

Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia

A. Pinzón y E. Amézquita*

Introducción

En Colombia, la colonización del bosque húmedo tropical se hace mediante la tala y quema de la vegetación nativa, y la siembra subsiguiente de maíz asociado con pasturas. Generalmente, los agricultores no tienen en cuenta la aptitud de uso de los suelos y en la mayoría de los casos ocasionan graves daños al ecosistema.

Según Bradford and Gupta (1986) la compresión consiste en la disminución del volumen del suelo por la aplicación de una carga alta. Cuando este proceso ocurre en suelos saturados se denomina consolidación, y compactación cuando ocurre en suelos no saturados. En el primer caso se excluye el agua de los espacios vacíos de la matriz del suelo y en el segundo se excluye el aire.

Russell (1977) considera que la compactación reduce el volumen de poros de mayor diámetro del suelo, causando cambios en el contenido de humedad y en el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, e impidiendo además el desarrollo de las raíces. El establecimiento de pasturas en el bosque húmedo tropical, junto con el pisoteo de los animales, favorecen la compactación en el horizonte superior del suelo; sin embargo, se sabe muy poco sobre

los cambios físicos y pedogenéticos que estas prácticas ocasionan en el suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar los cambios en las propiedades físicas del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte del Caquetá, Colombia.

Materiales y métodos

Localización, suelos y vegetación. El ensayo se realizó en el Centro de Investigaciones CI-ICA Macagual, localizado a 1° 37' de latitud norte y a 75° 36' de longitud oeste, a 350 m.s.n.m., con una precipitación promedio anual de 3600 mm, y 26 °C de temperatura media, dentro del ecosistema bosque tropical lluvioso.

Los sitios experimentales se localizaron en las posiciones geomorfológicas de lomerío, terraza baja y vega y en las áreas en las cuales era evidente la compactación del suelo por el pisoteo de los animales. Estos sitios incluyeron: (1) bosque de 40 años (testigo); (2) lomerío (altura pequeña en el terreno) con vegetación nativa de guaduilla (*Homolepis aturensis*), utilizada durante 15 años en pastoreo rotacional; (3) terraza con vegetación de guaduilla, utilizada durante 15 años en pastoreo alterno; (4) vega con vegetación de guaduilla, utilizada durante 15 años en pastoreo continuo; (5) lomerío con *Brachiaria decumbens* de 10 años, utilizada en pastoreo rotacional; (6) terraza con *B. decumbens* de 15 años, utilizada en pastoreo alterno; (7) vega con guaduilla de 15

* Respectivamente: M.Sc., Agróloga, Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá; e Ing. Agr., Ph.D., jefe de la Sección Nacional de Recursos Naturales, Programa de Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Apdo. Aéreo 151123, El Dorado, Bogotá, Colombia.

años, utilizada en pastoreo continuo; y (8) vega de 15 años, cultivada con yuca.

El suelo de lomerío se clasifica como Typic Hapludult isohipertérmico arcilloso fino, profundo, con pendiente entre 7% y 15%, con estructura en bloques subangulares, de color pardo en el primer horizonte y pardo rojizo a mayor profundidad, con drenaje interno lento.

En las terrazas bajas el suelo es Typic Dystropept, isohipertérmico arcilloso fino, con 1% de pendiente, franco arcilloso y arcilloso, con estructura en bloques subangulares moderadamente desarrollada, de color pardo en la superficie y pardo amarillento a mayor profundidad.

En las vegas el suelo es Fluvaquentic Dystropept isohipertérmico, de textura franco arcillo-limosa y franco-limosa, el drenaje interno es lento a medio, el color en la superficie es gris con moteados pardo rojizo, y a mayor profundidad es pardo y pardo amarillento; su fertilidad es de baja a media.

En el bosque predominan las especies guarumo (*Cecropia* sp.), guamo (*Inga* sp.), canangucha (*Mauritia flexuosa*), sangre-toro (*Virola* sp.), laurel amarillo (*Nectandra* sp.), anime (*Protium* sp.) y zancona (*Socratea exorrhiza*). En el lomerío y en la terraza baja predominan guaduilla (*H. aturensis*) y braquiaria (*Brachiaria decumbens*). En la vega, la vegetación es de guaduilla, pero hay algunas áreas cultivadas con yuca (*Manihot utilissima*).

Análisis de campo y de laboratorio. En el campo se determinaron la infiltración, la densidad aparente (D.A.) y la compactación con penetrómetro de cono. En el Laboratorio del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se hicieron los análisis químicos de los suelos y de mineralogía de arena y arcilla, distribución del tamaño de las partículas, densidad aparente, densidad real, estabilidad estructural, retención de humedad, coeficiente de expansión lineal, consistencia del suelo y conductividad hidráulica.

Análisis estadístico. En cada sitio se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2 x 3, con tres repeticiones, en el cual el primer nivel era la topografía (lomerío, terraza y vega), el segundo nivel la vegetación (guaduilla y *B. decumbens*), y el tercero la profundidad (0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm).

Resultados y discusión

Características mineralógicas y químicas de los suelos. En los tres sitios se encontró predominio de caolinita, tanto en la superficie del suelo como en los horizontes subyacentes. En los suelos de lomerío se encontraron además montmorillonita y micas interestratificadas, y en los suelos de vega óxidos e hidróxidos de hierro.

La composición de la arena en los suelos de lomerío fue predominantemente cuarítica, alternada con feldespatos, anfíboles y, en algunos casos, con circón, turmalina y opacos. En las terrazas bajas predominaron el cuarzo-feldespato y algunos minerales resistentes. En los suelos de vega fueron frecuentes los feldespatos y las micas, especialmente biotita y, en menor cantidad, anfíboles, piroxenos, epidota y productos alterados.

Los suelos de lomerío y terraza presentaron baja fertilidad y los de vega de mediana fertilidad. La capacidad catiónica de cambio varió de media a alta, y disminuyó con la profundidad del suelo; el contenido de Ca fue más alto en el primer horizonte del suelo y el Mg permaneció constante; este último fue mayor en los suelos de vega. El contenido de K fue medio y el de Na bajo; el de P fue muy bajo, excepto en los suelos de vega.

Características físicas

Textura. En los suelos de lomerío predominaron las arcillas; en la terraza baja fue mayor el contenido de arena, y en la vega el limo, el cual constituyó el 60% de las partículas del suelo. Se encontró que la compactación del suelo aumentó con el contenido de arcilla; por lo tanto, los mayores valores se encontraron en el lomerío y en la terraza baja.

Estructura. En las áreas sometidas al pisoteo por los animales se observó la pérdida de estructura en los primeros 15 cm del suelo, y en algunos casos ocurrió la pérdida del primer horizonte. El diámetro medio de los agregados varió entre 1.5 mm y 2.3 mm, y el de los agregados estables entre 1.0 mm y 0.425 mm.

Densidad aparente. En general, la D.A. aumentó con la profundidad ($P < 0.01$), independientemente de la posición geomorfológica ($P < 0.05$), y fue mayor entre 0-5 cm y 5-15 cm (Cuadro 1). Se encontró también que a mayor D.A. correspondió

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo (g/cm^3) determinada por tres métodos, en posiciones geomorfológicas del piedemonte amazónico con tres clases de vegetación. CI-ICA Macagual, Caquetá, Colombia.

Geomorfología	Vegetación	Prof. (cm)	D. A., método de determinación:		
			Terrón parafinado	Cilindro	Hoyo
Bosque	Bosque	0-5	1.10	0.79	1.10
		5-15	1.22	0.99	1.30
		15-30	1.30	1.08	1.28
Lomerío	Guaduilla	0-5	1.40	0.91	1.47
		5-15	1.53	1.46	1.62
		15-30	1.30	1.45	1.53
Lomerío	<i>B. decumbens</i>	0-5	1.00	0.97	1.08
		5-15	1.30	1.50	1.56
		15-30	1.20	1.31	1.42
Terraza baja	Guaduilla	0-5	1.60	0.84	1.39
		5-15	1.63	1.40	1.70
		15-30	1.43	1.21	1.48
Terraza baja	<i>B. decumbens</i>	0-5	1.00	1.22	1.18
		5-15	1.40	1.33	1.53
		15-30	1.50	1.44	1.41
Vega	Guaduilla	0-5	1.00	0.96	1.20
		5-15	1.20	1.13	1.26
		15-30	1.20	1.09	1.19
Vega	Yuca	0-5	1.00	1.10	1.08
		5-15	1.00	1.04	1.15
		15-30	0.90	0.99	1.13
Análisis de varianza					
Fuente de variación		gl	SC	CM	F
Geomorfología		2	0.01	0.005	2.5 ns
Vegetación		1	0.01	0.01	5.0*
Profundidad		2	0.10	0.05	25.0**
Geom. x Veg.		2	0.0009	0.0005	0.25 ns
Geom. x Prof.		4	0.02	0.005	0.25 ns
Veg. x Prof.		2	0.01	0.005	0.25 ns

*, ** = $P < 0.05$ y 0.01 , respectivamente. Prof. = profundidad. Geom. = geomorfología. Veg. = vegetación.

una mayor resistencia a la penetración, lo cual trae como consecuencia un menor volumen de macroporos y un menor crecimiento de las raíces.

Retención de humedad. El agua retenida en el suelo varió entre 20% y 30% cuando la resistencia cónica en el suelo fue de 1519 kPa (kilo-Pascal). Sin embargo, en la terraza baja, cultivada con *B. decumbens*, el contenido de humedad fue únicamente de 16%, como resultado del mayor contenido de arena de estos suelos. Estos resultados indican quizás que las plantas extraen el agua fácilmente y que su punto de marchitez es inferior a 1519 kPa.

Infiltración. Es la propiedad del suelo más afectada por la posición geomorfológica y por la vegetación; tal como se observa en el Cuadro 2. En el bosque la infiltración fue de 7.0 cm/hora; por el contrario, en el lomerío y en la terraza baja con guaduilla la infiltración fue muy lenta (< 0.8 cm/hora); sin embargo, en estas posiciones geomorfológicas el cultivo de *B. decumbens* mejoró notablemente ($P < 0.05$) la infiltración, lo cual se asoció con una D.A. más baja, mejor estructura y mejor distribución de la macroporosidad.

Compactación. El Cuadro 3 muestra que la compactación del suelo, medida como resistencia

Cuadro 2. Tasa de infiltración en suelos del piedemonte amazónico, en tres posiciones geomorfológicas y tipos de vegetación. CI-ICA Macagual, Caquetá, Colombia.

Geomorfología	Vegetación	Infiltración (cm/hora)
Variable	Bosque	7.0
Lomerío	Guadilla	0.8
Lomerío	<i>B. decumbens</i>	6.0
Terraza baja	Guadilla	0.0
Terraza baja	<i>B. decumbens</i>	3.5
Vega	Guadilla	5.0
Vega	Yuca	4.0

Análisis de varianza				
Fuente de variación	gl	SC	CM	F
Geomorfología	2	10.96	5.48	34.25**
Vegetación	1	0.76	0.76	4.75*
Profundidad	2	3.38	1.69	10.50**
Geom. x Veg.	2	2.17	1.09	6.78**
Geom. x Prof.	4	1.11	0.28	1.75 ns
Veg. x Prof.	2	4.09	2.05	12.78**

*, ** = P < 0.05 y 0.01, respectivamente.

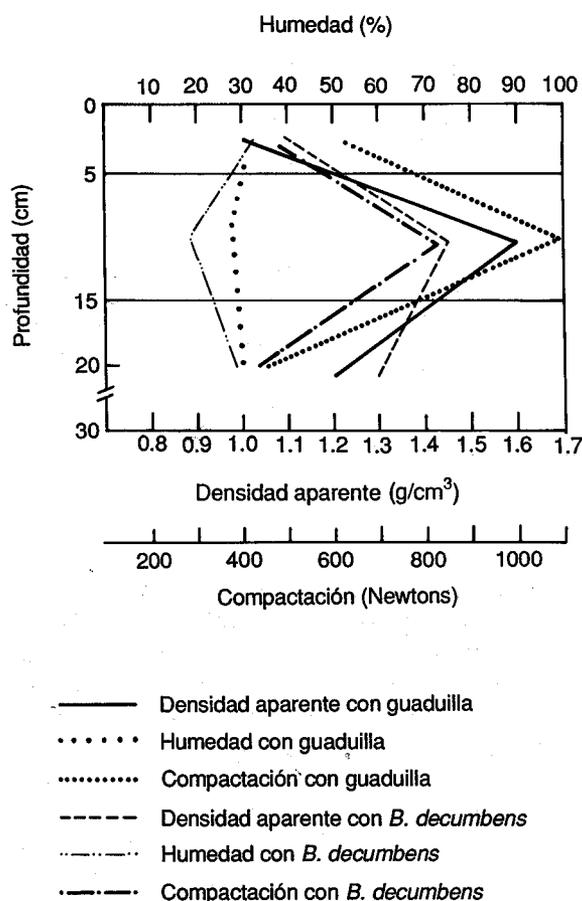


Figura 1. Compactación (Newtons), humedad y densidad aparente en suelos de lomerío con dos tipos de vegetación. CI-ICA Macagual, Caquetá, Colombia.

a la penetración, fue mayor entre 5 cm y 15 cm ($P < 0.01$) en los suelos con guadilla, y disminuyó en suelos con *B. decumbens* ($P < 0.01$). En suelos de bosque, la resistencia a la penetración fue prácticamente nula. Por otra parte, el esfuerzo a la penetración fue mayor en la terraza baja y en el lomerío, especialmente cuando había vegetación de guadilla.

Es importante resaltar que *B. decumbens*, por su mayor densidad de raíces y por la cobertura que da al suelo, reduce la acción de pisoteo de los animales que resulta en la compactación del suelo.

La Figura 1 muestra los cambios, en D.A. y compactación hasta 30 cm de profundidad, en el suelo de lomerío con guadilla y con *B. decumbens*. Se encontró que, a medida que aumentaba la D.A., la compactación era mayor y la humedad disminuía, especialmente entre 5 cm y 15 cm en los suelos cubiertos con guadilla.

Conclusiones

Los resultados de este ensayo indican que los animales en pastoreo modifican las propiedades físicas de los suelos del piedemonte amazónico. Sin embargo, la intensidad de esos cambios depende de la vegetación y de la geomorfología de la zona, siendo más drásticos en suelos con guadilla que con pasturas de *B. decumbens*, y más en áreas de lomerío y de terrazas que en las vegas.

Cuadro 3. Compactación del suelo en el piedemonte amazónico, en tres posiciones geomorfológicas y tipos de vegetación. CI-ICA Macagual, Caquetá, Colombia.

Geomorfología	Vegetación	Prof. (cm)	Compactación	
			kg-fuerza (kg/cm ²)	Newtons
Variable	Bosque	0-5	12	116
		5-15	19	187
		15-30	20	190
Lomerío	Guaduilla	0-5	48	427
		5-15	75	732
		15-30	32	394
Lomerío	<i>B. decumbens</i>	0-5	42	500
		5-15	56	510
		15-30	30	304
Terraza baja	Guaduilla	0-5	68	653
		5-15	80	790
		15-30	32	446
Terraza baja	<i>B. decumbens</i>	0-5	38	408
		5-15	44	594
		15-30	29	430
Vega	Guaduilla	0-5	20	319
		5-15	21	330
		15-30	22	366
Vega	Yuca	0-5	21	328
		5-15	21	328
		15-30	22	331
Análisis de varianza				
Fuente de variación	gl	SC	CM	F
Geomorfología	2	233355	116677	138.6**
Vegetación	1	46329	46329	55.0**
Profundidad	2	125880	62940	74.7**
Geom. x Veg.	2	22946	11473	13.6**
Geom. x Prof.	4	38105	9526	11.3**
Veg. x Prof.	2	8271	4135	4.9*

*, ** = P < 0.05 y 0.01, respectivamente.

En general, el pisoteo de los animales compacta el suelo en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en el movimiento interno del agua, y un aumento en la D.A.; esto trae como consecuencia una disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad.

Los resultados permiten recomendar que en las zonas de lomerío y de terrazas bajas del piedemonte amazónico de Colombia, la explotación ganadera debe hacerse con cargas animales adecuadas, y en pasturas con especies mejoradas que favorezcan la estructura del suelo.

Summary

The effect of grazing animals on some soil physical properties was measured at the Centro de Investigaciones ICA-Macagual (piedmont of Caquetá), at 1° 37' N and 75° 36' W, within the tropical rain forest ecosystem. Measurements were made on geomorphological positions of slightly hilly areas (clay Typic Hapludult), low terrace (clay Typic Dystropept), and valley plain (clay-loam-silt Fluvaquentic Dystropept), with *Homolepis aturensis* and *Brachiaria decumbens* pastures grazed for 10 years. Measurements were also made for native forest.

Animal trampling modifies soil physical characteristics. In clay soils, compaction was greater, and in some cases soil loss occurred in the first 15 cm. The apparent density increased as soil depth increased, independently from the geomorphological position, which decreases internal movement of water in the soil. These changes were more drastic in *H. aturensis*. To the contrary, *B. decumbens* improved soil filtration because of a better structure and distribution of macroporosity.

The results suggest that in the piedmont of Caquetá, Colombia, cattle raising should be done

with improved species that favor the existing soil structure.

Referencias

Bradford, J. M. and Gupta, S. C. 1986. Soil compressibility. In: Methods of soil analysis. Madison. p. 479-492.

Russell, E. W. 1977. Soil conditions and plant growth. 10th. edition. Longman, Nueva York. 849 p.