

COMPACTACION Y COMPACTABILIDAD DE SUELOS AGRICOLAS Y GANADEROS DE GUANACASTE, COSTA RICA¹, *

José M. Agüero **
Alfredo Alvarado ***

ABSTRACT

Compaction and compactability of agricultural and cattle raising soils in Guanacaste, Costa Rica. This study was conducted to estimate compaction and compactability of soils in the lowlands of Guanacaste. Thirty six samples were analyzed for organic matter content, pH in H₂O, exchangeable cations, moisture content, soil water characteristics (0.33 and 15 bars), bulk density and resistance to penetration. Atterberg limits and Proctor compactability were also estimated in four out of the 36 soils, representative of the Province.

Most of the values on resistance to penetration and bulk density were over the values limiting crop performance mentioned in the literature. In cattle areas compaction ($\bar{X} = 62 \text{ kg/cm}^2$) doubles the values found in cropping lands ($\bar{X} = 30 \text{ kg/cm}^2$). Parent material influenced this parameter; the higher values were found in volcanic tuff derived soils, followed by the material of the Nicoya Complex and the alluvions of the Tempisque Valley. Vertisols with the higher plastic index ($P I = 46$) were less affected by compaction than volcanic tuff derived soils ($P I = 8.8$).

INTRODUCCION

La compactación del suelo reduce el rendimiento de cultivos como la caña de azúcar (27, 28), algodón (31) y maíz (20) debido a i) una disminución del volumen de suelo a explorar por las raíces, ii) una disminución del diámetro de los haces vasculares y iii) un impedimento a la emergencia de plántulas en el caso de costras superficiales (22, 31). En algunos casos como en el arroz (21) se ha reportado un efecto benéfico debido a una disminución de la capacidad de infiltración del agua. En adición a la pérdida en rendimiento, los suelos compactados requieren el uso de maquinaria de mayor potencia, lo que eleva los costos de producción (4).

La compactación del suelo se refiere a un aumento de su densidad como resultado de presiones o cargas aplicadas al mismo (5). Este fenómeno se debe a la compresión de partículas sólidas, la compresión de líquidos y gases dentro del espacio poroso, al reacomodo de las partículas y a cambios en el contenido de líquidos y gases (18).

La resistencia a la penetración, definido como la capacidad de un suelo de resistir o sostener una fuerza (33), es un índice integrado de su compactación, contenido de humedad, textura y tipo de mineral arcilloso (5).

Las principales fuerzas de compactación son la lluvia, la maquinaria agrícola y la carga animal. La lluvia desintegra los agregados, dispersa la arcilla y favorece la compactación superficial, aumentando la densidad aparente de los primeros centímetros de suelo (23); este fenómeno está asociado con un bajo contenido de materia orgánica y altos contenidos de limo y sodio (10, 11).

1 Recibido para su publicación el 18 de agosto de 1983.

* Parte de la tesis de Ingeniero Agrónomo presentada por el primer autor a la Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

** Dirección actual: Servicio Nacional de Electricidad.

*** Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

Cuadro 1. Localidades de muestreo, clasificación y material parental para 36 suelos de Guanacaste.

Muestra	Localidad	Clasificación	Material parental	Muestra	Localidad	Clasificación	Material parental
1	Bebedero	Fluventic Ustropept	Aluvión	19	Liberia	Lythic Ustorthent	Toba
2	Bebedero	Fluventic Ustropept	Aluvión	20	Liberia	Typic Ustropept	Toba
3	Bebedero	Fluventic Ustropept	Aluvión	21	Carrillo	Fluventic Ustropept	Aluvión
4	Río Lajas	Fluventic Ustropept	Aluvión	22	Carrillo	Fluventic Ustropept	Aluvión
5	Bebedero	Fluventic Ustropept	Aluvión	23	Carrillo	Fluventic Ustropept	Aluvión
6	Cañas	Typic Pellustert	Toba	24	Carrillo	Fluventic Ustropept	Aluvión
7	Cañas	Fluventic Chromustert	Aluvión	25	Carrillo	Typic Haplustoll	Aluvión
8	Cañas	Typic Ustropept	Toba	26	Cañas	Lythic Ustorthent	Toba
9	Cañas	Typic Haplustoll	Toba	27	Cañas	Lythic Ustorthent	Toba
10	Cañas	Typic Haplustoll	Toba	28	Sta. Cruz	Typic Haplustalf	C. Nicoya
11	Cañas	Typic Haplustoll	Toba	29	Sta. Cruz	Typic Haplustoll	C. Nicoya
12	Cañas	Typic Haplustoll	Toba	30	Sta. Cruz	Typic Ustropept	C. Nicoya
13	Cañas	Typic Haplustoll	Toba	31	Sta. Cruz	Typic Ustropept	C. Nicoya
14	Bagaces	Vertic Ustropept	Toba	32	Nicoya	Typic Ustropept	C. Nicoya
15	Bagaces	Vertic Ustropept	Toba	33	Nicoya	Typic Ustropept	C. Nicoya
16	Bagaces	Vertic Ustropept	Toba	34	Nicoya	Typic Ustropept	C. Nicoya
17	Liberia	Lythic Ustropept	Toba	35	Nandayure	Fluventic Ustropept	Aluvión
18	Liberia	Lythic Ustorthent	Toba	36	Nandayure	Fluventic Ustropept	Aluvión

El efecto de la carga animal se concentra en los primeros cinco centímetros de suelo (1), y se debe al peso del animal en relación a la superficie de contacto con el suelo (4,0 kg/cm²) en el que se posa (32).

La maquinaria agrícola compacta el suelo a mayor profundidad que la lluvia y la carga animal. El arado deja una capa superficial suelta y un subsuelo denso debido a que aplica una presión que oscila entre 0,76 y 0,95 kg/cm² (32). Este efecto se acentúa cuando la labranza de tierras se hace a la misma profundidad durante varios años (6, 7).

Los límites de Atterberg se emplean para estudiar la plasticidad del suelo. Se determina el límite líquido (el más húmedo) y luego el límite plástico (el más seco) y la diferencia entre el contenido de humedad entre estos dos puntos se conoce como el índice de plasticidad (5).

Este trabajo se diseñó para evaluar la compactación en terrenos agrícolas y ganaderos de Guanacaste y conocer de manera general la compactabili-

dad potencial de algunos tipos de suelos de la Provincia.

MATERIALES Y METODOS

Se tomó un total de 36 muestras de suelos en terrenos agrícolas y ganaderos de 7 cantones. La clasificación de estos suelos y los cantones estudiados se muestran en el Cuadro 1. Las muestras se secaron al aire, se cuartearon y molieron hasta pasar por una criba de 20 mallas/pulgada².

Los suelos se analizaron por pH en relación suelo:agua de 1:2,5 (24), textura (19), materia orgánica (16), densidad aparente (16), contenido de humedad (16), cationes de intercambio (16), resistencia a la penetración (9, 12), límites de Atterberg (3) y compactabilidad (1). Los suelos se clasificaron de acuerdo con la taxonomía de suelos de los Estados Unidos (30).

Los resultados obtenidos se analizaron por medio de un análisis de correlación simple, asignando valores numéricos a las variables textura, material parental y uso de la tierra.

Cuadro 2. Propiedades químicas y físicas de los suelos estudiados (n = 36).

Parámetro	Ambito	\bar{X}
pH	5,6 – 7,2	6,4
Ca, meq/100 g	5,0 – 46,0	20,7
K, “	0,1 – 1,9	0,7
Mg, “	3,5 – 38,0	17,0
M.O., o/o	0,3 – 6,7	2,8
Da, g/ml*	1,47 – 1,98	1,72
Resistencia a la penetración, kg/cm ²		
0–10 cm	5,8 – 92,0	43,4
10–20 cm	2,3 – 92,0	39,2
20–30 cm	2,3 – 92,0	29,0
Contenido de humedad, o/o	3,3 – 52,2	22,2
Retención de humedad, o/o		
0,33 atm.	25,1 – 48,5	37,7
15,00 atm.	9,0 – 33,3	23,3

* Estos valores representan 16 suelos.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las propiedades del suelo y la resistencia a la penetración y densidad aparente.

Variable	Resistencia a la penetración	Densidad aparente
Uso de la tierra	r= 0,45**	r= 0,34*
Material parental	r= 0,45**	r= 0,41*
Textura	r= 0,20 ^{ns}	r= 0,10 ^{ns}
Contenido de humedad	r=-0,44**	r=-0,13 ^{ns}
Retención de humedad		
0,33 atmósferas	r=-0,14 ^{ns}	r= 0,08 ^{ns}
15 atmósferas	r=-0,14 ^{ns}	r= 0,20 ^{ns}
pH en agua	r= 0,13 ^{ns}	r= 0,02 ^{ns}
pH en KCl 1N	r= 0,08 ^{ns}	r= 0,16 ^{ns}
Cationes de intercambio		
Ca	r= 0,18 ^{ns}	r= 0,20 ^{ns}
K	r= 0,09 ^{ns}	r= 0,18 ^{ns}
Mg	r= 0,15 ^{ns}	r= 0,01 ^{ns}
Materia orgánica	r= 0,13 ^{ns}	r= 0,17 ^{ns}

r= coeficiente de correlación para n = 36.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características generales de los suelos

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de las características químicas y físicas de los suelos estudiados. Se deduce que los suelos son ligeramente ácidos a neutros, su contenido de bases es alto, lo que concuerda con los valores de pH, y el contenido de materia orgánica es bajo. Se presentó un promedio de bases cambiables más alto en los suelos desarrollados a partir del Complejo de Nicoya (62,0 meq/100 g de suelo) que en aquellos desarrollados a partir de tobas o aluviones (34,7 y 34,2 meq/100 g de suelo), hecho relacionado con el material parental básico del primer grupo de suelos.

Parámetros de compactación del suelo

La densidad aparente encontrada fue muy alta (Cuadro 2), con valores que concuerdan con los obtenidos en suelos muy compactos (21,26). Esta característica se ve afectada por el uso de la tierra y el material parental y afecta la resistencia a la penetración (Cuadro 3). La densidad aparente aumenta al pasar de caña de azúcar a algodón, arroz,

sorgo y zacates, lo que concuerda con lo encontrado por varios autores (1, 17, 32, 34). La densidad aumentó al pasar del aluvión a la toba y al Complejo de Nicoya, reflejando la densidad original del material parental del suelo.

Cuadro 4. Resistencia media a la penetración según la textura, el material parental y el uso de la tierra.

Variable	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)
Textura	
arcillosa	32,47
arcilloso-limosa	46,67
loam-arcillosa	37,42
loam-arcillo-arenosa	42,63
loam-arenoso	25,30
Material parental	
aluvión	23,00
toba	45,33
Complejo de Nicoya	52,91
Uso de la tierra	
caña de azúcar	16,18
arroz	29,05
sorgo	33,51
algodón	36,80
pastos	61,96

La resistencia a la penetración correlaciona en forma positiva con el uso de la tierra y el material parental y negativa con el contenido de humedad del suelo, en forma similar a lo encontrado por otros investigadores (5, 30). Esta característica no correlacionó con el contenido de materia orgánica, la textura, los cationes de intercambio, la retención de humedad ni el pH, debido probablemente al reducido ámbito de variación de estos parámetros, en relación a la resistencia a la penetración.

A pesar de no encontrarse correlación con la textura, la mayor resistencia a la penetración se presenta en suelos francos y la menor en los arcillosos (Cuadro 4). En los vertisoles no pudo medirse la resistencia a la penetración con el penetrometro, dada su alta plasticidad, por lo que al aplicarles una carga fluyen hacia los lados y son difíciles de compactar (3).

Los suelos de desarrollo incipiente situados en la región Cañas-Liberia presentan la compactación más alta, lo que puede deberse al material parental por sí mismo (29) o a que se utilicen para ganadería (Cuadro 4). En la región de Filadelfia, con suelos de origen aluvial y utilizados en agricultura, se encuentra la compactación mínima, a pesar de que aquí se abusa del laboreo de la tierra (Cuadro 4).

Los valores de resistencia a la penetración encontrados en esta investigación son superiores a los valores críticos mencionados en la literatura para el crecimiento de los cultivos (13, 14, 31).

Cuadro 5. Resistencia media a la penetración según la profundidad para tres grupos de suelo de Guanacaste bajo agricultura y ganadería.

Material parental del suelo	Uso de la tierra	Profundidad de muestreo (cm)						
		0	5	10	15	20	25	30
Aluvión	Agricultura	18,30	20,12	25,82	26,45	20,56	18,74	17,66
	Ganadería	34,50	36,80	23,00	15,00	13,80	9,20	9,20
Toba	Agricultura	26,76	43,03	38,47	25,64	25,41	25,30	18,40
	Ganadería	68,61	68,61	63,25	49,45	45,31	44,50	43,70
Complejo de Nicoya	Agricultura	48,47	56,93	42,55	45,23	37,56	32,58	27,60
	Ganadería	92,00	84,33	64,40	50,60	55,97	46,80	40,30

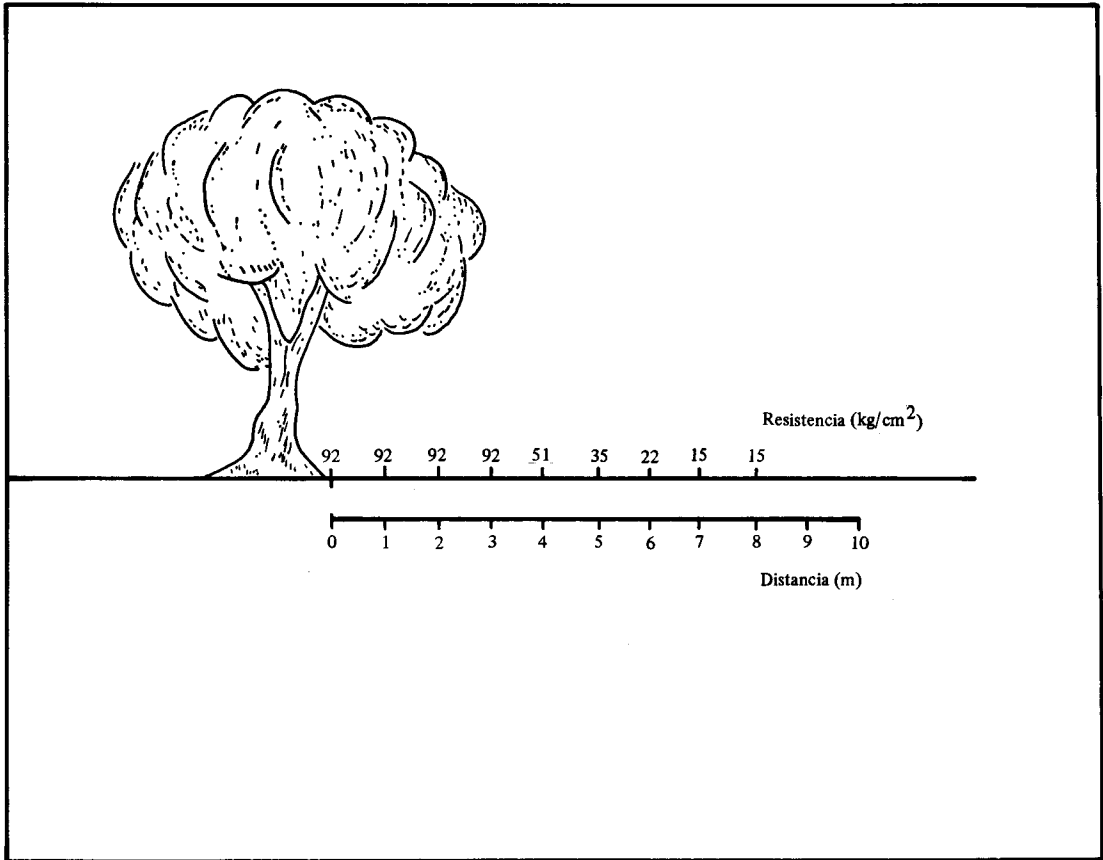


Fig. 1. Distribución de la resistencia a la penetración en la superficie del suelo para zonas de alto pisoteo por ganado.

En terrenos compactados sembrados de algodón, la raíz pivotante crecía en forma horizontal o se bifurcaba como “pata de gallina”. En áreas ganaderas se encontró la compactación más alta; los valores de compactación en suelos dedicados a ganadería casi duplican los encontrados en suelos de cultivo (Cuadro 5), similar a lo encontrado por Daubemire (8) en la Zona Norte del país.

En la Fig. 1 se muestra la distribución de la resistencia a la penetración en la superficie del suelo para la zona a la que el ganado llega a descansar. En esta área, la compactación es tan alta que el pistón del penetrómetro no entra en el suelo. Al ale-

jarse del sitio de descanso los valores de resistencia disminuyen, aunque son tan elevados que no permiten el crecimiento de la vegetación.

La resistencia a la penetración varió con la profundidad del suelo (Cuadro 5). En suelos cultivados la resistencia es baja en la superficie, debido al paso de implementos agrícolas y la actividad radical; aumenta hasta cierta profundidad (piso de arado) y decrece a mayor profundidad, en forma similar a lo encontrado en otros lugares (2, 5). En suelos dedicados a la ganadería el nivel máximo de compactación se encuentra en la superficie, sitio más disturbado por el ganado (25).

Cuadro 6. Límites de Atterberg y pruebas de compactabilidad "Proctor" para cuatro grupos de suelos de Guanacaste.

	Límite líquido	Límite plástico	Índice plasticidad	Densidad máx. kg/m ³ *	Humedad óptima (o/o)
Vertisol	74,8	28,7	46,1	1340,2	32,0
Alfisol	55,8	28,1	27,7	1453,9	31,0
Aluvión	41,0	26,0	15,0	1494,5	26,0
Toba	33,3	24,5	8,8	1559,5	21,5

* kg/m³ = lb/pie³ x 16,245.

En el Cuadro 6 se presenta los límites de Atterberg y pruebas de compactación para cuatro grupos de suelos de Guanacaste. El suelo menos plástico es el de toba (IP = 8,8) y el más plástico es el vertisol (IP = 46), siendo su compactabilidad el inverso. El vertisol con una densidad máxima de 1340,2 kg/m³ (82,5 lb/pie³) es el menos compactable (15) mientras que la toba con una densidad máxima de 1559,5 kg/m³ (96,0 lb/pie³) es la más fácil de compactar.

RESUMEN

Con el objeto de conocer el estado de la compactación de suelos de Guanacaste, se tomaron muestras de áreas agrícolas y ganaderas. Las muestras se analizaron, determinándose el porcentaje de materia orgánica, el pH en H₂O y KCl, los cationes de intercambio, el contenido de humedad del suelo, la retención de humedad a 0,33 y 15 atmósferas, la densidad aparente y la resistencia a la penetración. Para cuatro grupos de suelos representativos de Guanacaste, se determinaron los límites de Atterberg y la compactabilidad por el método Proctor. Para la evaluación estadística de los datos, se realizaron análisis de correlación simple.

Los valores de resistencia a la penetración y densidad aparente, son muy altos y superan a los que en la literatura se informan como críticos para el crecimiento de los cultivos. La penetración encontrada en áreas ganaderas (\bar{X} = 62 kg/cm²) fue el doble que en las agrícolas (\bar{X} = 30 kg/cm²); siendo mayor en suelos sobre las tobas de la formación Bagaces y en el Complejo de Nicoya que en

los aluviones de Filadelfia y Bebedero. El suelo más plástico fue el vertisol (I.P. = 46) siendo el menos compactable, el menos plástico fue el suelo derivado de tobas (I.P. = 8,8) siendo a su vez el más compactable.

LITERATURA CITADA

1. ALDERFER, R.B. y ROBINSON, R.R. Runoff from pastures in relation to grazing intensity and soil compaction. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 39: 948-958. 1947.
2. ARNDT, W. y ROSE, W. Traffic compaction of soil and tillage requirements. *Jour. Agric. Eng. Res.* 11(3): 170-182. 1966.
3. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Concepts, terms, definitions and methods of measurement for soil compaction. *Agric. Eng.* 39(3): 173-176. 1958.
4. BAINER, R.; KEPPEL, R. y BARGER, E. Principles of farm machinery. New York, Wiley. 1960. pp 139-196.
5. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. y GARDNER, W. R. Física de suelos. Trad. de la 4a. ed. inglesa por J.M. Rodríguez. México, UTHEA. 1973. 529 p.
6. COHRON, G.T. Forces causing soil compaction. In Barnes K.K. et al, eds. *Compaction of Agricultural soils.* Michigan, Amer. Soc. of Agric. Eng. 1971. pp. 106-124.
7. COOPER, A.W. Effects of tillage on soil compaction. In Barnes K.K. et al, eds. *Compaction of Agricultural Soils.* Michigan, Amer. Soc. of Agric. Eng. 1971. pp. 315-366.

8. DAUBENMIRE, R. Some ecologic consequences of converting forest to savanna in North-western Costa Rica. *Tropical Ecology* 13(1): 31-51. 1972.
9. DAVIDSON, D.T. Penetrometer measurements. In Black C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy Series 9. Amer. Soc. of Agr. Wisconsin.* 1965. pp. 472-482.
10. DORAL-KEMPER, W. y MILLER, D. Management of crusting soils. Some practical possibilities. In Carg, J.W. y Evans, D.D., eds. *Soil Crust. Tucson Agric. Exp. Sta. University of Arizona. Technical Bulletin No. 214.* 1975. pp. 1-6.
11. FERRY, D. y OLSEN, R. Orientation of clay particles as it relates to crusting of soil. *Soil Sci.* 120: 367-375. 1975.
12. FORSYTHE, W. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 1975. 212 p.
13. FORSYTHE, W. y HUERTAS, A. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-R variety. *Turrialba* 29(4): 293-298. 1979.
14. GERARD, C.; MEHTA, H. e HINOJOSA, E. Root growth in a clay soil. *Soil Sci.* 114: 37-49. 1972.
15. GILL, W. y REAVES, C. Compaction patterns of smooth rubber tires. *Agric. Eng.* 37: 677-680. 1956.
16. GONZALEZ, M.A. Curso de Edafología, Manual de Laboratorio. Universidad de Costa Rica. 1978. 85 p.
17. GUPTA, J. y KATHAVATE, Y. Influence of soil compaction on the growth, nutrient uptake and yield of two varieties of rice. II *Riso* 23(4): 373-380. 1974.
18. HARRIS, W. The soil compaction process. In Barnes K.K. *et al*, eds. *Compaction of Agricultural Soils.* Michigan, Amer. Soc. of Agric. Eng. 1971. pp. 9-46.
19. JACOBS, H. y REED, M. Soil laboratory exercise source book. Wisconsin, Amer. Soc. of Agron. 1964. pp. 22-28.
20. JANSSEN B. y VAN DER WEERT, R. The influence of fertilizers, soil organic matter and soil compaction on maize yields on the Surinam "Zanderij" soils. *Plant and Soil* 46: 445-458. 1977.
21. KAR, S. y VARADE, S. Influence of mechanical impedance on rice seedling root growth. *Agron. Jour.* 64: 80-81. 1972.
22. MATHERS, A.C. Effect of radial restriction on lateral growth of the root-shoot axis of young cotton plants. *Agron. Jour.* 59: 379-381. 1967.
23. McINTYRE, D.S. Premeability measurement of soil crust formed by raindrop. *Soil Science* 85: 185-189. 1958.
24. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black C.A., ed. *Methods of soil analysis. Agronomy series 9. Amer. Soc. of Agron. Wisconsin.* 1965. pp. 914-932.
25. REAVES, C. y COOPER, A. Stress distribution in soils under tractor load. *Agric. Eng.* 41 (1): 20-21,31. 1960.
26. SATYANARAYANA, T. y GHILDYAL, B. Influence of soil compaction on nutrient uptake of rice (*Oryza sativa*). *Jour. Indian Soc. Soil Sci.* 18: 113-116. 1970.
27. SHUKLA, L. Soil compaction due to harvest traffic in sugarcane fields on a Lajas Valley Farm of Puerto Rico. *Jour. Agric. Univ. Puerto Rico* 58(3): 279-292. 1974.
28. SHUKLA, L. y RAVALO, E. Compactación del suelo en los campos cañeros a causa de los carros de transporte. *Sugar y Azúcar* 71(8): 50-52. 1976.
29. SOIL SURVEY STAFF. *Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* Washington, D.C. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1975. 754 p.
30. SOWERS, G. Consistency. In Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy series 9. Amer. Soc. of Agron. Wisconsin.* 1965.
31. TAYLOR, H. y BRUCE, R.R. Effects of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States. In *Transactions. 9th. International Congress Soil Science.* Melbourne. Australia. 1968. v. 1. pp. 803-812.
32. TOLEDO, J.M. y MORALES, V.A. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonía Peruana. In Tergas, L.E. y Sánchez, P.A., eds. *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos.* CIAT. 1979. pp. 191-210.
33. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil dynamics in tillage and traction.* Washington. Agriculture Handbook No. 316. 1957. 511 p.