

Construcción de capas arables en suelos oxisoles de la Altillanura colombiana

Diego Luis Molina L., Edgar Amézquita C. y Phanor Hoyos G.

Unidad de Suelos del Centro Internacional de Agricultura tropical CIAT. A.A. 6713 Cali, Colombia.
dmlolina@telecom.com.co, e.amezquita@cqiar.org, fhagar16@telecom.com.co

INTRODUCCIÓN

Las sabanas de los Llanos orientales, también llamadas Orinoquía Colombiana, ocupan aproximadamente 17 millones de hectáreas. Dentro de esta región se encuentra la Altillanura plana, cuya extensión es de 3.4 millones de hectáreas (Cochrane y Sánchez, 1981), contenida en una franja de 60 km de ancho en promedio, que se extiende al sur del Río Meta desde la localidad de Puerto López (Departamento del Meta) hasta el límite con Venezuela (Cochrane *et al.*, 1985). La vegetación nativa comprende, en su mayor parte, gramíneas de escaso valor nutritivo (Álvarez y Lascano, 1987); con bajos niveles de productividad animal, ampliamente documentada tanto en trabajos en la estación experimental (Paladines y Leal, 1979) como en las fincas (Kleinheisterkamp y Häbich, 1985).

Sus suelos, especialmente los Oxisoles (Tropeptic Haplustox isohypertermic), tienen pH de 4.5 y baja disponibilidad ($\text{cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$) de Ca (0.2), Mg (0.08), K (Bray 2) (0.1) y P (Bray 2) (2 mg/kg) y una saturación de aluminio mayor de 80% (Sanz *et al.*, 1999); son muy susceptibles a la degradación y bajo condiciones naturales no ofrecen un medio óptimo para la producción de cultivos y pasturas (Amézquita, 1998).

La temperatura media de la zona es de 28°C, con una precipitación anual de 2200 mm y una evapotranspiración potencial de 1300 mm. La altitud de esta región es de 150 a 200 msnm (Cochrane y Sánchez, 1981). La época seca se extiende entre diciembre y marzo seguida de una época lluviosa de forma bimodal, con períodos secos de corta duración (entre 1 y 2 semanas) en julio o agosto (Sanz *et al.*, 1999). Los meses de abril y noviembre marcan los puntos críticos de inicio y final de lluvias respectivamente (Hoyos *et al.*, 1999).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), conjuntamente con los Institutos Nacionales de investigación y extensión, ha venido desarrollando en los últimos 20 años tecnologías de sistemas agrícolas y pecuarios mejorados para este ambiente (Zeigler y Toledo, 1993; Sanz *et al.*, 1993). A la fecha, todas las alternativas productivas implementadas, basadas en pasturas, cultivos o sistemas agropastoriles, presentan excelentes rendimientos en los primeros años y luego, a pesar del mejoramiento químico del suelo, una drástica disminución de ellos en función del tiempo, todo lo cual se atribuye a procesos degradativos del suelo.

Oferta Ambiental de los suelos de sabana

Se ha enfatizado y aceptado a través del tiempo que los suelos Oxisoles, a pesar de ser muy ácidos e infértiles, poseen excelentes características físicas (Sánchez, 1976; Sánchez y Salinas, 1981). Sin embargo, trabajos recientes en la altillanura demuestran que estos suelos exigen un manejo adecuado porque tienen las siguientes limitaciones edafológicas (Amézquita, 1998):

Son muy superficiales, es decir, su horizonte A es de poco espesor.

Son susceptibles a la erosión.

Su estructura es débil.

Su materia orgánica es escasa.

Son propensos al 'sellamiento' superficial, es decir, su capa externa se endurece, se encostra y sella el interior.

Tienen baja capacidad de infiltración.

Son duros y su capacidad de aireación es baja.

No se dejan penetrar fácilmente por las raíces.

Su contenido de nutrientes es bajo.

Retienen poca agua aprovechable para las plantas.

Su fertilidad natural es muy baja.

Usos del suelo

Un estudio interinstitucional CIAT-CORPOICA-UNILLANOS realizado entre 1996-1999 evaluando el impacto de los usos de los suelos de la altillanura (entre 7 y 33 años) mostró que más del 70% de los nutrientes aplicados se concentraba en los primeros 5 cm. de profundidad. Estas respuestas tenían como característica común el uso intensivo de rastras, para preparar los suelos, que ocasionaron destrucción de macroagregados y pérdida de materia orgánica afectando la dinámica de agua, aire y nutrientes (Hoyos *et al.*, 1999).

Este estudio, junto con experimentos de largo plazo en fincas, permitió generar una serie de indicadores físicos, químicos y biológicos para iniciar una nueva fase de investigación que condujera a procesos constructivos de suelo.

El cuadro 1 muestra el impacto del uso de rastras vs. cincelos rígidos sobre los macroagregados y la materia orgánica del suelo en función de la textura (Hoyos *et al.*, 1999). Un 63% de la materia orgánica fue destruida por las rastras en el suelo de textura liviana lo que se reflejó en una pérdida significativa de macroagregados del suelo destruyendo su estructura. En el suelo de textura pesada el impacto negativo sobre los macroagregados y materia orgánica, sólo se presentó con el uso de rastras. El cincel mejoró el nivel de materia orgánica manteniendo el mismo nivel de macroagregados.

Nótese que en el suelo de textura liviana el impacto de las rastras en la destrucción de macroagregados mayores de 6 mm, que son los responsables del desarrollo radicular de los pastos, reduciéndolos de 29 % en suelo de sabana a 4 % con el uso de rastras y a 19 % con el uso de cincel rígido.

El uso continuo de rastras, además de ocasionar pérdida de materia orgánica y destruir los macroagregados del suelo, masificando su estructura, no permite la infiltración de agua en el suelo. Las infiltración acumulada en 2 horas para sabana sin disturbar, rastras y cincel rígido fueron de 46, 80 y 212 mm respectivamente (Hoyos, *et al.*, 1999). , los cuales corresponden a velocidades de infiltración de 2.3, 4 y 10.6 cm.h⁻¹ para sabana, rastras y cincel respectivamente.

Cuadro 1. Efecto del uso de rastra y cincel rígido en los macroagregados y materia orgánica (0 a 5 cm de profundidad)

Tamaño de agregado (mm de diámetro)	Sabana Nativa	Pasturas (Rastra)	Pasturas (Cincel)
	----- (%) -----		
Suelo liviano (F. arenoso)			
> 6 mm	29 a	4 b	19 ab
4 a 6 mm	9 a	3 c	5 bc
1 a 4 mm	23 a	17 c	17 b

Total	61 a	24 c	41 b
M.O (%)	2.7 a	1.1 c	1.6 bc
Suelo pesado (F. arcilloso)			
> 6 mm	38 a	33 a	39 b
4 a 6 mm	15 a	12 a	14 a
1 a 4 mm	31 a	29 a	29 b

Total	84 a	74 b	82 ab
M.O (%)	4.3 b	3.7 c	4.7 a

Así mismo, se identificaron los limitantes físicos y químicos para los suelos oxisoles de la Altillanura Colombiana bajo sabana nativa y se determinaron valores "meta" a alcanzar para los

diferentes parámetros de suelo estudiados (Amézquita, *et al.*, 2000), tal como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características químicas y físicas de los suelos de la altillanura plana según la textura y metas para corregir sus limitaciones en los primeros 20 cm de profundidad.

Variable	Textura del suelo			Meta (2 años)
	Arcillosa	Franco arcillosa	Franco arenosa	
Arena	21.00	37.00	65.00	
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1.28	1.46	1.61	1.2
M.O. (%)	4.58	2.98	1.14	>5
Infiltración (cm.h ⁻¹)	4.50	8.00	14.00	>15
Capacidad de campo (% en Volumen)	32	28	15	35
Punto marchites permanente (% en Volumen)	16	14	6	10
Agua disponible (%)	16	14	9	25
Conductividad hidráulica (cm.h ⁻¹)	1.0	1.4	9.0	10
Porosidad total (%)	51	45	40	50
P (mg.kg ⁻¹)	1.00	1.27	3.85	20
Ca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹)	0.29	0.11	0.20	1.5
Mg (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹)	0.09	0.07	0.07	0.6
K (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹)	0.09	0.06	0.04	0.15
Al (mg.kg ⁻¹)	2.69	2.31	0.91	1.0

El concepto de capa arable

Para superar los limitantes naturales de la sabana se propuso el concepto de la construcción y el mantenimiento de una capa arable. Se entiende por "capa arable" aquella capa superficial de suelo que el hombre puede modificar a través de su manejo para lograr un sistema de producción sostenible. Siendo esta producción deseable, es necesario iniciar un proceso de mejoramiento del suelo a través del tiempo, aplicando diferentes estrategias de manejo de acuerdo al sistema final de producción a implementar (Amézquita, 1998).

El objetivo de la construcción de la capa arable es transformar suelos de baja productividad, que son insostenibles, a suelos de alta productividad y sostenibilidad a través de prácticas de manejo del suelo y de los cultivos que permitan vencer las principales limitaciones químicas, físicas y biológicas en un determinado tiempo.

Pasos a seguir para desarrollar y mantener una capa arable productiva.

Se consideran 4 etapas: (Amézquita, *et al.*, 2003)

- 1) Hacer un diagnóstico para evaluar las limitaciones, químicas, físicas y biológicas del suelo.
- 2) Establecer las metas de mejoramiento del suelo, de acuerdo al sistema de producción a implementar ó uso final que se le va a dar al suelo y de acuerdo a la textura, profundidad del perfil y pendiente.
- 3) Seleccionar el germoplasma y planear las prácticas de manejo del suelo y de los cultivos que conduzcan al mejoramiento del suelo.
- 4) Una vez alcanzadas las metas de mejoramiento del suelo en términos físicos, químicos y biológicos (capa arable productiva) se deben implementar sistemas de siembra directa, con un uso mínimo de insumos químicos para mantener el balance y sostenibilidad del sistema.

En la práctica, para construir capas arables, se sugiere proceder de la siguiente manera (Amézquita, *et al.*, 2002):

Mejoramiento físico del suelo. Se emplea en estos suelos (Altillanura) la *labranza vertical* con cinceles rígidos, que logran un buen fraccionamiento del suelo hasta la profundidad deseada: 0-25 cm para los sistemas agropastoriles y 0-45 cm para los cultivos permanentes, mejorando el primer año de 0-30 cm y de 0-45 cm el segundo año, para mantener la estabilidad física del sistema.

El suelo se *afloja* con el cincel y este efecto (aflojamiento) mejora varias de sus propiedades: la infiltración de agua, la capacidad de aireación, la distribución de los elementos nutritivos, y la penetración de las raíces.

Mejoramiento químico del suelo. En el primer año, para el caso de cultivos anuales, se corrigen las limitaciones de acidez y saturación de bases con el uso de cal dolomita. Para alcanzar los niveles críticos de Ca y Mg así como lograr una buena distribución de ellos en el perfil, se utilizan fuentes más solubles (sulfatos). Para el caso de pasturas, se pueden aplicar cal dolomita y fosfatos de calcio de baja solubilidad. Las anteriores enmiendas se aplican al suelo antes de pasar los cinceles rígidos los cuales las incorporan al suelo en profundidad.

Mejoramiento biológico del suelo. Se siembran pastos, principalmente, que introducirán abundantes *raíces fibrosas* hasta la profundidad del suelo en que ocurren su preparación y su enmienda.

La mejora biológica se basa en materiales vegetales (gramíneas y leguminosas forrajeras) que han sido *genéticamente adaptados* a las condiciones de acidez y baja fertilidad de los suelos de la Altillanura, y que desarrollan un sistema radicular profundo y abundante. A medida que se va mejorando el suelo se utilizarán materiales de mayor calidad y rendimiento que aumenten el ciclaje de nutrientes e incrementen la biota del suelo.

Como iniciar el mejoramiento

Idealmente se debería iniciar con materiales de bajos requerimientos y alta producción de raíces para estabilizar la física del suelo post-labranza. En este sentido, la asociación arroz-pastos representa una buena alternativa en términos de costos de inversión. Esta asociación permite además una mejor distribución de nutrientes en forma espacial, por la distancia corta entre surcos, que garantizan en el futuro una mejor nutrición de los cultivos de mayor espaciamiento entre surcos como el maíz.

CONCLUSIONES

- La gran conclusión que se desprende de los trabajos de investigación desarrollados en la Altillanura Colombiana por el CIAT, en colaboración con otros centros de investigación, es que para lograr implementar sistemas de producción sostenibles sobre suelos oxisoles es necesario, además de adaptar especies vegetales a las condiciones del suelo, construir capas arables productivas, venciendo las limitaciones físicas, químicas y biológicas naturales de las sabanas.

REFERENCIAS

- Alvarez A.; Lascano C. E. 1987.** Valor nutritivo de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas Tropicales (CIAT) 9(3):9-17
- Amézquita E. 1998.** Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En: Romero, G.; Aristizábal, D.; Jaramillo, C. (eds). Encuentro Nacional de labranza de Conservación. Memorias. Villavicencio. Colombia. pp.145-174.
- Amézquita E.; Thomas R. J.; Molina D. L.; Rao I. M.; Sanz J. I.; Chávez L. F.; Galvis J. H.; Alvarez A. 2000.** Sostenibilidad del recurso tierra de la Orinoquía con relación a su uso actual y potencial. Estudios de procesos de degradación física de suelos y sistemas de manejo para controlarla. Informe final 1997-2000. Presentado a Instituto colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas-COLCIENCIAS, por Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, Palmira.

- Amézquita E.; Chávez L. F.; Bernal J. H. 2002.** Construcción de una "capa arable" en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto con la participación de COLCIENCIAS, CIAT y CORPOICA.
- Amézquita E.; Hoyos P.; Molina D. L. 2003.** Porqué construir capas arables en Suelos de la Altillanura Colombiana. (En prensa).
- Cochrane T. T.; Sánchez L. F. 1981.** Clima, paisaje y suelos de las sabanas tropicales de Suramérica. *Inverciencias* 6:239-243
- Cochrane T.T.; Sánchez; L. F.; Porras J. A.; De Azevedo L. G.; Garver C. L. 1985.** Land in Tropical América. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F., Brasil. CIAT, Cali, Colombia. V.1., 146p.
- Hoyos P.; Silva M.; Almanza E. F. 1999.** Impacto de diferentes usos y manejos del suelo en los cambios químicos, físicos y biológicos de la Altillanura bien drenada. 48 p.
- Kleinheisterkamp I.; Häbich G. 1985.** Colombia: Estudio biológico y técnico. h: Vera, R.R. y Seré, C. (eds.). *Sistemas de Producción Pecuaria Extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela.* Centro Internacional de agricultura tropical (CIAT), Cali, Colombia. pp. 213-278.
- Paladines O.; Leal J. A. 1979.** Manejo y productividad de las praderas en los Llanos Orientales de Colombia. En: Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). *Producción de Pastos en suelos Acidos de los Trópicos.* Centro Internacional de agricultura tropical (CIAT), Cali, Colombia. pp. 331-346.
- Sánchez P. A. 1976.** Properties and management of soils in the tropics. Wiley, New York. p. 96-103.
- Sánchez P. A.; Salinas J. C. 1981.** Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. *Adv. Agron.* 34: 280-406
- Sanz J. I.; Molina D. L.; Rivera M. 1993.** El arroz se asocia con pasturas en la altillanura colombiana. *Arroz en las Américas*, vol.14 N^o 1, junio 1993.
- Sanz J. I.; Zeigler R. S.; Sarkarung S.; Molina D. L.; Rivera, M. 1999.** Sistemas mejorados arroz-pasturas para sabana nativa y pasturas degradadas en suelos ácidos de América del Sur. h: Guimaraes, E.P., Sanz, J.I., Rao, I.M., Amézquita, M.C. y Amézquita, E. (Eds). *Sistemas Agropastoriles en Sabanas de América Latina.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuaria- EMBRAPA. publicación CIAT No 313. pp. 232-244
- Zeigler R. S.; Toledo J. M. 1993.** Sustainable agricultural production systems for the acid soil savannas of Latin America. In: *International Symposium on Agroecology and Conservation Issues in Temperate and Tropical Regions.* 26-29 September, Padova, Italia.