNASO Typic Eutropepis	0,001	0,001	0,61	0,2	0,006	0,019	0,02	0,02	0,195	0,743	0,65	0,53	0,752	0,445	0,76	0,65	4,20	1,40

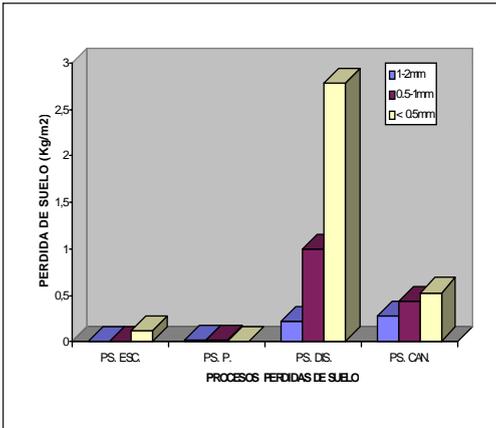


Figura 1. Procesos en pérdidas de suelo en Unidad Chinchiná, Melanudands.

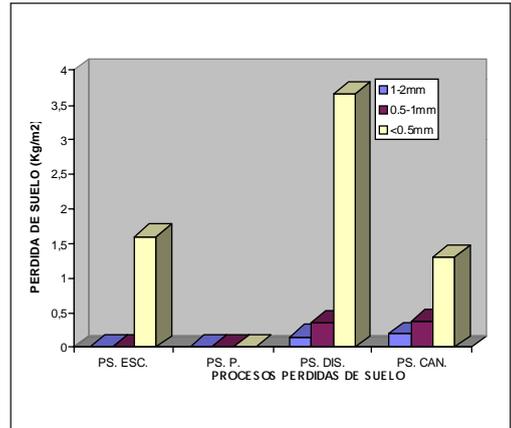


Figura 2. Procesos en pérdidas de suelo en Unidad Montenegro, Melanudands.

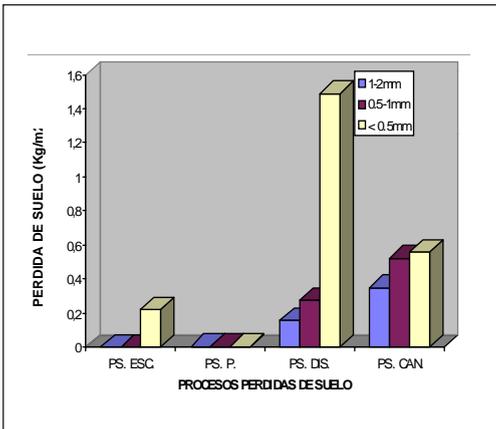


Figura 3. Procesos en pérdidas de suelo en Unidad Fresno, Melanudands.

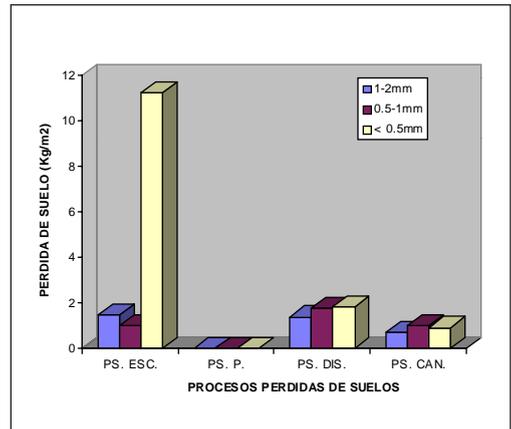
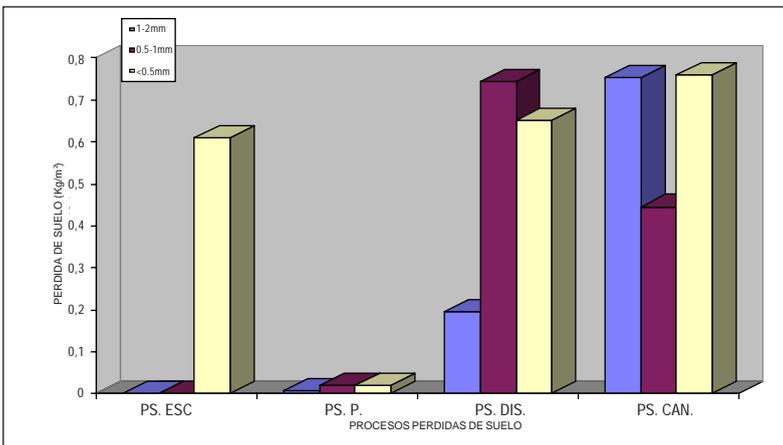


Figura 4. Procesos en pérdidas de suelo en Unidad Guamal, Typic Eutropepts.



PS. ESC. = Pérdida suelo escorrentía
 PS. P. = Pérdida suelo percolación
 PS. DIS. = Pérdida de suelo dispersión
 PS. CAN. = Pérdida suelo canal

Figura 5. Procesos en pérdidas de suelo por erosión en unidad Parnaso, Typic Eutropepts.

lluvia y por el flujo superficial, es considerada, generalmente, una propiedad inherente de los suelos y tiene un valor constante. Este es el proceso de pérdida de suelo más importante, especialmente para los tres suelos derivados de cenizas volcánicas, Melanudands (Figuras 1, 2 y 3) y la Unidad Parnaso, Typic eutropepts (Figura 5).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan, en promedio, valores de pérdida por dispersión de agregados entre $0,64\text{kg/m}^2$, equivalentes al 53,66% de pérdida, y $1,33\text{kg/m}^2$ equivalente al 74,49% de pérdida en relación con los demás procesos erosivos para el mismo suelo. Lo anterior para las Unidades Fresno y Chinchiná, Melanudands, respectivamente. Resultados similares registraron Young y Wiersma (29), quienes observaron cómo al disminuir el impacto de la energía de la lluvia en un 89%, sin bajar su intensidad, las pérdidas por erosión decrecieron en 90% o más, lo que indica cómo el impacto de la lluvia es la fuerza que más influye en el arranque de los agregados de suelo. Así mismo, Watson y Laflen (27), afirman que las pérdidas de suelo ocurridas entre los surcos formados luego de un aguacero, se deben principalmente al impacto de la gotas de lluvia. Estos resultados permiten orientar al técnico en la toma de decisiones, en relación con las prácticas preventivas más eficientes para la conservación de suelos y aguas, acordes con el proceso de degradación de mayor influencia.

De esta manera se evita inducir al agricultor en la realización de prácticas ineficientes generalizadas y de altos costos. Por tanto, la recomendación más práctica que permite contrarrestar la erosión causada por la dispersión de los agregados de estos suelos, es el uso de una cobertura vegetal densa permanente acompañando los cultivos, de tal forma que impida el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno. Esta práctica, además de proteger el suelo y el agua, obra como incentivo para el

agricultor ya que le conduce a disminuir los costos en las desyerbas entre un 85 a 90% (20).

La Unidad Parnaso, Typic eutropepts, presenta valores promedio de pérdidas de suelo por dispersión de $0,53\text{kg/m}^2$ equivalente al 37,79% de pérdida en relación con los demás procesos erosivos para el mismo suelo. Esto indica que para proteger dicho suelo contra la erosión, además del establecimiento de una cobertura vegetal densa, es necesario realizar otras prácticas preventivas complementarias, como las barreras vivas de limoncillo (*Cymbopogon citratus*) a través de la pendiente del terreno, para contrarrestar la energía de las aguas por efecto de la escorrentía ladera abajo.

Las pérdidas de suelo registradas anteriormente contrastan con los valores encontrados en la Unidad Guamal, Typic eutropepts, de $1,65\text{kg/m}^2$ equivalente al 23,33% de pérdida por dispersión en relación con los demás procesos erosivos para el mismo suelo (Tabla 4), por tratarse de un suelo con menor estabilidad estructural y propiedades físicas desfavorables, en relación con los demás discutidos anteriormente.

Pérdidas evaluadas como suelo depositado en el canal de escorrentía. Están constituidas por la cantidad de suelo que se deposita en el canal de escorrentía y que las aguas no arrastran durante los 60 minutos de duración del aguacero. Este es el segundo proceso de pérdidas de suelo por erosión en importancia, después de las pérdidas de suelos por dispersión de agregados. Este proceso de erosión ocurre principalmente en los suelos con tamaño de agregados < 0,5 mm (Tabla 4).

Los valores más altos de pérdida de suelo depositado en el canal de escorrentía ocurren en el suelo Unidad Guamal, Typic eutropepts (Tabla 4, Figura 4), con registros de $0,87\text{kg/m}^2$ en promedio, equivalente al 12,29% dentro de

todos los procesos del mismo suelo, seguido por la Unidad Parnaso, Typic eutropepts, con pérdidas promedio de suelo de $0,65\text{kg/m}^2$, que representa el 46,57% para el mismo suelo.

Como se puede observar entre los diferentes procesos descritos anteriormente, el que más favorece la erosión es la dispersión de agregados por efecto del impacto de la lluvia en el suelo totalmente desnudo, especialmente en los suelos derivados de cenizas volcánicas, Melanudands. Este proceso es favorecido en el campo por la intensidad alta de las lluvias de la zona cafetera colombiana (intensidades máximas en 30 minutos, entre 66 a 86mm/h) (21), pendientes escarpadas (mayores del 75%) y de longitudes muy largas (500 a 800m) (3).

En suelos derivados de cenizas volcánicas las pérdidas por dispersión de agregados son altas después de un aguacero y se acumulan en el canal de escorrentía en su parte baja y en las paredes de la lámina metálica que sirve de obstáculo al suelo que se pierde por dispersión. No obstante estas pérdidas, el suelo distribuido sobre la bandeja no presenta signos de erosión como surcos o cárcavas. Esta misma situación se observa en condiciones de campo, lo cual confunde al agricultor y a los técnicos que los asesoran, quienes pueden creer que no ocurre erosión después de un aguacero en suelos derivados de cenizas volcánicas y, por tanto, pueden continuar manejándolos en forma irracional, mediante el uso generalizado y reiterado del azadón y los herbicidas dejándolos totalmente desnudos y expuestos al impacto directo de lluvias.

Cenicafé ha realizado investigaciones en parcelas de escorrentía dejando el terreno sin coberturas vegetales mediante el uso del azadón. Se encontraron pérdidas de suelo hasta de 430t/ha.año en promedio (2, 25). Lo observado en los suelos derivados de cenizas volcánicas contrasta con lo mostrado por la Unidad Guamal, Typic eutropepts, donde por efecto de la escorrentía predomina la erosión en surcos.

Pérdidas totales de suelo por erosión en cinco suelos de la zona cafetera colombiana. En la Tabla 4 y la Figura 6, se presentan las pérdidas totales promedio de suelo por erosión; se observa cómo la Unidad Guamal muestra la susceptibilidad a la erosión más alta, con pérdidas de suelos de $7,09\text{kg/m}^2$, seguida por las Unidades Montenegro, Melanudands ($2,59\text{kg/m}^2$) y Chinchiná, Melanudands ($1,79\text{kg/m}^2$).

La Unidad de suelo más resistente a la erosión es Fresno, Melanudands ($1,20\text{kg/m}^2$), seguido por la Unidad Parnaso, Typic eutropepts ($1,40\text{kg/m}^2$) (Tabla 4). La susceptibilidad alta a la erosión encontrada en la Unidad Guamal, se debe a su material de origen (areniscas olivínicas), desarrollo bajo del perfil, presencia alta de grava en el perfil, contenido bajo de materia orgánica (3,9%) (Tabla 3), contenido alto de arcilla (42%) (Tabla 3), permeabilidad baja y estabilidad de agregados bajo (2, 3, 22). Suelos como la Unidad Guamal sujetos al sellamiento superficial, pueden reducir la infiltración e incrementar la escorrentía y con ello, el transporte de sedimentos (1).

Análisis de las pérdidas de suelo por flujo de agua por escorrentía. En un análisis de regresión para las pérdidas de suelo por flujo de agua

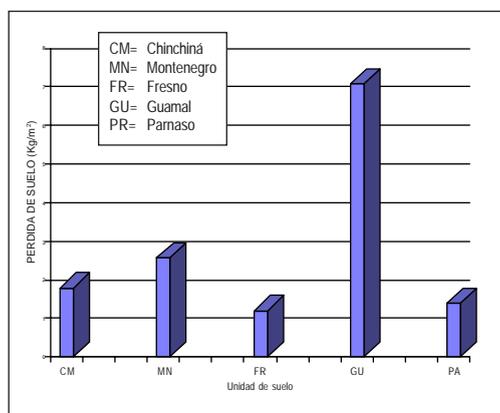


Figura 6. Pérdidas totales promedio de suelo por erosión de cinco suelos de la zona cafetera colombiana bajo simulador de lluvias.

por escorrentía (Anexo 3), se observó, que los coeficientes de variación van de altos a bajos para las cinco Unidades de suelo, cuando el tamaño de agregados es de 2-1mm, con valores que oscilan desde 115,95 a 22,77, para las Unidades de suelo Chinchiná y Montenegro, respectivamente. Entre menor el tamaño de los agregados de suelo, así mismo hay la tendencia a disminuir el coeficiente de variación.

En las correlaciones lineales simples entre las pérdidas de suelo por flujo de agua de escorrentía y el tiempo de aplicación del aguacero con intervalos de cinco minutos, se observó cómo a medida que se reduce el tamaño de los agregados de suelo se mejoran las correlaciones, con excepción de la Unidad Guamal. La mejor correlación se presentó para la Unidad Parnaso, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,98$, seguido por la Unidad Fresno, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,94$ para los tamaños de agregados $< 0,5$ mm de diámetro. Se observó como en la Unidad Guamal las pérdidas de suelo por flujo de agua por escorrentía son muy altas a través del tiempo, comparado con las demás Unidades de suelos, con coeficientes de determinación $R^2 = 0,70$; $0,92$ y $0,22$, para los tamaños de agregados 1-2, 0,5-1 y $< 0,5$ mm de diámetro, respectivamente. A medida que disminuye el diámetro de los agregados de suelo se incrementa el flujo por escorrentía, especialmente en las Unidades de suelo Guamal y Montenegro.

Análisis de las pérdidas de suelo por flujo de agua por percolación. En un análisis de regresión para las pérdidas de suelo por flujo de agua por percolación (Anexo 4), se observó que los coeficientes de variación presentan valores de bajos a altos, para las cinco Unidades de suelo, al igual que para los diferentes tamaños de agregados. Los valores oscilan entre 125,8 (para la Unidad Parnaso, con tamaño de agregados $< 0,5$ mm) y 15,82 (en la Unidad Chinchiná con tamaño de agregados de 1-2 mm). Entre menor es el tamaño de los agregados de suelo ocurre la

tendencia a un incremento del coeficiente de variación.

La mejor correlación simple entre las pérdidas de suelo por flujo de agua por percolación en relación con el tiempo de aplicación del aguacero, con intervalos de cinco minutos, se presentó en la Unidad Montenegro, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,64$, seguido por la Unidad Parnaso, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,62$ para el tamaño de agregados 2-1mm de diámetro. Se observa la tendencia a que las correlaciones sean menores entre menor el tamaño de los agregados de suelo. Para todos los suelos estudiados se observó la tendencia a disminuir la pérdida de suelo por percolación, a medida que transcurre el tiempo del aguacero. Es más marcado el proceso en la Unidad Guamal, con un coeficientes de determinación $R^2 = 0,23$, seguido por la Unidad Montenegro con un coeficientes de determinación $R^2 = 0,64$ para el tamaño de agregados de 1-2 mm en ambos casos. Se presenta tendencia al incremento de las pérdidas de suelo por flujo de percolación en las Unidades de suelo Parnaso y Montenegro, con coeficientes de determinación muy bajos, $R^2 = 0,06$ y $R^2 = 0,24$, respectivamente.

LITERATURA CITADA

1. BAJRACHARYA, R.M.; ELLIOT, W.J.; LAL, R. Interril Erodibility of some Ohio Soils based on field simulation. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 56: 267-272. 1992.
2. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafé. Cuarenta años de investigación de Cenicafé. Suelos, vol 1. Chinchiná, Cenicafé, 1982. 74p.
3. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA(FEDERACAFE).PROGRAMA DE DESARROLLO Y DIVERSIFICACION DE ZONAS CAFETERAS Estudio de Zonificación y Uso Potencial del suelo en la zona Cafetera del Departamento de Caldas. Bogota, Colombia. Federacafe-Prodesarrollo. 1982. 309 p.

4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFE). PROGRAMA DE DESARROLLO Y DIVERSIFICACION DE ZONAS CAFETERAS. Estudio de Zonificación y Uso Potencial del Departamento del Quindío. Bogotá. Colombia. Federacafé - Prodesarrollo. 1986. 162p.
5. GÓMEZ A., A. Las malezas nobles previenen la erosión. Avance Técnico Cenicafé No. 151:1- 4 p. 1990.
6. GÓMEZ A., A. Manejo integrado de malezas en el cultivo del café y la erosión de los suelos. *In*: CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. 50 años de Cenicafé 1938-1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé. 1990. p.15-22.
7. GÓMEZ A., A.; ALARCÓN C., H.; GRISALES G., A. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Cenicafé, 1975. 267 p.
8. GÓMEZ A., A.; RAMÍREZ H., C.J.; CRUZ K., R.G.; RIVERA P., H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera. Chinchiná, Cenicafé. 1987. 254 p.
9. GÓMEZ A., A.; RIVERA P., H. Descripción de arvenses en plantaciones de café. Chinchiná. Cenicafé, 1995. 490 p.
10. GUY B.T.; DICKINSON W.T.; RUDRA R.P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. *Transaction of the ASAE* 30(5):1378-1385. 1987.
11. HERRICK, J.E.; LAL, R. Soil physical property changes during dung decomposition in a tropical pasture. *Soil Science Society of America Journal* 59:908-912. 1995.
12. HUDSON, N. Conservación de suelos. Barcelona, Reverté S.A., 1982. 335 p.
13. HUDSON, N. Soil conservation. 3 ed. Ames, Iowa State University Press. 1995. 391p.
14. JARAMILLO, R., A. Características climáticas de la zona cafetera. *In*: Tecnología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafé. 1987. p 7-56.
15. KIRBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. Erosión de suelos. 10. ed. México, Limusa S.A., 1984. 367p.
16. MACHADOS., A. Primera aproximación de los valores del factor de erodabilidad K, en algunos suelos colombianos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 31 (1): 1-23. 1978.
17. MEYER, L. D. Rainfall simulators for soil conservation research. *In*: LAL, R. (ed). Soil erosion research methods. Ankey, Iowa, Soil and Water Conservation Society, 1988. p 75-95.
18. 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
19. QUEVEDO P., H. Características físicas, químicas y taxonómicas de los suelos de la zona cafetera colombiana. Bogotá, FEDERACAFE. 1986. 25 p.
20. RIVERA P., H. Construya su equipo para aplicación racional de herbicidas y establezca coberturas nobles en su cafetal. *Avances Tecnicos Cenicafé* No 206:1-8. 1994.
21. RIVERA P., H. Determinación de los índices de erosividad, erodabilidad y erosión potencial en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 1990. 310p. (Tesis Magister Science)
22. RIVERA P., H.; GOMEZ A., A. Erosividad de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Chinchiná, Cenicafé. 1991. 26p.
23. SANCHEZ A., P. Suelos del trópico: Características y manejo. San José de Costa Rica, IICA, 1981. 634 p.
24. SUÁREZ DE C., F. Conservación de suelos. 3 ed. San José de Costa Rica, IICA, 1980. 315 p.
25. SUAREZ DE C., F.; RODRIGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá, FEDERACAFE, 1962. 473 p.
26. TRUMAN, C.C.; BRADFORD, J.M. Laboratory determination of interrill soil erodibility. *Soil Science Society America Journal* 59:519-526. 1995
27. WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. Soil strength, slope and rainfall intensity effects on interrill erosion. *Transactions of the ASAE* 29(1):98-102. 1986
28. YOUNG, R. A.; ONSTAD, C.A.; M^cCOOL, D.K.; BENOIT, G.R. Temporal changes in soil erodibility. Washington, Department of Agriculture, 1985. 16p.
29. YOUNG, R. A.; WIERSMA, J.L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resources Research* 9(6):1629-1636. 1973

ANEXO 1. Análisis de regresión en la distribución del flujo del agua por escorrentía en cinco suelos de la zona cafetera colombiana.

UNIDAD DE SUELOS	C de Med	prob>F	t-2 CV	Estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	0.5-1 prob>F	CV	estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	<0.5 CV	estimado	error est	prob>T	R**2	
CHINCHINA																						
ERROR	0,09279							0,0013														
Prob>F		0,0001							0,0001													
coeficiente de variación			11,33							6,49							6,022					
Intercepto				0,44	0,0275	0,0001					0,451	0,0159	0,0001					0,63	0,021	0,0001		
Tiempo				0,0036	0,0007	0,0001					0,0034	0,00043	0,0001					0,005	0,0006	0,0001		
R**2							0,51							0,74								0,78
MONTENEGRO																						
ERROR	0,043							0,029														
Prob>F		0,0001							0,0001													
coeficiente de variación			12,58							10,08												8,49
Intercepto				1,19	0,09	0,0001					1,34	0,074	0,0001					1,07	0,07	0,0001		
Tiempo				0,014	0,0024	0,0001					0,01	0,002	0,0001					0,025	0,0019	0,0001		
R**2							0,59							0,57								0,89
FRESNO																						
ERROR	0,01078							0,012														
Prob>F		0,0001							0,0001													
coeficiente de variación			13,87							15,79												3,8
Intercepto				0,56	0,045	0,0001					0,37	0,047	0,0001					0,76	0,018	0,0001		
Tiempo				0,0057	0,001	0,0001					0,01	0,0013	0,0001					0,01	0,0005	0,0001		
R**2							0,49							0,72								0,95
GUAMAL																						
ERROR	1,35							1,64														
Prob>F		0,0001							0,0001													
coeficiente de variación			21,57							22,45												7,43
Intercepto				1,33	0,51	0,0157					2,63	0,56	0,0001					6,093	0,24	0,0001		
Tiempo				0,125	0,014	0,0001					0,095	0,015	0,0001					0,038	0,006	0,0001		
R**2							0,79							0,64								0,61
PARMASO																						
ERROR	0,0063							0,0041														
Prob>F		0,462							0,0001													
coeficiente de variación			13,61							11,57												18
Intercepto				0,56	0,035	0,0001					0,42	0,028	0,0001					1,24	0,31	0,0006		
Tiempo				0,00071	0,0009	0,46					0,0041	0,0008	0,0001					0,08	0,0085	0,0001		
R**2							0,025							0,57								0,82

ANEXO 2. Análisis de regresión en la distribución del flujo del agua por percolación en cinco suelos de la zona cafetera colombiana.

UNIDAD DE SUELOS	C de Med	prob>F	1-2	estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	0.5-1	estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	<0.5	estimado	error est	prob>T	R**2	
CHINCHINA																						
ERROR	1,4822							1,077														
Prob>F		0,0055							0,0193													
coeficiente de variación			14,029							11,7												
Intercepto			7,24	0,5298	0,0001					7,86	0,4516	0,0001					11,62	7,81	0,434	0,0001		
Tiempo			0,044	0,0144	0,0055					0,031	0,0123	0,0193						0,024	0,012	0,0851		
R**2							0,3															0,16
MONTENEGRO																						
ERROR	0,87							0,82														
Prob>F		0,0014							0,0007													
coeficiente de variación			12,55							12,24												
Intercepto			6,12	0,41	0,0001					6,041	0,395	0,0001					9,46	6,62	0,26	0,0001		
Tiempo			0,04	0,01	0,0014					0,042	0,011	0,0007						-0,007	0,007	0,35		
R**2							0,38															0,04
FRESINO																						
ERROR	0,39							0,81														
Prob>F		0,0001							0,0003													
coeficiente de variación			7,51							10,91												
Intercepto			6,97	0,27	0,0001					6,77	0,39	0,0001					6,66	7,73	0,24	0,0001		
Tiempo			0,04	0,007	0,0001					0,045	0,011	0,0003						0,017	0,0065	0,014		
R**2							0,58															0,24
GUAMAL																						
ERROR	1,003							0,96														
Prob>F		0,0001							0,0001													
coeficiente de variación			30,36							29,67												
Intercepto			5,24	0,44	0,0001					5,084	0,43	0,0001					25,27	1,8	0,16	0,0001		
Tiempo			-0,06	0,012	0,0001					-0,055	0,012	0,0001						-0,01	0,0044	0,03		
R**2							0,54															0,2
PARNASO																						
ERROR	1,75							1,21														
Prob>F		0,004							0,003													
coeficiente de variación			15,42							12,8												
Intercepto			6,92	0,57	0,0001					7,16	0,48	0,0001					19,63	6,39	0,39	0,0001		
Tiempo			0,05	0,016	0,0037					0,044	0,013	0,0003						-0,05	0,011	0,0001		
R**2							0,32															0,54

ANEXO 3. Análisis de regresión en las pérdidas de suelo por escorrentía en cinco suelos de la zona cafetera colombiana.

UNIDAD DE SUELOS	C de Med	prob>F	1-2 CV	Estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	0.5-1 CV	estimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	<0.5 CV	estimado	error est	prob>T	R**2	
CHICHINA																						
ERROR	9.40E-08							4.659E-09							5.25E-06							
Prob>F		0.365							0.0001							0.0001						
coeficiente de variación			115.95							45.4							24.03					
intercepto				0.00037	0.00013	0.0105					-1.9E-05	3E-05	0.525					-0.0054	0.000997	0.0001		
tiempo				-3E-06	4E-06	0.365					5E-06	8E-07	0.0001					0.00046	2.7E-05	0.0001		
R**2							0.04							0.17								0.93
MONTENEGRO																						
ERROR	5.87E-09							3.52E-09							0.0017							
Prob>F		0.45							0.044							0.0001						
coeficiente de variación			22.77							16.7							30.92					
intercepto				0.00031	3.3E-05	0.0001					0.00031	2.6E-05	0.0001					-0.095	0.018	0.0001		
tiempo				7E-07	9E-07	0.454					1.5E-06	7E-07	0.044					0.007	0.00049	0.0001		
R**2							0.03							0.17								0.9
FRESNO																						
ERROR	3.37E-09							3.44E-09							5.8E-06							
Prob>F		0.18							0.4							0.0001						
coeficiente de variación			58.12							72.66							13.27					
intercepto				0.00013	2.5E-05	0.0001					6E-05	2.5E-05	0.024					0.0015	0.001	0.1646		
tiempo				-9.6E-07	7E-07	0.18					6E-07	7E-07	0.4					0.00051	2.8E-05	0.0001		
R**2							0.08							0.032								0.94
GUAMAL																						
ERROR	0.0027							0.00025							0.025							
Prob>F		0.0001							0.0001							0.022						
coeficiente de variación			42.17							19.16							16.92					
intercepto				-0.02	0.022	0.372					-0.013	0.007	0.07					0.78	0.069	0.0001		
tiempo				0.0044	0.0006	0.0001					0.0029	0.00019	0.0001					0.005	0.0019	0.022		
R**2							0.7							0.92								0.22
PARNASO																						
ERROR	3.41							1.95E-09							3E-05							
Prob>F		0.042							0.114							0.0001						
coeficiente de variación			68.51							47.34							10.33					
intercepto				3.7E-05	2.5E-05	0.16					6.5E-05	1.9E-05	0.0026					-0.021	0.0023	0.0001		
tiempo				1.5E-06	7E-07	0.042					9E-07	5E-07	0.1142					0.0022	6.2E-05	0.0001		
R**2							0.18							0.11								0.98

ANEXO 4. Análisis de regresión en las pérdidas de suelo por percolación en cinco suelos de la zona cafetera colombiana.

UNIDAD DE SUELOS	C de Med	prob>F	1-2 CV	eslimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	0,5-1 CV	eslimado	error est	prob>T	R**2	C de Med	prob>F	<0,5 CV	eslimado	error est	prob>T	R**2	
CHINCHINA																						
ERROR	1,098							3,099E-08							3,279E-08							
Prob>F	0,0003							0,0001								0,0016						
coeficiente de variación			15,82							22,73							39,79					
Intercepto				0,00084	4,6E-05	0,0001					0,0012	7,7E-05	0,0001					0,000706	7,9E-05	0,0001		
tiempo				-5,4E-06	1,2E-06	0,0003					-1E-05	2E-06	0,0001					-7,7E-06	2,1E-06	0,0016		
R**2							0,46							0,61								0,37
MONTENEGRO																						
ERROR	4,55E-08							3,26E-08							8,07E-08							
Prob>F	0,0001							0,001								0,016						
coeficiente de variación			25,7							24,25							36,86					
Intercepto				0,0013	9,3E-05	0,0001					0,001	8E-05	0,0001					0,0011	0,00012	0,0001		
tiempo				-1,6E-05	2,5E-06	0,0001					-8E-06	2E-06	0,0001					-8,8E-06	3,4E-06	0,016		
R**2							0,64							0,4								0,24
FRESNO																						
ERROR	5,73E-08							6,43E-07							1,23E-07							
Prob>F	0,71							0,73								0,136						
coeficiente de variación			42,2							119,48							60,02					
Intercepto				0,0006	0,0001	0,0001					0,0006	0,00035	0,12					0,00079	0,00015	0,0001		
tiempo				-1,1E-06	3E-06	0,71					3,3E-06	9E-06	0,73					-6,4E-06	4,1E-06	0,136		
R**2							0,006							0,006								0,1
GUAMAL																						
ERROR	7,73E-07							4,23E-08							2,97E-08							
Prob>F	0,018							0,982								0,35						
coeficiente de variación			62,83							21,35							39,69					
Intercepto				0,0023	0,00038	0,0001					0,00096	8,9E-05	0,0001					0,00037	7E-05	0,0001		
tiempo				-2,6E-05	1E-05	0,0181					-5,5E-08	2,4E-06	0,982					1,9E-06	2E-06	0,35		
R**2							0,23							0								0,04
PARNASO																						
ERROR	1,17							3,41E-06							3,77E-06							
Prob>F	0,0001							0,245								0,31						
coeficiente de variación			20,06							118,7							125,9					
Intercepto				0,00079	4,7E-05	0,0001					0,00071	0,0008	0,39					0,0008	0,0008	0,37		
tiempo				-7,6E-06	1,3E-06	0,0001					2,6E-05	2,2E-05	0,24					2,4E-05	2,3E-05	0,31		
R**2							0,62							0,06								0,05