

SUSCEPTIBILIDAD A LA COMPACTACIÓN EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

E. Amézquita¹
L.F. Chávez¹
D.L. Molina¹
J.H. Galvis¹

RESUMEN

El estudio se desarrolló en la finca Matazul, municipio de Puerto Lopez, Meta, ubicada a 4°9'49"N, 72°38'23"O, con precipitación promedio anual de 2719 mm, evapotranspiración potencial de 1623 mm, humedad relativa 81%. el suelo se clasificó como Haplustox típico caolinitico Isohipertermico. Los diez tratamientos (T) fueron los siguientes: T1 (un pase de cincel), T2 (dos pases), T3 (tres pases) más rotación arroz/soya en estos tratamientos. incorporación temprana de material vegetal + dos pases de cincel en T4 (arroz + gramínea), T5 (arroz + gramínea + leguminosa). Incorporación tardía + dos pases de cincel en T7 (pastura arroz + gramínea), T8 (pastura arroz + gramínea + leguminosa), T9 (cultivo leguminosa), T10 (testigo savana nativa).

El área neta de cada tratamiento de 30 x 50 m. por parcela y cuatro repeticiones por cada tratamiento. La unidad de muestreo del suelo fue de 50x50x50 m en calicatas, donde se tomó muestras de suelo en el perfil a 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm, con anillos de 50x50 mm. Las determinaciones se realizaron para caracterizar densidad aparente, compactabilidad y porosidad residual a cada profundidad. El análisis estadístico se realizó por medio de un arreglo factorial, donde se obtuvo el ANDEVA y donde se presentó diferencias estadísticas significativas se procedió a realizar prueba de promedios para cada caso. Los resultados del presente documento son un proceso investigativo que se inició a partir de 1996 y los resultados corresponden a las caracterizaciones de 1999.

Los resultados mostraron que los valores para densidad aparente en los 10 centímetros iniciales, fueron menores (1,11 a 1,23 g/cc) en los tratamientos con labranza presentando diferencias estadísticas significativas con respecto a savana nativa (1,43 g/cc). El grado de compactabilidad a esta profundidad fue de 78 a 84,60 % en los tratamientos con labranza y presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a savana que obtuvo un valor de 95,60%. Los valores de porosidad residual a esta profundidad obtuvo valores cuatro veces mayores que el presentado por savana nativa (4,40%). En las profundidades restantes no se presentaron diferencias trascendentales entre los tratamientos.

En general se encontró que los oxisoles de la altillanura presentan altos valores de compactación y/o adensamiento, con los naturales problemas para el desarrollo de los cultivos. la metodología trabajada mostró que tiene buena sensibilidad a los cambios en el suelo por acción de la labranza vertical (cincel).

Palabras clave: compactabilidad, oxisol, densidad, porosidad.

SUMMARY

This investigation was carried out in the Matazul farm, in the municipality of Puerto Lopez (Meta), located to 4°9'49" N, 72°38'23" W, with a mean annual precipitation of 2719 mm, a potential evapotranspiration of 1623 mm, a relative humidity of 81%. The soil was classified as an Isohypertermic caolinitic typical Haplustox. The ten treatments (T) were the following: T1 (one chisel pass), T2 (two passes), T3 (three passes) more Rice/soybean rotation took place in these treatments. Early incorporation of vegetal matter and two passes of chisel in T4 (rice/gramineous), T5 (rice + gramineous + Leguminosae), T6 (leguminosae). Late incorporation and two passes of chisel in T7 (rice grass + gramineous), T8 (rice grass + gramineous + leguminosae), T9 (Leguminosae crop), T10 (native savanna control).

The area per each treatment was equal to 30x50 meters per plot and four replications per treatment. The unit of soil sampling was equal to 50x50x50 m in testing pit where soil samples were taken in soil profile 0-10, 20-30, 30-40 cm; with rings of 50x50 mm. Determinations were carried out to characterize apparent density, compactness and residual porosity to each deepness. The statistical analysis was done through a factorial arrangement where the ANDEVA

¹ Miembros del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, A.A. 6713, Cali.

was obtained and showed significant statistically differences. Later, the mean test was done to each case. The results of present document are an investigating process which began from 1996 and those results belong to 1999 characterizations.

Results showed that values to apparent density in initial 10 centimeters were lower (1,11 to 1,23 g/cc) in treatments with farm land showing statistically significant differences with respect to nature savanna (1,43 g/cc). The level of compactness was from 78 to 84.60% in treatments with farm land and it showed statistically significant differences with respect to savanna which obtained a value equal to 95,60%. The values of residual porosity to this deepness obtained were four times higher than those showed by nature savanna (4,40%). In remaining deepness, there were not important differences among treatments.

In general, it was found OXISOLES of high areas show high values of compactness in its natural state by fluctuating them among 93 and 97% which show a high level of crops. The methodology used showed that it has good sensibility to changes in soil due vertical farmland (chisel).

Key words: compactness, OXISOL, density, porosity.

INTRODUCCIÓN

Determinar el grado de compactación de un suelo, es muy importante, para poder definir su calidad en términos de su capacidad para producir cultivos. Es necesario entonces, utilizar parámetros que la caractericen y que den valores que puedan ser comparables entre diferentes tipos de suelo (Hakansson y Lipiec, 2000).

En general, se carece de metodologías predictivas que indiquen hasta qué punto, se puede dejar compactar o es necesario descompactar un suelo para que la producción agrícola no se vea afectada negativamente. La metodología para determinar la densidad aparente relativa (susceptibilidad a compactación o grado de compactación), propuesta por Hakansson (1990), cumple con esta necesidad.

El grado de compactación se define como el porcentaje de la relación entre la densidad aparente actual del suelo y la densidad aparente después de que una muestra volumétrica de suelo ha sido equilibrada a una succión de 7.5 a 10

KPa (capacidad de campo) y se ha sometido a una comprensión uniaxial de 200 KPa.

Este porcentaje expresa el máximo valor de la relación (lai/laf - densidad aparente inicial / densidad aparente final) que puede alcanzar un suelo y lo relaciona de acuerdo a Hakansson (1986) con un nivel crítico de 87%. Suelos con valores superiores a este nivel crítico son menos adecuados para el crecimiento de las raíces y para la productividad de cultivos. Valores cercanos a 100 indican que el suelo está compactado y que las probabilidades de éxito agrícola son bajas.

Esta metodología ha sido basada en el uso de muestras grandes de suelo, pero ha sido utilizada también con muestras pequeñas (da Silva *et al.*, 1997; Preciado, 1997). En este artículo, se presentan y discuten los resultados obtenidos en un Oxisol de los Llanos Orientales aplicando la anterior metodología a un ensayo de mejoramiento de suelos.

Las características físicas que más se ven afectadas por las acciones de uso y manejo de suelos, son aquellas relacionadas con los cambios en la estructura, los cuales afectan, por un lado, la capacidad del suelo para aceptar, transmitir, retener y ceder agua a los cultivos (Amézquita, 1998) y por otro lado, con la respuesta de los suelos y cultivos a la aplicación de enmiendas y fertilizantes; asimismo, se afecta negativamente la diversidad y actividad biológica (Lal, 1994; Ayarza y Spain, 1991).

La compactación del suelo en áreas planas de agricultura intensiva y la erosión del suelo en áreas de ladera, son los principales problemas de degradación que están ocurriendo en el país (Amézquita, 1994). Los procesos de pérdida de estructura, compactación y encostramiento superficial, están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza. Los suelos de sabana del trópico colombiano, principalmente los Oxisoles, son muy susceptibles a la degradación cuando se usan para la producción intensiva de cultivos. El manejo actual de estos suelos (a base de rastra) está conduciéndolos a degradación y a insostenibilidad; por lo tanto, hay que hacer un uso más racional de la labranza, para evitar su degradación.

La labranza bien concebida y practicada debe conducir al mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos, pero usada en exceso conduce a su deterioro

(Amézquita, 1994). El término degradación se refiere a la pérdida del potencial productivo del suelo, por deterioro de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, como consecuencia del uso de prácticas agrícolas inapropiadas a través del tiempo (Amézquita, 1994).

La compactación es una alteración de la estructura del suelo, que causa reorganización de sus partículas y de sus agregados y reduce los espacios existentes entre ellos. La reducción de la macroporosidad, causa reducción en la capacidad de infiltración del suelo, aumentando la escorrentía superficial y por ende el potencial de erosión. También reduce la circulación de aire dentro del suelo, afecta negativamente la actividad biológica, reduce la tasa de descomposición de los residuos orgánicos, dificulta la penetración y ramificación de las raíces de las plantas y afecta en general el desarrollo vegetativo de los cultivos (Chávez et al., 2000).

El manejo de suelos debe hacerse de tal forma que obedezca a los requerimientos de los cultivos dentro de una determinada condición climática y optimizar las relaciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Amézquita, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las determinaciones de susceptibilidad a compactación se realizaron en el ensayo de Perfil Cultural el cual se diseñó con el objetivo de desarrollar tecnologías de mejoramiento y sostenibilidad de suelos contando con los siguientes tratamientos: (i) labranza vertical (uso de cincel) a diferentes intensidades (1, 2 y 3 pases de cincel a las siguientes distancias entre patas de cincel, 0.60, 0.30 y 0.15 cm, obteniéndose por lo tanto, tres niveles de aflojamiento del suelo) para mejorar las condiciones físicas del suelo en un sistema de rotación de cultivos (arroz/soya); y (ii) sistemas agropastoriles, establecidos después de la preparación vertical del suelo con 2 pases de cincel y mediante incorporaciones temprana (preparación al final de la época lluviosa) y tardía (al inicio de la época lluviosa) de residuos procedentes de la rotación (arroz/gramíneas/leguminosa) útiles para mejorar el suelo porque estimulan el enraizamiento y mejoran el contenido de materia orgánica y la actividad biológica.

Ubicación: El experimento con cuatro replicaciones, se estableció en la Finca Matazul (4° 9'4.9"N, 72° 38'23"O), localizada en el municipio de Puerto López – Meta, en un suelo Haplustox Típico Caolinitico Isohipertérmico (Oxisol), ubicado a 260 msnm. La zona tiene dos épocas climáticas claramente diferenciadas: una época húmeda que va desde el comienzo de Marzo hasta Diciembre y una época seca desde Diciembre hasta la primera semana de Abril.

La temperatura promedio anual es de 26.2°C. La zona tiene una precipitación media anual de 2719 mm, una evapotranspiración potencial de 1623 mm y una humedad relativa de 81% (según datos de la Estación Meteorológica Santa Rosa, ubicada en el Piedemonte de los Llanos Orientales).

Este ensayo se inició en 1996, las determinaciones se hicieron en 1999.

Tratamientos:

Tratamiento	Cincel (Número de pases)	Rotación
T1	1	Rotación arroz (cv. Sabana 6) / soya (cv. Soyica Atillanura-2)
T2	2	
T3	3	
T4	2	Incorporación temprana: Pastura compuesta por arroz + gramínea [<i>Andropogon gayanus</i> (Ag)]
T5	2	Pastura compuesta por arroz + gramínea + leguminosas [<i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) y <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)]
T6	2	Cultivo de leguminosas [<i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) + <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)] solamente.
T7	2	Incorporación tardía: Pastura compuesta por arroz + gramínea [<i>Andropogon gayanus</i> (Ag)]
T8	2	Pastura compuesta por arroz + gramínea + leguminosas [<i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) y <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)]
T9	2	Cultivo de leguminosas [<i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) + <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)] solamente.
T10	0	Testigo: Sabana nativa, que sirve de testigo para estudiar los cambios que ocurren en las condiciones del suelo.

En cada tratamiento (4 replicaciones), se tomó como unidad de muestreo la parcela (30×50) y en cada una de ellas se hicieron muestras para determinación de propiedades físicas en diferentes épocas de incorporación del material verde (incorporación temprano e incorporación tardía), para esto se abrieron cajuelas de 50×50×50 y se tomaron muestras no-disturbadas en cilindros (50×50 mm) a cuatro niveles de profundidad; 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm en las cuatro aplicaciones.

Entre los parámetros evaluados se destacan: la densidad aparente (inicial y final) y susceptibilidad a la compactación (determinación de cambio de volumen del suelo después de aplicada una presión uniaxial confinada, realizada en el laboratorio).

Para determinar la susceptibilidad a la compactación, las muestras contenidas en los cilindros (no-disturbadas) fueron previamente saturadas y posteriormente sometidas a equilibrio a una succión de 75 cm (aproximación a capacidad de campo) en mesa de tensión (volumen inicial), posteriormente se llevaron a compresión uniaxial equivalente a 200 KPa en un Proctor y se midió la disminución de volumen (volumen final) de acuerdo a la metodología de Hakansson (1990).

La relación entre la densidad aparente inicial y la final permite determinar el porcentaje de "susceptibilidad a la compactación" o grado de compactación siendo ésta una propiedad mecánica muy importante para determinar la calidad del suelo para la agricultura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de densidad aparente inicial, densidad aparente final, susceptibilidad a compactación y porosidad residual se presentan en la Tabla 1.

Densidad aparente inicial: en comparación con la sabana nativa (suelo no intervenido) que presenta valores entre 1.43 y 1.53 ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en las profundidades estudiadas, los valores de densidad aparente inicial de los tratamientos fueron inferiores, indicando que se ha conseguido mejoramiento del suelo mediante la utilización de los tratamientos de mejoramiento del suelo.

Teniendo en cuenta que una buena densidad aparente para la producción de cultivos varía para suelos minerales entre 1.10 y 1.30 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, los valores obtenidos en la primera profundidad (0-10 cm) son adecuados para un buen desarrollo radicular, presentándose diferencia altamente significativa ($\text{LSD}_{0.05}$) entre los tratamientos y la sabana nativa, no habiendo diferencia estadística entre tratamientos; por lo tanto, es necesario realizar labranza vertical en estos suelos para lograr una buena condición física para la producción de cultivos.

El efecto de los tratamientos en la segunda profundidad (10-20 cm) fue menos notorio que en la primera (0-10 cm), aunque en todos los tratamientos se presentaron valores inferiores a los de sabana, no en todos se presentaron diferencias estadísticas significativas.

Los tratamientos T1 (1 pase de cincel) y T8 (gramínea + leguminosa) aparecen similares a los de sabana.

De acuerdo a esto, un pase de cincel parece no ser suficiente para mejorar la densidad aparente del suelo a esta profundidad, lo cual, es explicable porque en este caso la separación entre "patas" de cincel es de 60 cm no siendo por lo tanto, esta distancia suficiente para producir un buen aflojamiento del suelo a esta profundidad.

Tabla 1. Comparación estadística por profundidad entre tratamientos de algunas características físicas del suelo en el ensayo Perfil Cultural, Matazul - 1998.

Prof. (cm.)	Tratamientos	Densidad Aparente inicial (g/cm^3)	Densidad aparente final (g/cm^3) ^a	Grado de compactación (%)	Porosidad residual (%)	
0-10	1 pase cincel (T1)	1.19 b	1.43 a	83.26 b	16.73 a	
	2 pases cincel (T2)	1.23 b	1.48 a	82.86 b	17.13 a	
	3 pases cincel (T3)	1.22 b	1.47 a	83.60 b	16.40 a	
	Incorporación Temprana					
	Gramínea (T4)	1.16 b	1.40 a	82.86 b	17.13 a	
	Gram + legum (T5)	1.23 b	1.45 a	84.60 b	15.40 a	
	Leguminosa (T6)	1.12 b	1.41 a	79.40 b	20.60 a	
	Incorporación Tardía					
	Gramínea (T7)	1.11 b	1.41 a	78.73 b	21.26 a	
	Gram + legum (T8)	1.21 b	1.48 a	81.46 b	18.53 a	
	Leguminosa (T9)	1.12 b	1.42 a	78.86 b	21.13 a	
	Sabana nativa (T10)	1.43 a	1.49 a	95.60 a	4.40 b	
	LSD 0.05		0.13	0.08	6.68	6.68

10-20	1 pase cincel (T1)	1.41 abc	1.54 a	91.40 ab	8.60 bc
	2 pases cincel (T2)	1.29 c	1.53 a	84.53 bc	15.46 ab
	3 pases cincel (T3)	1.32 bc	1.51 a	87.73 abc	12.26 abc
	Incorporación Temprana				
	Gramínea (T4)	1.30 c	1.48 a	88.00 abc	12.00 abc
	Gram + legum (T5)	1.29 c	1.78 a	76.33 c	23.66 a
	Leguminosa (T6)	1.33 bc	1.53 a	87.00 abc	13.00 abc
	Incorporación Tardía				
	Gramínea (T7)	1.32 bc	1.49 a	88.33 abc	11.66 abc
	Gram + legum (T8)	1.45 ab	1.53 a	94.66 ab	5.33 bc
	Leguminosa (T9)	1.29 c	1.44 a	89.73 ab	10.26 bc
	Sabana nativa (T10)	1.50 a	1.55 a	97.33 a	2.66 c
	LSD _{0.05}	0.12	0.34	11.08	11.08
20-30	1 pase cincel (T1)	1.45 ab	1.60 a	90.66 a	9.33 a
	2 pases cincel (T2)	1.42 ab	1.62 a	87.53 a	12.46 a
	3 pases cincel (T3)	1.38 ab	1.55 ab	88.53 a	11.46 a
	Incorporación Temprana				
	Gramínea (T4)	1.34 ab	1.58 ab	85.00 a	15.00 a
	Gram + legum (T5)	1.40 ab	1.59 a	88.13 a	11.86 a
	Leguminosa (T6)	1.38 ab	1.55 ab	89.00 a	11.00 a
	Incorporación Tardía				
	Gramínea (T7)	1.28 b	1.46 b	87.53 a	12.46 a
	Gram + legum (T8)	1.34 ab	1.52 ab	88.06 a	11.93 a
	Leguminosa (T9)	1.38 ab	1.55 ab	88.73 a	11.26 a
	Sabana nativa (T10)	1.53 a	1.57 ab	97.60 a	2.40 a
	LSD _{0.05}	0.20	0.11	11.11	11.11
30-40	1 pase cincel (T1)	1.54 ab	1.64 a	93.66 a	6.33 b
	2 pases cincel (T2)	1.51 ab	1.63 a	92.13 ab	7.86 ab
	3 pases cincel (T3)	1.41 ab	1.57 a	89.73 ab	10.26 ab
	Incorporación Temprana				
	Gramínea (T4)	1.44 ab	1.59 a	90.80 ab	9.20 ab
	Gram + legum (T5)	1.57 a	1.63 a	96.20 a	3.80 b
	Leguminosa (T6)	1.49 ab	1.60 a	92.86 ab	7.13 ab
	Incorporación Tardía				
	Gramínea (T7)	1.31 b	1.52 a	85.33 b	14.66 a
	Gram + legum (T8)	1.51 ab	1.61 a	94.26 a	5.73 b
	Leguminosa (T9)	1.49 ab	1.62 a	91.93 ab	8.06 ab
	Sabana nativa (T10)	1.52 ab	1.63 a	93.00 ab	7.00 ab
	LSD _{0.05}	0.21	0.14	7.03	7.03

A la tercera profundidad (20-30 cm) ya no se presentan diferencias significativas respecto a la sabana, excepto en el Tratamiento T7 (gramínea) respecto al cual si hubo diferencia estadística, se presume que hay influencia de las raíces en el valor de la densidad aparente, como lo han demostrado Amézquita *et al.*, (2000). Los valores a ésta y a la siguiente profundidad (30-40 cm) indican que los efectos de los tratamientos son más definidos hasta una profundidad de 20 cm. Por lo tanto, si es necesario mejorar la condición del suelo por debajo de esta profundidad, es necesario probar otro tipo de tratamientos. Sin embargo, se cree que el mejoramiento de suelos hasta esa profundidad (20 cm) puede ser adecuada para cultivos de grano (arroz, maíz, soya) y pastos.

Densidad aparente final: La densidad aparente final resultante de someter la muestra no disturbada del suelo a saturación, equilibrio a una succión equivalente a capacidad de campo (mayor porcentaje de humedad de un buen suelo agrícola en el campo) y de someterlo a una presión confinada de 200 Kpa, se presentan en la Tabla 1. En todas las profundidades, la densidad aparente final fue estadísticamente similar a la obtenida en sabana. Por lo cual, puede afirmarse que bajo las condiciones metodológicas utilizadas, los tratamientos llegan a igualar a aquellos encontrados en la sabana nativa.

La mayor variabilidad ($LSD_{0.05} = 0.34$) se presentó en la segunda profundidad (10-20 cm). En esta capa, el efecto de los tratamientos no fue tan definido, por cuanto en estos suelos se presenta mucha variabilidad respecto al espesor del Horizonte A, el cual en algunos casos se presenta a 7 cm y en otros puede llegar a 20 cm de espesor. Por lo tanto, la profundidad del horizonte B, el cual generalmente es duro, puede dificultar la penetración del cincel. Precisamente, una de las metas de la labranza vertical en los suelos de la Altillanura es la de lograr homogenizar los primeros 20 ó 30 cm de profundidad para poder obtener una buena capa superficial de suelo (capa arable) para poder obtener una buena producción agrícola (Amézquita *et al.*, 2002).

Grado de compactación: La tercera columna de la Tabla 1, presenta la susceptibilidad de los diferentes tratamientos a la compactación, expresada en términos de porcentaje. El término susceptibilidad a la compactación, también conocido como "grado de compactación" o densidad aparente relativa (Hakansson y Lipiec, 2000; Lipiec y Hakansson, 2000) es un buen parámetro para determinar el grado hasta el cual se puede "dejar compactar" un suelo, sin que se afecte mayormente su condición física para la producción de cultivos.

Así mismo, los valores obtenidos son muy importantes para comparar el grado actual de compactación de un suelo, en relación con el obtenido en esta determinación, de tal forma que se pueda juzgar si el suelo en las condiciones actuales de campo, está en buena o mala condición física para la producción de cultivos y así, decidir en forma más acertada el tipo de mejoramiento físico que éste requiere (Amézquita, 1998).

El análisis de los resultados, muestra que en la primera profundidad (0-10 cm), los valores encontrados en los tratamientos son estadísticamente inferiores al encontrado bajo la condición de sabana nativa (estado natural). Esto indica, que con los tratamientos se ha conseguido mejorar físicamente el suelo. Se debe tener en cuenta que un valor del 100% indica que el suelo en su condición de campo ya está compactado, porque la densidad aparente de campo sería igual a la densidad aparente del suelo sometido a presión confinada. En el caso de la sabana nativa a esta profundidad, se encuentra un valor de 95.1%, lo cual indica que solo falta un 4.9% para que el suelo quede completamente compactado, desde el punto de vista agrícola.

Analizando el comportamiento de este parámetro en profundidad, se puede observar que los valores encontrados en los tratamientos, son siempre inferiores a los encontrados en sabana nativa por lo menos hasta una profundidad de 30 cm en el perfil del suelo, esto demuestra que esta propiedad es sensible para identificar el grado de compactación del suelo y que el efecto de la cincelada ha sido satisfactorio. Por debajo de 30 cm de profundidad los valores son similares a los de sabana e inclusive algunos son superiores. Por lo tanto, el efecto de los tratamientos no ha alcanzado esta profundidad y la profundidad de preparación puede haber causado compactación sub-superficial.

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados obtenidos cuando se comparan con el nivel crítico propuesto por Hakinsson (2000) cuyo valor es de 87% para este parámetro. La Figura 1 muestra claramente que el mejor tratamiento fue el de dos pases de cincel el cual presenta valores inferiores a este nivel crítico, hasta 25 cm de profundidad. Tres pases de cincel presentaron buen aflojamiento hasta aproximadamente 15 cm de profundidad, lo cual parece contradictorio respecto a dos pases, pero se comprobó que tres pases causa mucho aflojamiento del suelo y por lo tanto, poca estabilidad volumétrica del suelo y el suelo

se reempaca con las lluvias. Un pase fue insuficiente como para causar un efecto positivo, puesto que los cinceles al estar separados 60 cm entre sí, no alcanzan a hacer una buena fractura en el espacio que queda entre los cinceles.

Los tratamientos que además de dos pases de cincel (para establecimiento), contienen gramínea, leguminosa o gramínea-leguminosa bajo el tratamiento de incorporación temprana (a fines de lluvia) presentaron mayor frecuencia de valores iguales o inferiores al crítico (5 vs. 2, Figura 2) que los de cincel. El tratamiento gramínea-leguminosa presentó los valores más bajos en profundidad, aproximadamente hasta 25 cm, seguido del tratamiento con leguminosa. Las gramíneas presentaron un comportamiento un poco diferente, se presentaron valores muy cercanos al nivel crítico a través de todas las profundidades, demostrando que su efecto fue más benéfico.

En el caso de la sabana nativa, ella siempre mostró valores superiores al nivel crítico, indicando que la condición física original de estos suelos no es buena para la siembra de cultivos comerciales y que es necesario hacer labores de labranza vertical antes de inicial cualquier utilización agrícola en estos suelos.

Bajo incorporación tardía (hecha al inicio del período lluvioso, Figura 3), los tratamientos biológicos con gramínea y leguminosa y dos pases de cincel, presentaron valores inferiores al nivel crítico solo en la primera profundidad, indicando que la preparación del suelo después de haber soportado la época de verano, no es efectiva, desde el punto de vista de obtención de una buena condición física en profundidad, para lograr aflojar el suelo porque el suelo en profundidad se ha secado demasiado.

Porosidad residual: una vez que la muestra volumétrica de suelo ha sido sometida a la presión confinada de 200 KPa, todavía queda un porcentaje de porosidad; a la cual se ha denominado "porosidad residual". Sus valores aparecen en la última columna de la Tabla 1. Como este parámetro es complementario del grado de compactación, entre mayor sea su valor, el suelo objeto de estudio posee una mejor condición física para el desarrollo de las raíces. El valor mínimo aceptable es de 13%, valores por debajo de este porcentaje indicarían que el suelo es susceptible a compactación y que la capacidad de

soporte (máxima carga que puede soportar un suelo a humedad de preparación, sin que se deforme) del suelo es baja. Valores superiores a 13% indican que el suelo es resistente a la compactación y posee una buena capacidad de soporte.

Los valores encontrados en sabana nativa (todos superiores al nivel crítico) hasta 30 cm de profundidad, pero sobre todo aquellos entre 0 y 20 cm, muestran que en estos suelos es necesario hacer labranza vertical profunda para mejorar la condición del suelo para la agricultura.

Figura 1. Comportamiento de la compactación en diferentes intensidades de labranza en el ensayo Perfil Cultural - Matazul

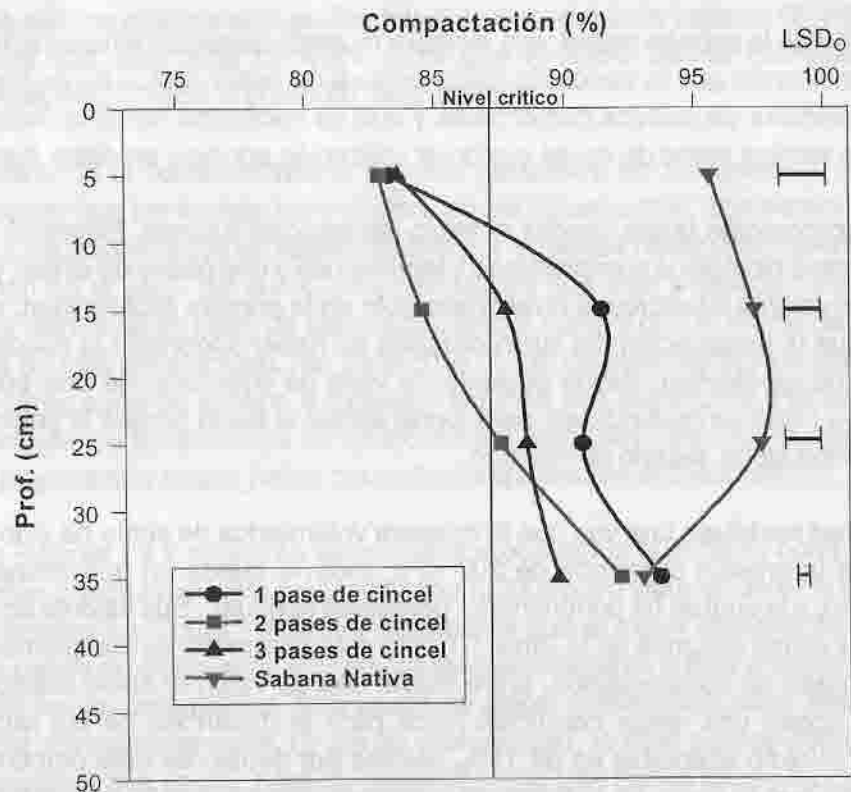


Figura 2. Comportamiento de la compactación en diferentes usos del suelo en el ensayo Perfil Cultural - Matazul

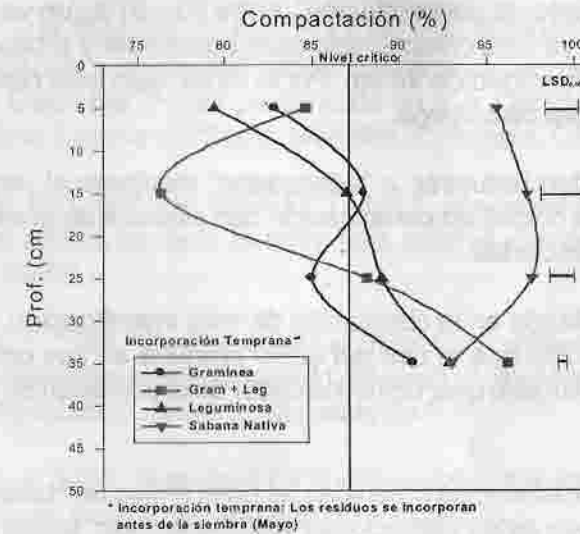
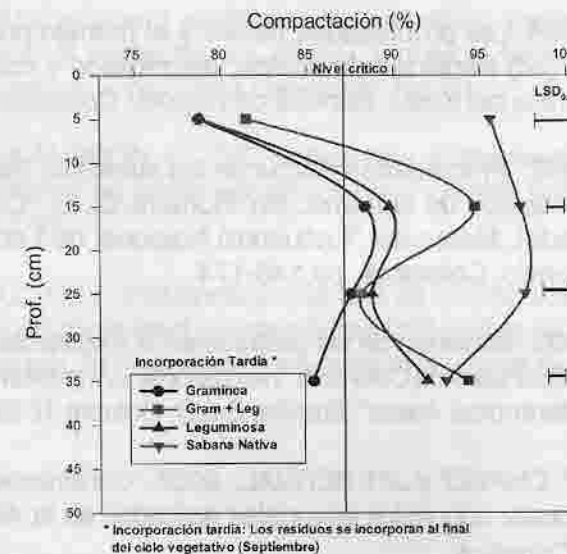


Figura 3. Comportamiento de la compactación en diferentes usos del suelo en el ensayo Perfil Cultural - Matazul



CONCLUSIONES

Los Oxisoles de la Altillanura Colombiana en su condición natural, presentan valores altos de "grado de compactación", entre 93 y 97% (un valor igual a 100 indica que el suelo ya está compactado para agricultura y producción de pastos), hasta una profundidad de 40 cm. Por lo tanto, bajo esta condición no son aptos para la siembra de cultivos.

Estos valores pueden reducirse a "adecuados" mediante el uso de labranza vertical (2 pases de cincel) en combinación con siembra de gramíneas y leguminosas solas o asociadas.

La metodología utilizada en la realización de esta investigación, demostró ser sensible a los cambios que el uso del suelo produce en sus condiciones físicas, por lo tanto, se sugiere usar como indicador de la condición de compactación actual del suelo.

De acuerdo a las experiencias obtenidas, el nivel crítico de Hakansson (2000), puede funcionar bajo estas condiciones estudiadas. Sin embargo, es conveniente comprobarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMEZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. In: Silva, F. (ed) *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. p. 137-154.
- AMEZQUITA, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En: Romero C., G., D. Aristizábal Q., C.A. Jaramillo S. (eds). *Memorias "Encuentro Nacional de Labranza de Conservación"*, Villavicencio, Colombia. pp.145-174.
- AMEZQUITA, E. 2000. Influencia de las pasturas en el mejoramiento físico de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia. *International Symposium "Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas"*. Brasilia, Brasil, Octubre 16-20, 2000.
- AMEZQUITA, E., L.F. CHAVEZ y J.H. BERNAL. 2002. Construcción de una "capa arable" en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto. Colciencias, Ciat, Corpoica.

AYARZA, M.A. y J.M. SPAIN. 1991. Manejo del ambiente físico y químico en el establecimiento de pasturas mejoradas. In: Lascano, C.E. y Spain, J.M. (eds) *Establecimiento y renovación de pasturas*. CIAT, Cali, Colombia. p. 189-208.

CHAVEZ, L.F., J.H. GALVIS, E. AMEZQUITA, y A. ALVAREZ. 2000. Relación entre penetrabilidad y resistencia tangencial al corte en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Poster presentado en el X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia. Octubre 11-14, 2000.

DA SILVA, A.P., B.D. KAY y E. PERFECT. 1997. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Tillage Research* 44: 81-93.

HAKANSSON, I. 1986. Review of soil compaction problems in agriculture on the basis of Swedish Research. Report 71. Division of Soil Management, Swedish University of Agricultural Science. Uppsala. pp.5-19.

HAKANSSON, I. 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Tillage Research* 16: 105-120.

HAKANSSON, I. y J. LIPIEC. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil & Tillage Research* 53: 71-85.

LAL, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soils and water resources in the tropics. SMSS Technical Monograph. USDA, Soil Conservation Service, Ohio State University. No. 21.

LIPIEC, J. y HAKANSSON, I. 2000. Influences of degree of compactness and matrix water tension on some important plant growth factors. *Soil & Tillage Research* 53: 87-94.

PRECIADO, L.G. 1997. Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. Tesis M.Sc., Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 131 p.