

100354

SUSCEPTIBILIDAD AL ENCOSTRAMIENTO EN ALGUNOS SUELOS ÁLICOS COLOMBIANOS

Crusting susceptibility in some allíc Colombian soils

Dora M. Arias¹, E. E. Madero², E. Amézquita³

RESUMEN

Se utilizaron varios métodos de laboratorio: Estabilidad de agregados en seco y en agua, Índice de inestabilidad (% arcilla + % limo / % agregados > 0.2 mm después de realizar la prueba de Yoder) e Índice de erodabilidad $(2.1 \cdot 10^{-1} (12 - MO)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5 (p - 3) / 100)$, y se relacionó estos resultados con características del suelo como textura, óxidos de Fe y Al y con el porcentaje de materia orgánica. Las muestras recolectadas de 0-2.5 y 2.5-5 cm en la superficie de suelo, provienen de terrenos con varios sistemas intervención del bosque y sabana nativos. Los resultados se analizaron bajo un diseño completamente al azar. Se halló que cambios significativos en los contenidos de óxidos pueden aumentar la susceptibilidad al encostramiento a menos que el suelo posea concentraciones de humus mayores de 4%. En este sentido, los pastos o su rotación con arroz y leguminosas ofrecieron la mejor alternativa para intervenir el sistema natural. Labranza intensiva y/o monocultivos con poca o ninguna incorporación de rastrojo aumentaron la inestabilidad física superficial del suelo. Las pruebas de estabilidad estructural en seco y el índice de inestabilidad se constituyeron en los más adecuados para estos suelos entre las evaluadas.

MO: Porcentaje de materia orgánica

M: Porcentaje de partículas entre .002-1 mm

S: Clase de estructura P: permeabilidad

Palabras claves: Encostramiento del suelo, índice de inestabilidad, suelos álicos.

ABSTRACT

Many lab methods were used: Dry and water soil aggregates stability, instability index and erosion index and their results were related with soil characteristics like texture, Fe and Al oxides and organic matter. Soil samples collected within 0-2.5 and 2.5-5 cm of the soil surface came from terrains with many kinds of both forest and savanna intervened systems. Those results were analyzed like a completely randomized designed. It was found that significative changes in oxides content could increase soil crusting susceptibility unless soil humus was up to was up to 4%.

In this sense, pastures or its rotation with rice and leguminous offer a the best alternative for intervening these natural systems. Intensive land husbandry or monocultures with low stubble soil incorporation caused an increase in physical instability at the top of soil. Dry soil stability test and instability index were most adecuated for these soils.

Key words: soil crusting, instability index, allíc soils.

1. Estudiante de Ingeniería Agronomica, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
2. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
3. Físico de suelos. CIAT, Cali, Colombia. A.A. 6713.

INTRODUCCIÓN

La degradación de la estructura superficial se refleja en una pérdida de coherencia y un aumento del aflojamiento de la agregación ante los esfuerzos mecánicos (labranza, lluvia, pisoteo, etc.) y las fuerzas estructurales del agua en el proceso de mojado del suelo. En los suelos encostrados los elementos gruesos (partícu-

las de arena y limo y agregados no compuestos de 2 mm) desfavorecen la agregación y promueven la escorrentía (Wischmeier, W.H. and Smith, 1978). En cuanto a las partículas minerales más finas ($<2\mu$), si es caolinítica, el daño superficial frente a los agentes externos puede ser menos serio, aunque pequeñas cantidades de smectita y/o minerales micáceos, podrían incrementar drásticamente la tendencia al sellamiento (Miller, 1987).

De otra parte, se conoce a ciencia cierta que la materia orgánica es uno de los más importantes agentes estabilizantes de los agregados en el suelo, sin embargo, su efecto positivo estabilizador es más pronunciado en suelos arenosos (Van der Watt, H.v.H. and A.S. Claassens, 1990). Así mismo, la presencia de óxidos de Fe y Al se puede mirar como positiva para la agregación (Obi et al., 1989), de tal forma que un incremento en el grado de meteorización disminuirá la relación sílice/sesquióxido y la susceptibilidad al encostramiento. Por último, es bien conocido que el sodio intercambiable y una baja concentración de sales favorecen la dispersión en suelos neutros y fértiles (Shainberg, 1985). Con base en estas lecciones, se justificó la realización de esta investigación en suelos álicos (>2 cmol Al/kg.) del trópico húmedo y subhúmedo colombiano, bajo diferentes coberturas y manejos.

OBJETIVOS

Evaluar la estabilidad estructural en seco y en agua frente a la relación textura-estructura o índice de inestabilidad de Middleton, para suelos álicos tropicales intervenidos agrícola o pecuariamente.

Relacionar estas propiedades con factores como materia orgánica óxidos de e, Al y Si, textura y distribución de arenas.

Establecer niveles críticos de materia orgánica y valorar la efectividad de cada uno de los parámetros de estabilidad estructural.

METODOLOGÍA

Determinaciones de laboratorio

Se hicieron dos pruebas en el laboratorio: distribución de tamaño de agregados por el método de tamizado en seco (Carter, 1993) y estabilidad estructural por el método del tamizado en húmedo (Yoder, 1936), eva-

luando los tamaños de 6.3 mm con un juego de tamices de 6.3 mm, 4 mm, 2mm y 0.125 mm.

Diámetro medio ponderado en seco y en agua

Klute (1986) cita a Van Bavel ((1949) lo define como un índice de agregación del suelo, siendo este la suma de productos del diámetro medio de cada fracción de tamaño por la proporción del peso total de la muestra; valores bajos señalan deterioro en la estabilidad estructural. Es usado para comparar suelos y dentro de ellos. (Pla, 1983).

Diámetro medio geométrico en seco

Baver (1973) cita a Mazurak (1950) para definirlo como indicador de la distribución del tamaño de los agregados y como índice de agregación del suelo. El DMG es el logaritmo natural normal de los promedios de la cada uno de los tamaños de los agregados, este logaritmo normal proviene de describir la distribución actual de los agregados de los suelos bajo dos parámetros; la media geométrica y el logaritmo de la desviación estándar.

Indices de erodabilidad

Relación de arcilla

Según Bouyoucos (1935) se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\% \text{ arena} + \% \text{ limo}}{\% \text{ arcilla}}$$

Entre más alta se espera mayor susceptibilidad al sellamiento.

Índice de inestabilidad de Middleton

Según Combeau y Monnier (1961) se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla}}{\% \text{ agregados} > 0.2 \text{ mm después de realizar la prueba de Yoder} - (\% \text{ arena gruesa})}$$

Entre mas bajo menor la susceptibilidad al encostramiento.

Indice de erodabilidad

Aproximación algebraica del nomograma desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978:

$$\frac{2.1 * 10^{-1} (12 - MO)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5 (p - 3)}{100}$$

Donde MO es el porcentaje de materia orgánica, M (% entre 0.002-1 mm) * (% limo + % arena), s es la clase de estructura del suelo y p es la permeabilidad; el índice de erodabilidad es expresado en t.ha.h.ha⁻¹MJ⁻¹mm⁻¹. Los valores más bajos serán los más adecuados.

Análisis estadístico

Para la interpretación de datos se tomó como herramienta el análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado, buscando separación de medias por Duncan y correlaciones múltiples entre las propiedades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre localidades

Según los resultados (tabla 1) se lograron separar localidades en grupos así:

El primero conformado por Matazul - ensayo de rotación de asociaciones, La Primavera, Carimagua, San Isidro, presentando en común: diámetro medio ponderado (DMP en seco) y diámetro medio geométrico (DMG en seco) de 2.5-4.5 mm. y de 1.4-1.5 mm., un índice de inestabilidad con niveles bajos de 0.6 a 1.1 -unidades. Las localidades de Matazul - ensayo de rotación de asociaciones y La Primavera fueron las de mayor contenido de materia orgánica en este grupo (4.6 y 4.8%), y San Isidro y Carimagua las de mayor contenido de sesquióxidos (87.752 ppm Fe₂O₃, 46.958 ppm Al₂O₃ y 76442 ppm Fe₂O₃, 31174 ppm Al₂O₃). Todos presentaron relaciones de arcilla que oscilaron entre uno y dos.

El segundo grupo conformado por Matazul - ensayo de labranza, Macagual y CIAT, presentó diámetro medio ponderado y diámetro medio geométrico seco de 3.5-5.5 y de 1.2-2.0 mm respectivamente (tabla 1) y el índice de inestabilidad más alto que osciló entre 1.1 y 2.6 mm o entre 1.1 y 67.5 mm si se incluye al del

CIAT. Estos resultaron ser los suelos con más bajos contenidos de materia orgánica y óxidos, y con excepción de Matazul con relaciones de arcilla inferiores a uno.

Las distribuciones de agregados en seco y en agua también presentaron peculiaridades en ambos grupos. Para el primero tuvieron sin excepción una amplia distribución en seco en las dos profundidades (agregados compuestos, porcentualmente bien distribuidos en varios tamaños entre 0.125 y 6 mm), y en agua presentaron tendencia bien al predominio de diámetros grandes (>6.3 mm) o a la distribución gradual (San Isidro), excepto por Carimagua que en los tres tratamientos que intervinieron la sabana, hubo un predominio de agregados <0.125 mm para lo cual no se halló explicación en la materia orgánica o los contenidos de óxidos pues estos no cambiaron significativamente entre tratamientos.

Para el segundo grupo, en Matazul la distribución de agregados en seco fue gradual y en CIAT y Macagual con una excepción de 0-2.5 (maíz-crotalaria CIAT) predominaron los agregados mayores de 6 mm; pero en agua predominaron los agregados menores de 0.125 mm excepto de sabana natural, bosque o potrero.

La comparación de estas dos características permite deducir que la distribución de tamaño de agregados en seco fue mejor indicador que la distribución de tamaño de agregados estables al agua por tres razones: 1. Los diámetros dominantes no obtuvieron porcentajes tan altos; 2. Ningún suelo presentó dominancia de diámetros menores de 0.125 mm y, 3. en sus relaciones con los agentes cementantes no hubo excepciones.

Fue evidente que existió una alta correlación positiva entre distribución de tamaño de agregados en seco, el diámetro medio ponderado en seco, diámetro medio geométrico en seco, diámetro medio ponderado en agua y la distribución de tamaño de agregados estables al agua.

El D-50 de la distribución de tamaño de agregados en seco y en agua presentó valores erráticos y no se considera un buen indicador de la estabilidad estructural que aporta nueva información de los suelos frente a los demás.

La relación de arcilla tuvo los valores más altos y el índice de erodabilidad los más bajos en los suelos

Susceptibilidad al encostramiento en algunos suelos álicos colombianos

Tabla 1. Comparación entre localidades de las modas de algunas características estructurales (*Unidades de índice de erodabilidad t.ha.ha.⁻¹MJ⁻¹mm⁻¹).

Localidad	Profund.	Matazul- Ensayo de labranza	Matazul- Ensayo de rotaciones	La Primavera- Ensayo de rotación de asociaciones	Carimagua- Culticore	San Isidro	CIAT	Macagual
DMP, de distribución de agregados en seco	0-2.5	3.25	3.62	3.85	2.59	3.38	4.39	5.70
	2.5-5	3.51	4.22	4.05	3.78	3.67	4.91	5.36
D-50, de distribución de agregados en seco	0-2.5	2.38	2.72	3.11	1.22	1.21	1.58	5.29
	2.5-5	2.47	3.57	3.44	2.82	2.83	2.32	5.08
DMG, de distribución de agregados en seco	0-2.5	1.20	1.45	1.46	1.20	1.40	1.67	2.00
	2.5-5	1.30	1.55	1.50	1.47	1.44	1.78	1.90
DMP, de distribución de agregados estables al agua	0-2.5	3.99	5.56	5.38	3.80	2.62	0.71	3.41
	2.5-5	4.14	5.56	6.04	4.01	4.59	0.85	3.63
D-50, de distribución de agregados estables al agua	0-2.5	2.63	4.82	4.04	2.76	5.24	0.03	1.88
	2.5-5	2.74	5.17	5.16	2.75	3.21	0.04	2.78
Indice de inestabilidad	0-2.5	1.20	0.77	0.88	0.87	1.06	12.52	1.06
	2.5-5	2.61	0.90	0.69	0.68	0.69	67.53	1.41
Indice de erodabilidad	0-2.5	0.10	0.01	0.09	0.09	0.06	0.17	1.06
	2.5-5	0.10	0.09	0.08	0.09	0.10	0.17	0.18
Diferencia de tiempo entre conductividad máxima y mínima	0-2.5	10.00	17.50	12.50	10.00	10.00	15.00	15.00
	2.5-5	12.50	12.50	12.50	10.00	10.00	15.00	15.00
Diferencia entre conductividad máxima y mínima	0-2.5	14.88	15.52	7.96	8.12	13.85	26.96	18.40
	2.5-5	13.46	12.50	6.66	2.54	14.88	25.81	26.12
Suelo perdido	0-2.5	0.12	0.27	0.88	0.14	0.12	1.25	0.14
	2.5-5	0.16	0.41	0.05	0.26	0.14	1.41	0.14
mm								
%								
*								
min								
mm/h								
gramos								

con arcillas inactivas excepto por Macagual. En CIAT se hallaron valores opuestos a los anteriores, pero por lo demás las muestras no fueron sensibles a los tratamientos o a los cambios en materia orgánica, óxidos y textura.

Dentro de localidades

Para la mayoría de los tratamientos la estabilidad estructural se relacionó directamente con los contenidos de materia orgánica y óxidos e inversamente con el índice de inestabilidad, es decir, que debe existir un umbral crítico para estos coloides, por debajo del cual aumenta la incidencia del sellamiento superficial en estos suelos. Hubo tres excepciones: en el terreno de La Primavera donde los contenidos relativamente altos de materia orgánica (4.2-4.8%) amortizaron concentraciones más bajas de óxidos en el tratamiento de rotación (tabla 1), que hubieran podido debilitar su estructura física en los primeros 2.5 cm; en San Isidro con los más altos contenidos de óxidos pero escasa materia orgánica (1.3-2.6%), elevadas concentraciones de óxidos de aluminio en el lote de maíz desmejoraron la estabilidad en seco y en agua y aumentaron el índice de inestabilidad y en el lote de asociación altas concentraciones de óxidos de Fe disminuyeron la estabilidad en agua quizás debido a cambios en la relación de arcilla; la tercera excepción se dio en Macagual con medios y altos contenidos de materia orgánica (2.8-4.4%) pero con más bajos contenidos de óxidos de aluminio, los incrementos de materia orgánica en la parcela con potrero mejoraron solo la estabilidad en agua y los incrementos de estos óxidos de Fe en la parcela de rastrojo mejoraron su estabilidad en seco a pesar de contener 2.87% de humus (tabla 1). El índice de inestabilidad no mostró cambios significativos aquí.

Tratamientos como *Brachiaria* pura y la asociación arroz-centrosema-arachis produjeron en Matazul incrementos significativos en el contenido de materia orgánica cercanos al 5% en los primeros cinco centímetros, esto influyó positivamente en el diámetro medio ponderado y diámetro medio geométrico en seco, en la distribución de agregados estables al agua y en el índice de inestabilidad; el uso de potrero en Macagual incrementó a 4 y 4.4 el contenido de materia orgánica y logró el mismo resultado anterior excepto con DMP en seco quizás porque este tipo de estabilidad requiere contenidos de materia orgánica más altos. Leucaena hizo lo propio en el terreno fértil de CIAT, llevando a

más de 5% la materia orgánica, pero mejorando únicamente la estabilidad en seco posiblemente debido al tipo de arcillas 2:1 que predominan allí y su reacción fuerte en agua.

Los efectos positivos de la materia orgánica sobre la estabilidad estructural se sintieron más en los suelos con mayores contenidos de arena y limos, siempre y cuando el contenido de humus fue superior a 4%; esto fue patente al comparar por ejemplo el experimento de rotación en La Primavera, que tiene la mayor relación de arcilla frente al de sabana (tabla 1). Con porcentajes cercanos a 1.5% y altas relaciones de arcilla, como fue el caso del suelo de San Isidro en maíz, la materia orgánica no pudo evitar la inestabilización del suelo como lo hizo en el tratamiento de asociación con una relación muy inferior (tabla 1) a la luz de los resultados de estabilidad en seco, índice de inestabilidad e índice de erosión. Obviamente el caso de La Primavera arrojó mejores resultados que San Isidro. En CIAT con suelo arcilloso, concentraciones superiores a 5% de este coloide no contrarrestaron la inestabilidad física como se esperaba.

En los suelos ácidos fue evidente que un alto número de pases de rastra y el monocultivo no beneficiaron significativamente la estabilidad física del suelo en la superficie ya que disminuyeron de 4 a 2 y 3 mm el diámetro medio ponderado en seco y de 1.5 a 1.9 y 1.2 mm el diámetro medio geométrico frente a sabana, tampoco la acumulación de humus pues bajó de 3.9% a 3.4% entre 0 y 2.5 cm; hubo excepciones como el cultivo de arroz en Matazul (0-2.5 cm) o en Carimagua (0-5 cm) quizás por el beneficio producido por los altos aportes de tamo al suelo al momento de la cosecha. En Carimagua donde se presentó la mayor homogeneidad en cuanto a las características permanentes del suelo superficial (sin diferencias significativas), cualquier intervención de la sabana nativa con arroz, disminuyó la estabilidad del suelo al agua.

Entonces podemos afirmar con Greenland (1977) que en estos terrenos un nivel crítico cercano o superior a 5% de materia orgánica es garantía de estabilidad; la intervención de estos terrenos debe basarse en un manejo biológico evitando el monocultivo y la labranza intensiva, prueba de ello fue la alta correlación positiva entre las características utilizadas. Para DMP, DMG, distribución de agregados e índice de inestabilidad, no se puede hablar de una sola de ellas en forma universal.

CONCLUSIONES

Los contenidos de óxidos de hierro, aluminio y materia orgánica son una buena herramienta de predicción de la estabilidad física de suelos álicos (>2 cmol Al/kg.). Cambios significativos en los contenidos de óxidos pueden aumentar la susceptibilidad al encostramiento a menos que el suelo posea concentraciones de humus mayores de 5%.

Los efectos positivos de la materia orgánica sobre la estabilidad estructural se sintieron más en las muestras con mayores concentraciones de arena y limo, siempre que está fuera mayor de 4%. En este tipo de suelos contenidos de materia orgánica cercanos a 1.5% permitieron mayor inestabilidad.

Dada la alta estabilidad de estos suelos al agua, la prueba de distribución de agregados en seco ofreció mayor información al respecto. Sin embargo el Índice de Inestabilidad correlacionó muy bien con la anterior prueba y se la puede dar la misma garantía con un

valor de 0.9 como nivel crítico. El Índice de erosión no fue sensible a los tratamientos o a los cambios de materia orgánica y óxidos.

Los óxidos de hierro resultaron mejores estabilizantes físicos que los de aluminio.

Los suelos álicos con mayores contenidos de óxidos o de materia orgánica tuvieron una amplia distribución de agregados en seco y diámetros más grandes en agua.

Brachiaria pura, rotación arroz-brachiaria-centrosoma-arachis, potreros y leucaena llevaron a un rango de 4-5% el contenido de materia orgánica de los suelos álicos, aumentando significativamente su resistencia al sellamiento, por lo tanto se puede postular este rango como umbral crítico.

Labranza intensiva y/o monocultivo con poca o ninguna incorporación de rastrojo no beneficiaron la condición física o la acumulación de humus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- L.D. BAVER; W.H. GARDINER and W.R. GARDNER. 1973. Física de Suelos. Uteha México. 530 p.
- G.J. BOUYOUCOS. 1935. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
- M. CARTER. 1993. Soil sampling and methods of analysis, Canadian society of soil science. Lewis publishers.
- A. KLUTE. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. In: Methods of soil analysis. Soil Sci. Soc. of Amer. No. 9 (Parti). Madison USA. pp. 635-660
- A. MAZURAK. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. Soil Sci., 69: 135-148.
- H.E. MIDDLETON. 1930. Properties of soils which influence soil erosion. USDA. Technical Bull. No. 178. 16 p.
- W.P. MILLER, 1987. Infiltration and soil loss of three gypsum amended ultisols under simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1314-1320.
- E. OBI; F.K. SALAKO and R. LAL. 1989. Relative susceptibility of some southeastern Nigeria soils to erosion. Catena 16: 215-225.
- I. PLA, 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Rew. Fac. Agron. Maracay, Venezuela. 32: 43-49.
- I. SHAINBERG, 1985. The effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation. Adv. Soil Sci. 1: 101-122.
- H.H. VAN DER WATT and A.S. CLAASSENS, 1990. Effect of surface treatments on soil crusting and infiltration. Soil Technology. 3: 241-251.
- W.H. WISCHMEIER and D.D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion. A guide to conservation planning. U.S.D.A. Agricultural Handbook. No. 282.
- R.E. YODER, 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agron. 28: 337-351.

Reprinted with permission from Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Originally published in Suelos Ecuatoriales 31(2): 220-225, Copyright 2001.