

7444 330  
100315

# ESTABILIDAD ESTRUCTURAL POR IMPACTO DE LA GOTA DE SUELOS ÁLICOS COLOMBIANOS INTERVENIDOS CON MÚLTIPLES SISTEMAS DE USO Y LABRANZA

Structural stability to drop impact of Colombian allic soils clearing with many land utilization types and tillage systems

Dora M. Arias<sup>1</sup>, E. E. Madero<sup>2</sup>, E. Amézquita<sup>3</sup>

*Palabras claves:* Estabilidad estructural, Impacto de la gota, Suelos álicos, uso de leguminosas y gramíneas.

## RESUMEN

Muestras de suelo superficial (0-2.5 y 2.5-5 cm) de siete localidades (dos de la Orinoquia mal drenada, dos de la Orinoquia bien drenada, una de la Amazonia y dos de la Zona Andina, una de ellas en una ladera volcánica y la otra en el cuerpo de un valle) se tomaron en terrenos de sabana o bosque intervenidos con múltiples sistemas de uso y manejo de leguminosas y gramíneas y la intensificación gradual de la labranza llevados a cabo por CIAT y Corpoica. Luego de analizar su contenido de óxidos de Fe, Al, Si, materia orgánica y textura, se sometieron al impacto de una lluvia simulada de 100 mm/h en un lapso de 10 minutos, secas al aire. Los datos obtenidos se estudiaron bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones y además se consideró correlaciones múltiples entre propiedades y características. Los suelos álicos presentaron en general bajo erosionabilidad y los 5 cm superficiales fueron muy homogéneos en este aspecto. En general para poder estabilizar la estructura al impacto de la gota estos sistemas de uso propuesto parecen requerir de un mayor tiempo de colonización y/o adaptación; sin embargo, el efecto cementante de humus sólo alcanzó los frutos deseados cuando el suelo tenía concentraciones de uno o más de los óxidos mencionados y de arcilla equivalentes o superiores a las de sus correspondiente testigo natural.

El vertisol de la Zona Andina se estabilizó significativamente con una rotación de maíz-crotalaria, a pesar de que un tratamiento con leucaena permitió un nivel de humus de 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> pero no logró fortalecer la estructura como se esperaba. Se puede afirmar que la metodología es confiable dado el grado de congruencia entre las características de conductividad hidráulica y la cantidad de suelo perdido.

## ABSTRACT

Surficial soil samples (0-2.5 and 2.5-5 cm) from 7 places (two from Orinoquia poor drained, two from Orinoquia well drained, one from Amazonia and two from Anean Region, one of them in a volcanic hill and the other in the corp of a valley) were taken in savanna and forest terrains clearing with multiple leguminous -gramineous and tillage, systems carried out by CIAT and Corpoica. After analysed their content of Fe, Al and Si oxides, organic matter and texture, they were air dry and put under a simulated rain of 100 mm/h for 10 minutes. Data were studied in two ways: like a completely randomized block design with 4 repetitions and with multiple correlations between soil properties and characteristics. Allic soils generally showed low erodibility and their first 5 cm from the soil surface were homogeneous in this respect. Most of utilization systems proposed seem required either more colonization time or adaptation for structural stability to rain impact; humus cementing effect could only work well when soil had concentrations of oxides mention above and clay content equivalent or superior to correspondent natural control system. Vertisol from Andean Region could significantly stabilized its structure with a maize-crotalaria rotation, in spite of Leucaena treatment that allowed a 9,5% of humus but could not strengthen soil structure as it was expected.

Methodology utilized is reliable because hydraulic conductivity characteristics were very congruent with the quantity of soil loss.

*Key words:* Structural stability, drop impact, Allic soils, Use of leguminous and gramineous.

1. Estudiante de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

2. Profesor Asociado U. N. de Colombia, Sede Palmira. AA 237.

3. Físico de suelos. CIAT, Cali, Colombia. A.A. 6713.

## INTRODUCCIÓN

Desde que se relacionó claramente la energía con que la lluvia golpea la superficie del suelo con su efecto destructivo de los agregados, las medidas y cálculos de esta energía cobraron importancia. Tanto la masa de la gota como su velocidad de impacto determinan la energía cinética y la última depende de la primera. Por lo tanto la distribución del tamaño de las gotas de una tormenta o de una lluvia simulada tiene una importancia múltiple. En este último caso, la distribución del tamaño de gotas debería de aproximarse al tamaño natural. Esto casi se logra con el simulador de agujas con base de suelo rotativa, desarrollada por Pla (1983) y adaptado y mejorado por Castillo (1994) y Arias (1998). Esta energía cinética de la lluvia antes de que ocurra escorrentía es importante para el enconstramiento, ya que una vez que la superficie se cubra con una película de agua, el efecto de impacto de la gota se reduce.

Obviamente que el efecto destructivo de las gotas disminuye con los diferentes tipos de cobertura del suelo, en particular con la cobertura vegetal y con los mulches (Amézquita, 1996). Las consecuencias de esto se dejan ver con la preservación de altas tasas de infiltración, disminución de las pérdidas de suelos por erosión y las consecuencias biológicas relativas a la productividad agrícola.

Con base en lo anterior se propuso estos objetivos:

- Evaluar la estabilidad física al impacto de gotas de lluvia simulada de varios suelos álicos (>2 cmol Al/kg.) del trópico colombiano sometidos a diferentes usos y manejos.
- Seleccionar pautas de uso y manejo que garanticen un máximo de receptibilidad de agua y un mínimo de pérdida de suelo.
- Correlacionar la pérdida de suelo con el índice de inestabilidad y el índice de erodabilidad obtenidos previamente.
- Postular niveles críticos para tres características de medida con el simulador utilizado:
  - Diferencia de tiempo para conductividad hidráulica máxima y conductividad mínima.
  - Diferencia entre conductividad hidráulica máxima y conductividad hidráulica mínima.
  - Suelo perdido.

## METODOLOGÍA

### Simulación de lluvia

La destrucción de la estructura del suelo frente al impacto de la gota de agua se manifiesta fundamentalmente en la disminución del movimiento de fluidos del suelo. El método propuesto mide la caída en conductividad hidráulica a medida que transcurre el tiempo de acción del impacto de la lluvia. Para el estudio se acogió la metodología propuesta por Pla (1983), y modificado y adaptado por Castillo (1999) y Arias (1998), la cual consiste básicamente en determinar la disminución de la conductividad hidráulica en función de tiempo de impacto de gotas de agua producidas por un montaje especial que describe a continuación:

Las muestras secas al aire se llevaron a un cilindro de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura.

Los materiales utilizados para el montaje se componían de una Fuente de producción de gotas. Utilizando tres agujas hipodérmicas No. 21, que producían gotas de 3 mm de diámetro formando un triángulo escaleno. El juego de agujas se colocó a una altura de 2 m por encima del suelo; Plato rotatorio. Compuesto por un conjunto de gradilla, probeta, y soporte con embudo y tamiz colocado en forma fija y accionado por un motor eléctrico que permitiría una velocidad de 3 vueltas por minuto; un Tamiz de 300 mallas, con una pantalla de vidrio para contener el salpique. El tamiz va colocado sobre un embudo fijo que lleva el agua percolada a probetas de 50 cm<sup>3</sup> colocados en una gradilla, todo ello a su vez fijo sobre el plato rotatorio y un Reloj.

Las agujas se calibraron mediante un aforo para lograr la intensidad de precipitación artificial de 100 mm/h.

### Análisis de laboratorio

1. Distribución de partículas por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1927); distribución de arenas por medio de tamizado (Motta, et al., 1990); contenido de materia orgánica según la metodología de combustión húmeda (Walkley and Black 1934); sesquióxidos de Fe, Al y Si, según la metodología de ditionito citrato (Ross G. J. and Wang C. 1993) y análisis de rutina para pH, aluminio y fósforo con las metodologías utilizadas en el laboratorio del CIAT.

## Estadística

Para la interpretación de datos se tomo como herramienta el análisis de varianza con un diseño completamente aleatorizado, buscando diferencias entre tratamientos y entre suelo de cada una de las propiedades evaluadas, y correlaciones múltiples entre las propiedades.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fertilidad

Tanto los suelos de Amazonia como los de Orinoquia y el de San Isidro presentaron reacción ácida y, concentraciones de aluminio entre 1 y 2.4 cmol/kg; asimismo fueron notables los bajos valores de fósforo (entre 2 - 17 ppm) y pH (4 - 5). CIAT presentó valores diametralmente opuestos, correspondientes a un suelo fértil del Valle del Cauca pero con excesos de fósforo.

### Estabilidad de los suelos al impacto de la gota

El análisis se basó en lo siguientes puntos: 1. El tiempo a conductividad máxima entre más pequeño sugiere suelos más estables, asimismo el tiempo a conductividad mínima entre más alto indica un suelo más estable físicamente, entonces la diferencia de tiempo entre estos dos valores entre mayor mejor. 2. En cuanto a las conductividades máximas y mínimas, valores más altos deben de concordar con mayor resistencia al impacto y menor cantidad de suelo erodado, por consiguiente la diferencia entre estas dos, entre más pequeña sea mejor. 3. Si la tendencia de las anteriores características sugiere suelos estables, la cantidad de suelo perdido por erosión deberá ser baja.

### Comparación entre localidades

La comparación entre localidades (tabla 1) mostró a 2 profundidades (0-2.5 y 2.5-5 cm) congruencia entre buenas propiedades de conductividad y poca cantidad de suelo perdido frente al testigo CIAT. Estos suelos se caracterizan por altos contenidos relativos de materia orgánica y/o de sexquióxidos. En Matazul - ensayo de labranza de 0-2.5 cm., Carimagua de 0-5 cm, San Isidro de 0-5 cm y CIAT de 0-5 cm la diferencia entre conductividades máxima y mínima fue un buen predictor de la pérdida de suelo y en Macagual y la Primavera (0-2.5 cm) lo fue la diferencia de tiempo entre conductividades máxima y mínima.

La Primavera fue el único suelo que sobresalió por altas pérdidas de suelo entre 0-2.5 cm. En el caso de CIAT un vertisol fértil con alto contenido de materia orgánica fue un buen testigo dada su respuesta violenta al agua; presentó en general poca estabilidad al impacto de la gota y perdió bastante suelo, destacando que para uno de los tratamientos se obtuvieron del campo pedazos de suelo y no agregados. Como se verá en el mejoramiento de la estabilidad fue decisivo el uso de leguminosas.

### Comparación entre tratamientos de cada localidad

La efectividad tanto de la diferencia de tiempo como de la diferencia de conductividades para predecir el riesgo de pérdida de suelo fue así: en el 15% de los casos (todos los tratamientos a las dos profundidades evaluadas) la diferencia de tiempo entre conductividad máxima y mínima no fue indicativa de pérdida de suelo (cuatro de estos casos no presentaron estadística significativa entre tratamientos) la mitad de ellos subestimaron la pérdida de suelo y todos ocurrieron entre 2.5 y 5 cm, en el 21% de los casos la diferencia de conductividades no fue indicativa de pérdida de suelo, 25% de estos casos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para esta característica y para pérdida de suelo; la mitad de ellos se presentaron entre 0 y 2.5 cm y la misma cantidad subestimó la pérdida de suelo. En general no hubo diferencias significativas entre las dos profundidades.

### Efecto de tratamientos en la pérdida de suelo

En los terrenos ácidos los tratamientos con solo Brachiaria y el de rotación con arroz-brachiaria-centrosema-arachis de las localidades de Matazul y La Primavera (tabla 1), aunque produjeron frente a los testigos naturales contenidos de materia orgánica superiores al 5% esto no influyó todas las veces en la resistencia del suelo contra la erosión hídrica por la lluvia simulada, sin embargo, se observó que las raíces de brachiaria amarraban el suelo y lo protegían contra el aflojamiento en agua. Es decir, que en el mejor de los casos cuando la intervención del sistema natural aumentó las reservas de humus, no se logró consistentemente mantener la estabilidad del suelo. Otros tratamientos como la asociación de arroz-brachiaria-centrosema-arachis y solo arroz en Matazul o la rotación de maíz-brachiaria en la Primavera, corrieron con

Tabla 1. Promedios de tres características de erosión por impacto de lluvia simulada ( $\Delta t$ : Diferencia de tiempo para conductividad hidráulica máxima y conductividad hidráulica mínima, min;  $\Delta k$ : Diferencia entre conductividad hidráulica máxima y conductividad hidráulica mínima, mm/hr; sp: suelo perdido g) para muestras de suelo superficial (0-2.5 cm) procedentes de la Orinoquía, Zona Andina y Amazonia Colombianas.

Tratamiento	Sabana	6 pases	12 pases	24 pases	Brachiaria Trad.-Renov	Asociación Arroz-brach Centro-arach	Rotación Arroz-brach Centro-arach	Arroz	Rotación Maíz Brachiaría	Rotación Arroz Cocupi	Rotación Arroz Soya
Localidad											
Matazul-Labranza	$\Delta t$	15a	15 <sup>a</sup>	15a	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta k$	12.73b	23.50 <sup>a</sup>	6.25c	-	-	-	-	-	-	-
	Sp	0.08a	0.16 <sup>a</sup>	0.11a	-	-	-	-	-	-	-
Matazul-Rotaciones	$\Delta t$	15a	-	-	20a	15a	-	15a	-	-	-
	$\Delta k$	12.70a	-	-	14.49a	18.33a	-	12.92a	-	-	-
	Sp	0.09c	-	-	0.09a	0.45a	-	0.37b	-	-	-
La Primavera	$\Delta t$	15a	-	-	15a 10 <sup>a</sup>	-	10a	-	10a	-	-
	$\Delta k$	5.89b	-	-	11.94a 8.5b	-	6.11b	-	3.98c	-	-
	Sp	0.06c	-	-	0.11c 0.5b	-	0.93b	-	1.69a	-	-
Carimagua	$\Delta t$	15a	-	-	-	-	-	5a	-	10a	10a
	$\Delta k$	11.03a	-	-	-	-	-	5.21c	-	7.27b	6.35c
	Sp	0.10c	-	-	-	-	-	0.15b	-	0.12b	0.17a
San Isidro	Bosque	Leucaena	Mulch	Desnudo	Frijol	Maíz	Yuca	Asociac. Maíz-arachis	Asociac. Yuca-arachis	Rotación Maíz-Frijol	
	$\Delta t$	15a	5c	15a	10b	10b	15a	10b	10b	15a	
	$\Delta k$	16.51c	17.59b	12.49d	9.59f	9.72f	10.78e	9.05g	19.05a	16.05c	
Macagual	Potrero	Rastrojo	Plátano	Plátano	Plátano	CIAT	Leucaena	Arroz	Rotación Maíz - crotalaria		
	$\Delta t$	15a	15 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	$\Delta t$	20a	20a	10b		
	$\Delta k$	20.02a	10.20a	26-59 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	$\Delta k$	30-23b	50-26a	3.66c		
Sp	0.07c	0.14b	0.21 <sup>a</sup>		Sp	0-70b	1-80a	0.19c			

Promedios en una fila seguidos con la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05).

Tabla 2. Promedios de cuatro propiedades ( $Fe_2O_3$  ppm,  $Al_2O_3$  ppm,  $Si_2O_3$  ppm y materia orgánica % MO) para muestras de suelo superficial (0-2.5 cm) procedentes de la Orinoquía, Zona Andina y Amazonia Colombiana.

Tratamiento	Sabana	6 pases	12 pases	24 pases	Brachiaria Trad.-Renov	Asociación Arroz-brach	Rotación Arroz-brach	Arroz	Rotación Maíz Brachiararia	Rotación Arroz Cocupi	Rotación Arroz Soya
Localidad											
Matazul-Labranza	51682a 15992a 946a 3.87a	54227a 16011a 968 <sup>a</sup> 3.40ba	52225a 15474a 805a 3.0b	58567a 16933a 850a 3.47ba	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
Matazul-Rotaciones	56863b 18797b 1276a 4.27bc	- - - -	- - - -	- - - -	73539a 24765a 872b 4.97ba	66110ba 19745b 798b 5.13 <sup>a</sup>	- - - -	68853ba 19889b 939b 4.07c	- - - -	- - - -	- - - -
La Primavera	97736a 32839a 1221a 4.83ba	- - - -	- - - -	- - - -	86344b 87848b 29142b 30642ba	- - - -	77439c 25241c 794b 4.70ba	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
Carimagua	77279a 30023a 1143a 4.03a	- - - -	- - - -	- - - -	749b 898b 4.7ba 5.47 <sup>a</sup>	- - - -	- - - -	79515a 31387a 868a 3.83a	- - - -	76650a 31277a 801a 4.03a	77379a 32124a 857a 4.13a
San Isidro	Bosque	Asociac. Yuca-Rachis	Mulch								
>Σ	79604b	103924a	70331b								
<Σ	30072b	33160b	63845a								
	2793b	2379b	10747a								
	2.67a	1.43b	1.37b								
Macagual	Potrero	Rastrojo	Plátano	CIAT	Leucaena	Arroz	Rotación Maíz - crotalaria				
$Fe_2O_3$ (ppm)	50446b	77051a	50738b	$Fe_2O_3$ (ppm)	6608b	10243a	7850b				
$Al_2O_3$ (ppm)	12559b	17648a	12175b	$Al_2O_3$ (ppm)	2583a	2567a	2727 <sup>a</sup>				
$Si_2O_3$ (ppm)	2340b	3554a	3000ba	$Si_2O_3$ (ppm)	12033a	14255a	13803 <sup>a</sup>				
Mo(%)	4.07a	2.87a	3.83 <sup>a</sup>	Mo(%)	9.13a	5.33b	5.13b				

Promedios en una fila seguidos por la misma letra (s) no son significativamente diferentes (P<0.05).

igual suerte, con la atenuante de que no mejoraron significativamente el contenido de materia orgánica, aunque si lo mantuvieron en un nivel alto como el del sistema nativo.

La explicación puede hallarse en dos hechos: Primero, la mayoría de los anteriores tratamientos coincidieron con una concentraciones en el suelo de uno o mas de los óxidos mencionados y de arcilla<sup>4</sup>, inferiores a las reportadas para los testigos naturales; excepciones a este hecho se dieron en las unidades con brachiaria tradicional en Matazul y la Primavera, y en tres unidades manejadas con arroz en Carismagua y, coincidentalmente, la pérdida de suelo en esas muestras fue mínima. Esto significa que el efecto cementante de la materia orgánica humificada interactúa en relación directa con los óxidos de Fe, Al y Si. Segundo, Quirk (1994) ofrece una definición acerca de la estabilización del suelo que ayuda a entender que los efectos físicos positivos del humus en los suelos depende de su acomodamiento en la matriz de la estructura y esto puede tardar décadas: "Es la estrategia de colocar el material más apropiado en el lugar más eficaz dentro de la estructura del suelo o el espacio poroso para lograr la resistencia deseada de la forma más económica posible para propósitos agrícolas e ingenieriles" a pesar de que uno de los otros dos tratamientos elevó su contenido de humus a 9% (tablas 1 y 2).

El suelo en San Isidro tuvo una resistencia innata al impacto de la gota dadas sus altísimas reservas de cementantes oxidicos de Fe, Al y Si (tabla 2) y por esta razón, las diferencias entre los tratamientos fueron imperceptibles estadísticamente; las muestras se resistían a romper una vez alcanzaban los 4 mm. En Macagual los suelos con potrero y rastrojo tuvieron porcentajes de materia orgánica de 4 y 2.9% respectivamente, y esto fue suficiente para atenuar la pérdida de suelo por erosión; con plátano la resistencia del suelo disminuyó y el agua percolante se enturbió de este terreno no se tienen datos del suelo en bosque o sabana; este efecto humificante del uso de leguminosas se hizo patente inclusive en el suelo del CIAT, no obstante en dos de tres tratamientos el agua percolante mostró signos evidentes de dispersión.

En el suelo de Matazul - labranza (Tabla 2) con valores de materia orgánica entre 3 y 3.9%, el incremento

4. No se presentan los resultados de textura en este artículo.

de pases no venció su resistencia a la erosión, pero esta podría ser una conclusión errónea si se tiene en cuenta que una de las características iniciales de los agregados en los tratamientos con pases de rastra fue su tamaño menor de 1 mm frente al de la sabana con 6 mm; sin embargo, en las tres unidades experimentales donde se intensificó la labranza, el suelo superficial presentó iguales contenidos de óxidos de Fe, Al y Si y esto haría sospechar una alta resistencia inicial a los esfuerzos mecánicos.

## CONCLUSIONES

Con altos contenidos de sesquióxidos y materia orgánica estos suelos álicos presentaron en general una baja erosionabilidad frente al testigo. Los cinco centímetros superficiales fueron muy homogéneos en este aspecto.

La intervención del sistema natural con alternativas que consideraron múltiples formas de uso y manejo de leguminosas y gramíneas y la intensificación gradual de la labranza, lograron mantener el nivel de materia orgánica, pero la estabilización de la estructura al impacto de la gota parece requerir de un mayor tiempo de colonización y/o adaptación de estos sistemas.

Bien sea que el sistema de manejo lleve las reservas de humus a cinco por ciento o no, se halló que el efecto estabilizador de este coloide alcanzó un nivel deseado cuando el suelo tenía un estado de concentración de cualesquiera de los óxidos de Fe, Al y Si equivalente o superior al de su correspondiente testigo indisturbado.

Los daños a la microestructura del vertisol de CIAT-Palmira solo se pudieron superar con la rotación de maíz-crotalaria, a pesar de que el uso de leucaena le proporcionó un nivel de humus de 9%.

Las características de conductividad hidráulica que proporciona este método tuvieron congruencia con la cantidad de suelo perdido al final de la prueba.

Se proponen los siguientes niveles de referencia:

- Diferencia de tiempo para conductividad máxima y mínima de 15 minutos.
- Diferencia entre conductividad máxima y mínima de 20 mm/h.
- Suelo perdido 0.5 g.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- E. AMÉZQUITA; E. MADERO y L.A. RESTREPO. 1993. Incorporación de rastrojo y reducción de labores en el cultivo de la cebada. Acta Agron. Univ. Nal. de Colombia. Palmira. 43:95-103.
- J. CASTILLO. 1994. Determinación del índice de erodabilidad (K) en dos suelos del departamento del Cauca, Colombia. Tesis M.Sc. Univ. Nac. De Colombia. Palmira. 206 p.
- J.O. LAWS. 1941. Measurements of the fall - velocity of water drops and raindrops. Trans. Am. Geophysics Union. 22:709-721.
- M.L. NAVAS. 1996. Resistencia de agregados e impacto de gotas de chuva simulada y estabilidad de agregados de un latossolo vermelho - escuro sobrotacao adubo verde - milho.
- J. PLA. 1983. Metodologías para la caracterización con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Rev. Fac. Agron. Maracay, Venezuela. 32: 43-49.
- B.E. RUEDA. 1986. Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodabilidad del suelo y estabilidad de agregados al agua. Anales Edafol. Y Agrobiol. 43: 1115-1126.
- P.P. SHARMA; S.C. GUPTA and W.J. RAVELS. 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:301-307.

Reprinted with permission from Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Originally published in Suelos Ecuatoriales 31(2): 226-232, Copyright 2001.