

DIAGNÓSTICO DE LIMITACIONES FÍSICAS EN INCEPTISOLES DE LOS LLANOS OCCIDENTALES VENEZOLANOS

Zenaida Lozano P.¹, Deyanira Lobo L.¹ e Ildefonso Pla S.¹

RESUMEN

La degradación de los suelos se refiere a la reducción de su calidad con relación a la productividad de los cultivos. Su principal efecto es el deterioro de la estructura del suelo, manifestado en problemas de sellado, encostrado, compactación, drenaje deficiente, pobre aireación y erosión. Con el objeto de evaluar algunas propiedades físicas de suelos con problemas de degradación física, se seleccionaron cuatro suelos utilizados en agricultura de secano de los Llanos Occidentales, clasificados como Inceptisoles e identificados como Fanfurria, Guanare, Ospino y Turén. La evaluación de las propiedades físicas, se basó en mediciones simples y directas, tomando en consideración el aspecto dinámico de las propiedades del suelo. Se evaluó en campo y laboratorio: distribución de tamaño de partículas, distribución de agregados estables al humedecimiento, capacidad de aireación, límites de consistencia, densidad aparente, distribución de tamaño de poros, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica saturada, contenidos de humedad, tasa de infiltración y capacidad de campo en las diferentes capas u horizontes definidos en cada suelo. De los resultados se pudo evidenciar que la presencia de un sello superficial y/o de una capa compactada que afecta marcadamente las propiedades relacionadas con la dinámica del agua en el suelo y con la impedancia mecánica.

Palabras clave adicionales: Propiedades físicas, compactación, sellado superficial, encostrado.

ABSTRACT

Diagnostic of physical constraint in Venezuelan Western Plain Inceptisol soils

Soil degradation refers to reduction in soil quality in relation to crop productivity. The main effect of physical degradation is deterioration of soil structure, mainly manifested through problems of compaction, sealing, crusting, poor drainage, poor aeration and erosion. In order to determine the physical constraint in some Western Plain Inceptisol soils, four agricultural soils, identified as Fanfurria, Guanare, Ospino and Turén, were evaluated. Soil physical constraints were evaluated by simple and direct field and laboratory measurements based on comprehensive physical relations, taking into consideration the dynamic aspect of soil physical properties. Particle size distribution, wet aggregate size distribution, air capacity, consistency limits, bulk density, pore size distribution, penetration resistance, hydraulic conductivity, soil moisture, field capacity and water intake rates at different depths, were evaluated. The results clearly showed that in general, the surface sealing and shallow compacted layers had a strong influence on the soil hydraulic properties and on the mechanical impedance.

Additional key words: Physical properties, compaction, surface sealing, soil crust

INTRODUCCIÓN

La naturaleza, extensión y capacidad del recurso tierra varía de una región a otra, pero en general, los suelos con alta capacidad productiva son escasos, lo cual impone la necesidad de usarlos según sus potencialidades y manejarlos de acuerdo a sus limitaciones. Entre las zonas de mayor potencialidad agrícola en Venezuela se encuentran los Llanos Occidentales, con una agricultura de secano fundamentada en el maíz

como cultivo principal. El área que ocupan es de unas 5.300.000 ha, ubicada en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (según Holdridge), localizados en los estados Portuguesa, Barinas y parte de Táchira y Cojedes. Los suelos de los Llanos Occidentales son de origen aluvial, recientes y de una alta fertilidad natural y texturas que dependen de la posición topográfica: suelos de texturas gruesas en los bancos altos y suelos de texturas finas en los bajíos (MARNR, 1986).

Recibido: Junio 10, 1999

Aceptado: Febrero 21, 2000

¹ Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. e-mail: lozano @telcel.net.ve

Los suelos de los Llanos Occidentales han sido dedicados por más de 40 años a la producción intensiva de los sistemas maíz-sorgo, maíz-ajonjolí, maíz-girasol, maíz-algodón, arroz y caña de azúcar con una mecanización intensiva, lo cual ha producido una disminución de la materia orgánica de los suelos, causando un deterioro de sus propiedades físicas. Los procesos de degradación generalmente se evidencian con descensos en los niveles de materia orgánica y de actividad biológica, con efectos desfavorables en la estructura del suelo, especialmente en los atributos funcionales de los poros para transmitir y retener agua y para facilitar el desarrollo de raíces. El deterioro de estos atributos se manifiesta en problemas interrelacionados de sellado y encostrado superficial, compactación, limitando el desarrollo de raíces, provocando poca emergencia de plántulas, drenaje deficiente, pobre aireación y sequías frecuentes. La medición de estos procesos degradativos es muy compleja debido a su carácter dinámico y que los parámetros de suelo a considerar van a ser importantes dependiendo de la relación suelo-clima-sistema de cultivo. Sin embargo, es importante identificar la intensidad del proceso, las propiedades del suelo afectadas, sus valores críticos y la tolerancia o susceptibilidad del suelo a la degradación, así como la regenerabilidad del mismo si las condiciones son favorables (Pla, 1995).

La información de suelo disponible en la zona se encuentra a escalas muy pequeñas (aproximadamente 1:250.000), la cual es demasiado general para tomar decisiones de uso y manejo y es muy poco confiable para el establecimiento de un sistema de producción de maíz. En algunas áreas como el sistema de riego Las Majaguas, el sistema de riego del río Guanare, parte del sector Guanare-Masparro, el sistema de riego Santo Domingo y la Colonia Agrícola de Turén, se encuentra información de suelos a mayor grado de detalle (escalas 1:25.000); sin embargo, se presenta poca información sobre las características o limitaciones físicas de los suelos, muy importantes en agricultura de secano, ya que gobiernan el régimen hídrico de los suelos y las posibilidades de penetración de las raíces. Tradicionalmente para el diagnóstico físico se han usado valores de densidad aparente, porosidad y

resistencia a la penetración, los cuales están relacionados con las condiciones de aireación y la resistencia del suelo en el área de exploración de las raíces. Pla (1995) sugiere que el diagnóstico físico debe basarse en la evaluación de los riesgos de formación de sellos, costras o capas compactadas subsuperficiales, limitaciones a la infiltración y flujo de agua en el perfil, riesgos de déficit o excesos de humedad y a las limitaciones a la mecanización. Asimismo, la determinación de la distribución granulométrica permite evaluar estas limitaciones de los suelos (Lozano, 1995). El objetivo de este trabajo es diagnosticar las condiciones físicas limitantes para la producción de maíz en cuatro suelos representativos de los Llanos Occidentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionaron cuatro suelos de los Llanos Occidentales, clasificados como Inceptisoles e identificados como: Fanfurria, en el sistema de riego de los ríos Boconó-Masparro a 10 km de la localidad de Sabaneta; Guanare, localizado en el Sistema de Riego del Río Guanare, a 12 km de la población del mismo nombre; Ospino, a 2 km de la localidad de la Trinidad de Ospino y Turén, en la Colonia Agrícola de Turén. El primero en el estado Barinas y los tres siguientes en el estado Portuguesa. Los suelos se seleccionaron en base a los siguientes criterios: a) que presentasen un rango de propiedades físicas comunes en las áreas sembradas con maíz de secano en los Llanos Occidentales y b) que presentasen condiciones estructurales contrastantes dentro del perfil que produjeran limitaciones de orden físico. Las evaluaciones se realizaron en fincas comerciales con producción de maíz de secano por más de 10 años, en las cuales se usó labranza convencional (6 a 8 pases de rastra de disco) como sistema de preparación de suelos. Se realizaron evaluaciones tanto de campo como de laboratorio, con la finalidad de medir directamente las características del suelo que estaban afectadas por el manejo. Para las evaluaciones a nivel de campo se seleccionó un sitio típico en cada suelo (Pla, 1983), realizando en el mismo una calicata de 1 m de ancho por 1 m de largo por 1,5 m de

profundidad. En dicha calicata se identificaron las diferentes capas u horizontes y sus características físicas contrastantes, ya fuesen naturales o inducidas por el manejo (sello superficial, capas compactadas). Se evaluó por triplicado la penetración de agua desde la superficie del suelo y conductividad hidráulica en cada capa por el método de la inundación con cilindro (Pla, 1992), infiltración a través del sello (Boiffin y Monnier, 1985), densidad aparente por el método de la excavación (Pla, 1983), resistencia a la penetración con un penetrómetro de impacto de punta cónica de 80 mm² de diámetro de base, contenido de humedad por el método gravimétrico al momento de realizar las mediciones de resistencia (Pla, 1983), y capacidad de campo como el contenido de humedad del suelo luego de 48 horas después de saturación (Pla, 1992). Además en cada horizonte se tomaron seis muestras disgregadas y no alteradas para evaluar a nivel de laboratorio: distribución de tamaño de partículas por el método del

hidrómetro, índices de consistencia, distribución de agregados estables al agua por el método de tamizado en húmedo, porosidad total, distribución de tamaño de poros, considerando un radio equivalente de 15 µm como límite entre poros de aireación y de retención de humedad (Pla, 1983) y conductividad hidráulica mínima del sello superficial luego del impacto de gotas de lluvia (Lozano, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el punto de vista de la granulometría, los suelos presentan características semejantes, con contenidos elevados de limo en la mayoría de los horizontes y en la fracción arena, predominan las arenas finas y muy finas (Cuadro 1). Es conocido que una de las características que más afecta las propiedades físicas de los suelos es su distribución de tamaño de partículas.

Cuadro 1. Distribución de tamaño de partículas y clase textural de los suelos evaluados.

Suelo	Profundidad (cm)	Tamaño de Partículas (µm)					Clase Textural
		<2	2-50	50-100 (%)	100-250	250-2000	
Fanfurria	0 – 12	9,0	48,0	23,5	14,5	5,0	F
	12 – 22	10,0	48,0	22,5	13,5	6,0	F
	22 – 40	9,0	60,0	21,0	8,0	2,0	FL
	40 – 60	8,0	54,0	17,5	16,0	4,0	FL
	60 – 70	5,5	61,0	15,5	15,0	3,0	FL
Guanare	0 – 15	15,0	29,0	38,0	8,0	10,0	Fa
	15 – 30	18,0	29,0	37,0	8,0	8,0	Fa
	30 – 40	19,0	33,0	38,0	6,0	4,0	F
	40 – 52	18,0	34,0	40,0	5,0	3,0	F
Ospino	0 – 10	15,5	38,5	30,0	14,0	2,0	F
	10 – 20	23,0	39,0	21,0	9,5	7,5	F
	20 – 30	23,0	37,5	27,0	9,5	3,0	F
	30 – 40	17,0	42,0	29,0	9,0	3,0	F
	40 – 70	12,0	35,0	33,0	6,0	14,0	Fa
Turén	0 – 10	23,0	53,0	20,0	3,0	1,0	FL
	10 – 27	20,0	54,0	21,5	3,5	1,0	FL
	27 – 42	30,0	44,0	21,0	4,0	1,0	FA
	42 – 65	30,0	39,5	23,5	5,0	2,0	FA

Las partículas de limo y arena, las cuales representan más del 70 % en estos suelos, producen baja cohesión lo que resulta en agregados de alta separabilidad (Pla, 1988). Con relación a los contenidos de arcilla, los mayores valores se presentan en el suelo Turén (20 a 30 %)

y los menores en el suelo Fanfurria (5,5 a 10 %); además, se aprecia un aumento del contenido de arcilla a los 10 a 30 cm de profundidad en el suelo Ospino y por debajo de los 27 cm en el suelo Turén. También es importante destacar los bajos contenidos de partículas de diámetros

mayores de 250 μm (en su mayoría menos del 8%) en todos los suelos.

Riesgo de compactación superficial y subsuperficial: En el Cuadro 2 se presentan los valores de densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación y resistencia a la penetración de cada una de las capas del perfil en los suelos evaluados. Si se comparan los valores de densidad aparente con los límites críticos

señalados por Delgado (1989) para maíz en suelos de los Llanos Occidentales, se observa que en los suelos Fanfurria y Turén se presentan valores que superan estos límites a partir de la segunda capa de suelo. En el suelo Guanare no se presentan valores limitantes a ninguna profundidad, mientras que en el suelo Ospino están por encima de los valores críticos, acercándose incluso a valores limitantes a medida que se profundiza en el perfil.

Cuadro 2. Características de los suelos relacionadas con el grado de compactación

	Profundidad d (cm)	Densidad Aparente (Mg.m^{-3})	Porosidad total (% v/v)	Porosidad de aireación (% v/v)	Contenido de humedad (% v/v)		Resistencia a la penetración (kPa)	
					1	2	1	2
Fanfurria	0 – 12	1,16	52,2	10,6	34,34	13,80	284	3730
	12 – 22	1,54	40,0	8,1	35,57	14,01	929	6547
	22 – 40	1,57	37,5	13,5	33,76	9,58	1255	5789
	40 – 60	1,32	44,6	12,1	24,82	8,32	934	4076
	60 – 70	1,42	45,1	12,6	26,70	8,95	934	4076
Guanare	0 – 15	1,27	54,6	14,8	32,77	11,18	392	2874
	15 – 30	1,39	45,0	7,6	30,44	16,96	1121	6554
	30 – 40	1,48	44,6	7,3	31,38	15,69	935	7091
	40 – 52	1,52	44,4	6,9	31,92	15,20	934	7474
Ospino	0 – 10	1,59	41,2	6,4	40,86	19,24	170	1099
	10 – 20	1,60	41,5	4,3	35,68	19,68	934	3864
	20 – 30	1,75	38,4	3,7	37,98	21,35	807	3949
	30 – 40	1,80	37,0	5,1	35,82	19,44	849	3822
	40 – 70	1,80	36,8	6,1	32,58	16,02	849	3397
Turén	0 – 10	1,55	52,2	9,2	51,62	10,85	57	2123
	10 – 27	1,60	51,6	6,7	47,68	16,48	871	4174
	27 – 42	1,54	45,0	5,8	40,81	21,41	764	3598
	42 – 65	1,71	43,4	7,7	41,90	27,53	849	2802

1) Contenido de humedad cercano a Capacidad de Campo.

2) Contenido de humedad cercano a Punto de Marchitez Permanente.

La mayoría de los valores de porosidad total están dentro del rango reportado por Florentino (1997) como adecuados para el grupo textural en cada uno de los suelos; sin embargo, los de porosidad de aireación están por debajo del límite del 10 % considerado por Pla (1983) como adecuado para agricultura de secano, con excepción de las capas superficiales de los suelos Guanare y Fanfurria y las capas por debajo de 22 cm en el suelo Fanfurria. En este sentido, Dexter (1986) y Taylor y Brar (1991) indican que más que la comparación de características del suelo con valores críticos, puede tener mayor significado la presencia de

cambios bruscos de las mismas en el perfil, tal es el caso de los suelos Guanare y Fanfurria donde se produce un incremento en la densidad aparente y una disminución en la porosidad de aireación en el horizonte o capa subsuperficial. Estas capas más densas en ambos suelos tienen una distribución de tamaño de partículas similar a la de la capa precedente, lo que indica que esta compactación es de origen estructural, posiblemente por el uso excesivo de labranza o algún mecanismo de densificación natural debido a la alternancia de procesos de humedecimiento y secado.

Otro indicador secundario de compactación es la resistencia a la penetración (RP), la cual está

afectada por características tales como densidad aparente, distribución de tamaño de partículas y contenido de humedad (Florentino, 1989; Panayiotopoulos et al., 1994; Pla, 1995). En los suelos evaluados los valores fluctúan entre 57 y 1.255 kPa cuando los suelos se encuentran a un contenido de humedad cercano a Capacidad de Campo (Cuadro 2), siendo en todos los casos menores que los valores de 3.000 kPa reportados por Dexter (1986) como limitantes para monocotiledóneas, mientras que a contenidos de humedad cercanos al Punto de Marchitez Permanente los valores de RP están por encima de dicho valor, con excepción de los horizontes superficiales de los suelos Guanare, Ospino y Turén. Al analizar la RP de los suelos a diferentes profundidades se pudo apreciar una relación con otras características del suelo como la densidad aparente en el suelo Guanare (Figura 1a), el contenido de arcilla en el suelo Ospino (Figura 1b) y el contenido de humedad en el suelo Turén (Figura 1c).

Limitaciones a la penetración y flujo de agua en el perfil del suelo: La penetración y movimiento del agua es influenciada por la estabilidad de los agregados superficiales de los suelos al humedecimiento y puede ser evaluada por la conductividad hidráulica resultante luego de que el suelo es sometido al impacto de gotas de lluvia (Cuadro 3), la infiltración básica del perfil y la conductividad hidráulica de cada una de las capas u horizontes considerados dentro de cada suelo (Figuras 2 y 3). Como se aprecia en el Cuadro 3, en todos los suelos la proporción de agregados estables al humedecimiento de diámetros mayores de 0,8 mm es menos de 13 % y el mayor contenido de agregados (más del 68 %) es de diámetro menor de 0,4 mm, lo que indica una baja estabilidad estructural y la posibilidad de formación de sellos superficiales. Por su parte, la conductividad hidráulica del sello superficial, luego del impacto de gotas, es lenta en todos los suelos según los valores señalados por Florentino (1997).

Cuadro 3. Estabilidad de los agregados de los suelos al humedecimiento y al impacto de gotas de lluvia

Suelo	Agregados estables (% p/p)			Ksat del sello superficial (mm.h ⁻¹)
	> 0,8 mm	0,8 - 0,4 mm	< 0,4 mm	
Fanfurria	12,91	18,55	68,54	4,4
Guanare	1,98	7,30	90,72	2,9
Ospino	5,87	17,23	76,90	1,7
Turen	6,47	9,56	83,97	2,5

Ksat = Conductividad hidráulica saturada

Esta baja estabilidad, tanto al humedecimiento como al impacto de las gotas de lluvia, puede estar relacionada con la distribución del tamaño de partículas con altos contenidos de limo y arenas finas y muy finas y a la presencia de arcillas de baja actividad, las cuales no pueden mantener unidos los agregados ni ante el humedecimiento ni al impacto de gotas (Pla, 1988). Con relación al movimiento de agua dentro del perfil, en algunos casos está limitado por la conductividad hidráulica de un sello superficial formado, como en el suelo Turén (Figura 2b) y en el resto de los suelos es limitado por la

conductividad hidráulica de una capa subsuperficial ubicada entre los 10 a 30 cm en Fanfurria (Figura 2a), 15 a 30 cm en Guanare (Figura 3a) y 10 a 20 cm en Ospino (Figura 3b). En los suelos Guanare y Fanfurria esta capa posee una densidad aparente mayor que la capa precedente, mientras que en el suelo Ospino la capa limitante del flujo de agua posee un mayor contenido de arcilla. Estos resultados coinciden con lo reportado por Pla y Nacci (1986) quienes indican que la estratificación y la presencia del sello superficial afectan marcadamente el balance del agua en el perfil del suelo.

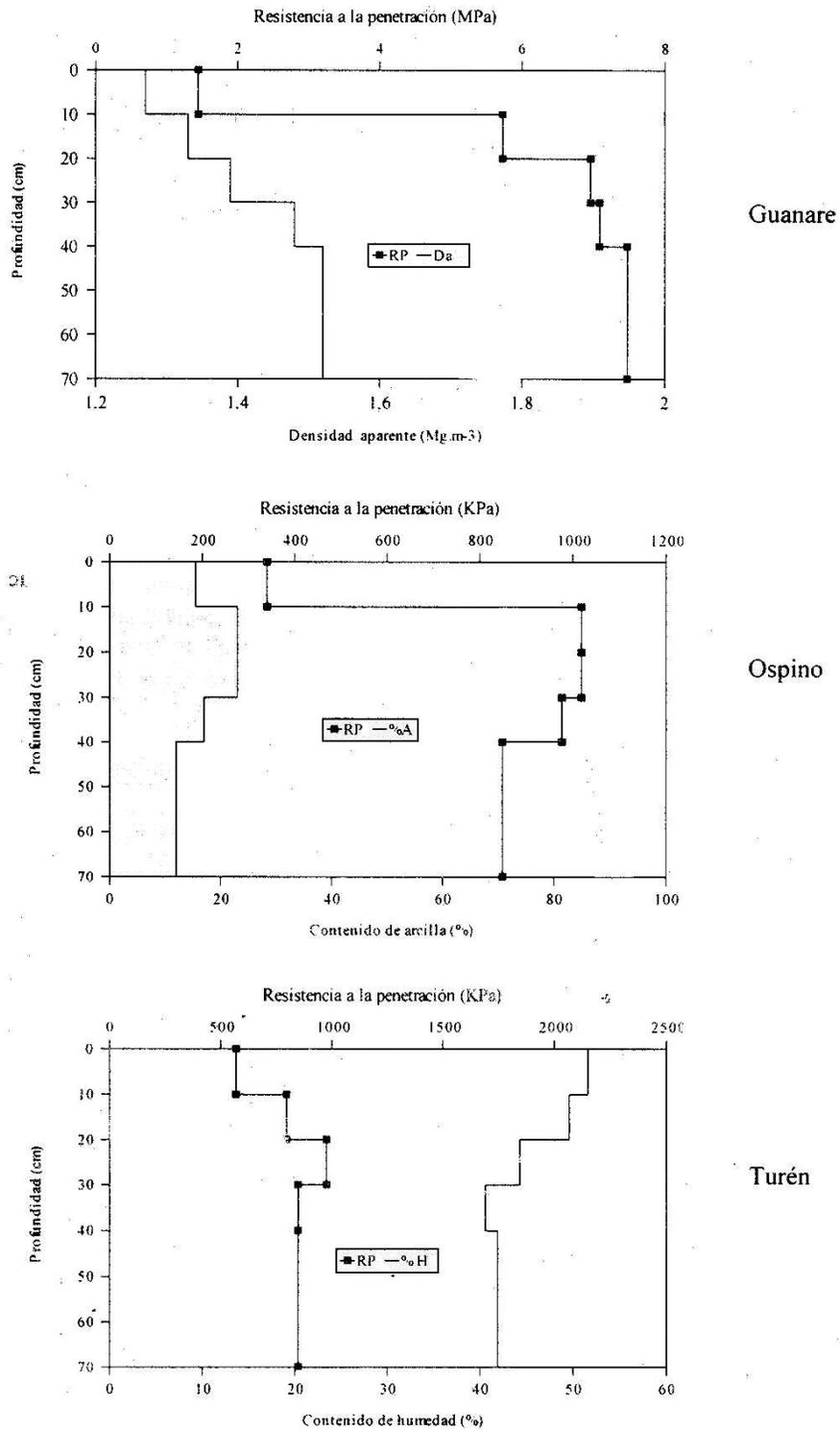


Figura 1. Relación de la resistencia a la penetración con la densidad aparente, el contenido de arcilla y el contenido de humedad en los suelos a) Guanare, b) Ospino y c) Turén.

Riesgo de déficit o exceso de humedad: En el Cuadro 4 se aprecia que cuando se limita el movimiento de agua en el perfil disminuyen las condiciones de aireación, lo que se evidencia a través del índice capacidad de aireación (proporción de poros llenos de aire cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo). Los

valores más bajos del índice (menos de 10 %) se presentan en los suelos Ospino y Turén en la capa de 0 a 10 cm y en Fanfurria de 12 a 22 cm, lo que indica que estos suelos tienen problemas de aireación por exceso de agua, incluso a contenidos de humedad de capacidad de campo.

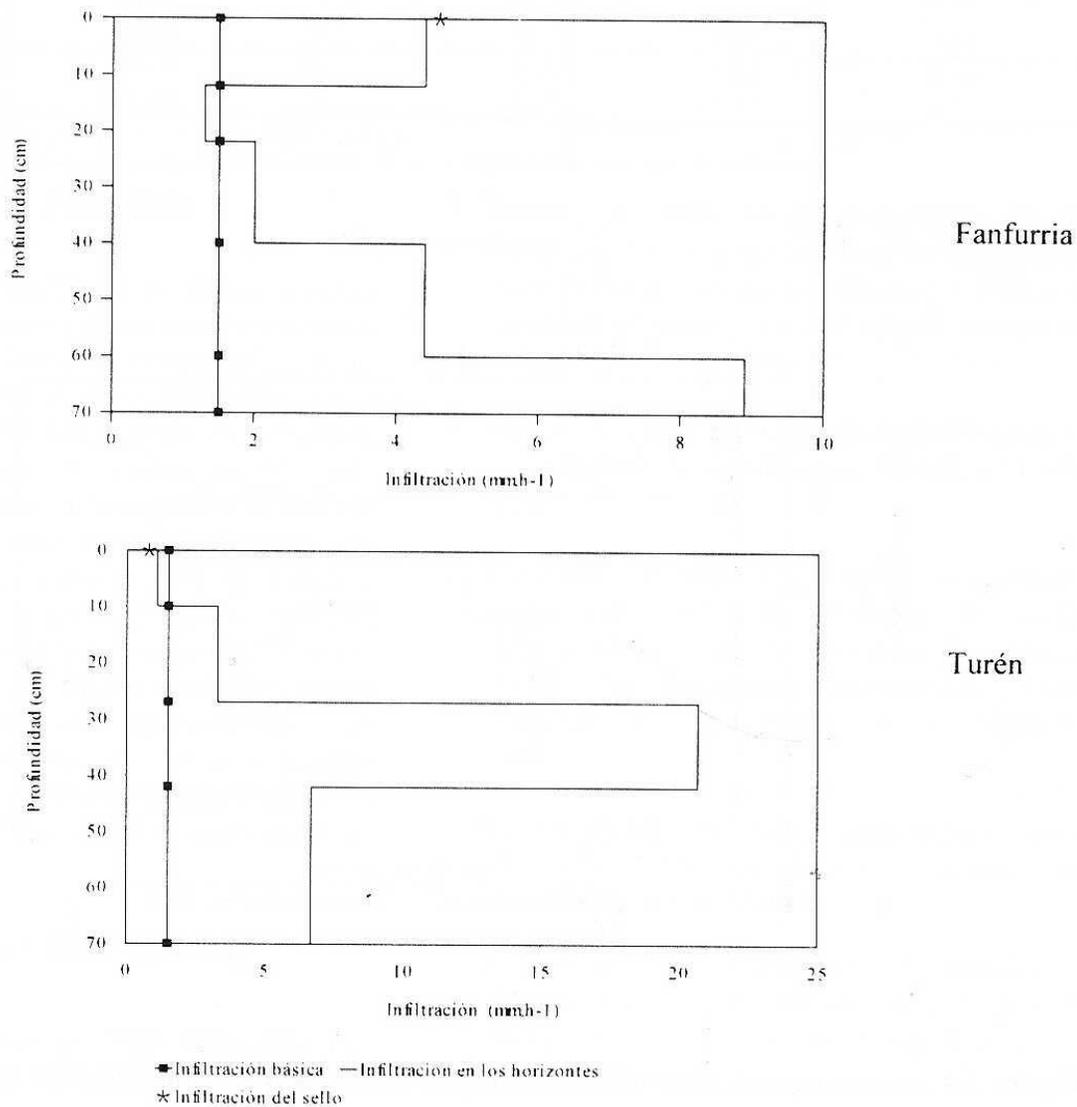


Figura 2. Características de la penetración del agua en los suelos a) Fanfurria y b) Turén.

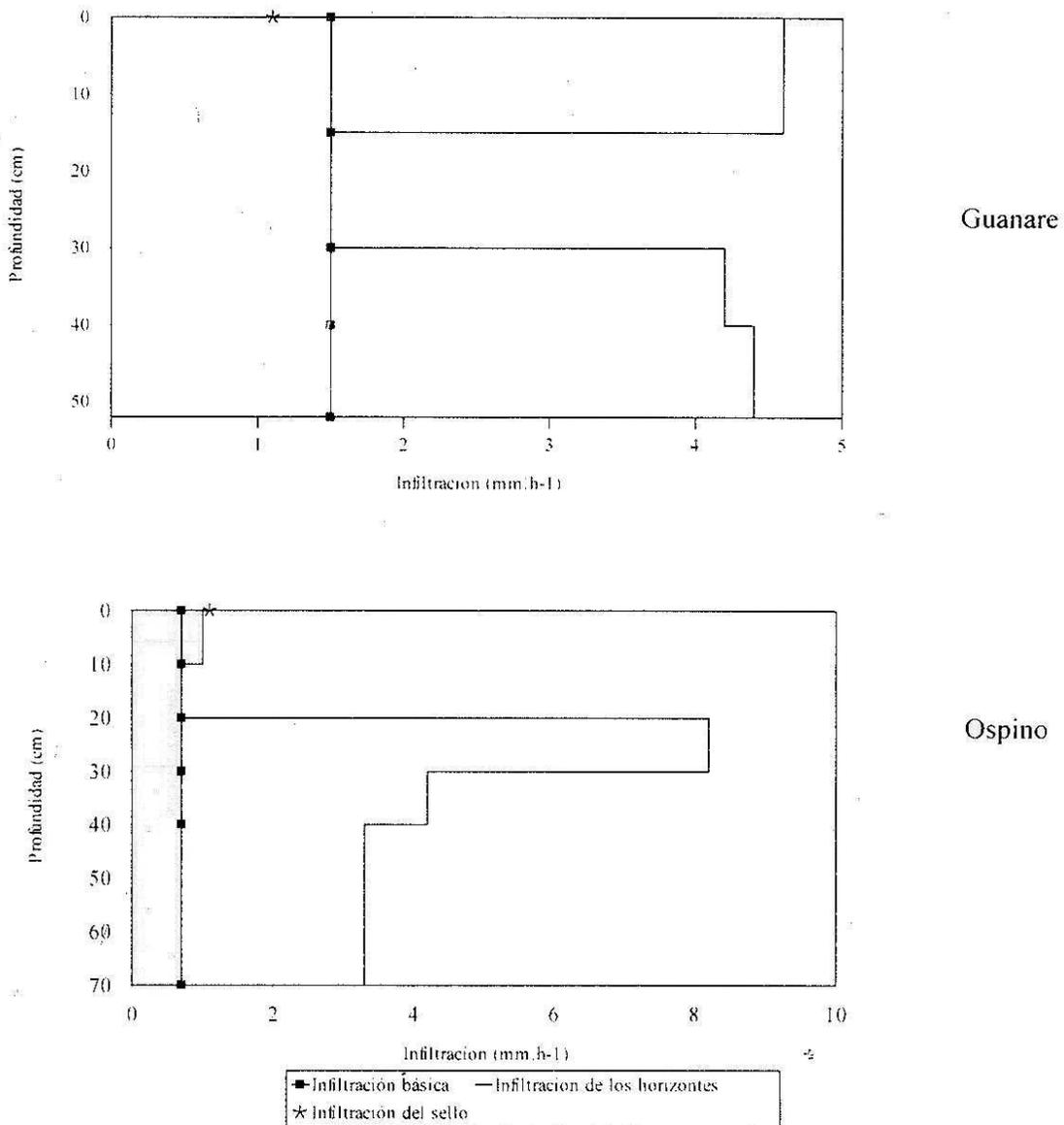


Figura 3. Características de la penetración del agua en los suelos a) Guanare y b) Ospino.

Limitaciones a la mecanización: La diferencia entre los límites de consistencia (límite superior e inferior de plasticidad) define la propiedad del suelo de deformarse ante una presión externa y está estrechamente relacionado con el contenido de arcilla, entre otros. De los suelos evaluados la diferencia entre ambos límites es menor a 10 % en casi todos los casos (Cuadro 4), lo que indica una baja a moderada plasticidad (Pla, 1983). Esto

resulta en una alta trabajabilidad en el suelo Turén y moderada en el resto de los suelos de acuerdo a la clasificación del índice de trabajabilidad propuesto por Boekel y citado por Dexter (1988), considerando la trabajabilidad como la facilidad de realizar las operaciones de labranza; sin embargo, si se labran a un contenido alto humedad, se podrían presentar problemas de compactación.

Cuadro 4. Algunos índices para evaluar las relaciones agua: aire y posibilidades de mecanización de los suelos evaluados.

Suelo	Profundidad (cm)	Capacidad de Campo (%p/p)	Límite Inferior de Plasticidad (% p/p)	Límite Superior de Plasticidad (% p/p)	Capacidad de Aireación (% v/v)	Índice de Trabajabilidad (LIP/CC)
Fanfurria	0 – 12	31,53	21,6	28,0	15,63	0,69
	12 - 22	23,60	23,4	28,0	3,66	0,99
Guanare	0 – 15	26,08	22,0	30,0	21,48	0,84
	15 – 30	21,63	20,9	32,5	14,93	0,97
Ospino	0 – 10	30,03	23,2	26,0	-	0,77
	10 – 20	22,39	23,1	28,2	5,68	1,03
Turén	0 – 10	29,14	29,1	35,3	7,03	1,00
	10 – 27	25,02	29,2	37,0	11,57	1,17

LIP = Límite inferior de plasticidad, CC = Capacidad de campo.

CONCLUSIONES

Las propiedades evaluadas permiten concluir que la principal limitación de los suelos evaluados es la posibilidad de deterioro estructural tanto en forma natural como inducida por el manejo, con la consecuente susceptibilidad a procesos de sellado superficial, encostrado y compactación; esto debido principalmente a su distribución de tamaño de partículas con elevado contenido de partículas de alta separabilidad. Cuando esto se asocia a contenidos de arcilla mayores del 20 %, como en los suelos de Turén, las limitaciones se agravarían.

A pesar de que los suelos evaluados tienen aproximadamente una alta trabajabilidad, las limitaciones a la penetración de agua pueden aumentar los riesgos de compactación cuando los suelos son labrados a muy altos contenidos de humedad.

LITERATURA CITADA

- Boiffin, J. y G. Monnier. 1985. Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. Inter. Symp. Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting (Ed. Callebant, Gabriels y De Boodt). Flanders Research Centre for Soil Erosion and Soil Conservation. Ghent, Bélgica. pp. 210-217.
- Delgado, F. 1989. A productivity index for rainfed agriculture based upon soil physical properties of western plains of Venezuela. Workshop on Soil Physics. ICTP. Trieste, Italia. 18 p.
- Dexter, A. 1986. Model experiment on the behavior of root at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. I. Effects of seed-bed aggregate size and subsoil strength on wheat root. *Plant and Soil* 95: 123 - 133.
- Dexter, A. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research* 11:199-238.
- Florentino, A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén. Su incidencia agronómica. Tesis. Facultad de Agronomía, UCV. Maracay. 207 p.
- Florentino, A. 1997. Guía sobre índices físicos de suelo. Valores críticos. Facultad de Agronomía, UCV. Maracay. 7 p.
- Lozano, Z. 1995. Calibración de métodos de campo para la evaluación de limitaciones físicas. Tesis. Facultad de Agronomía, UCV. Maracay. 151 p
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1986. Inventario nacional de tierras de los Llanos Occidentales. División de Información e Investigación del Ambiente. Programa Inventario Nacional de Tierras. Caracas. 105 p.
- Panayiotopoulos, K., C. Papadopoulou y A. Hatjiionnidou. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize

- seedling. *Soil and Tillage Research* 31: 323-337.
10. Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance* N° 32. 91 p.
11. Pla, I. y S. Nacci. 1986. Effects of layering, sealing and wetting methods on water dynamics in two agricultural soils of Venezuela. *Trans. 13° International Congress of Soil Science. Vol II. Hamburgo. Alemania.* pp. 134-135.
12. Pla, I. 1988. Desarrollo de índices y modelos para el diagnóstico y prevención de la degradación de suelos agrícolas de Venezuela. *Premio Agropecuario. Banco Consolidado.* 59 p.
13. Pla, I. 1992. Evaluación de propiedades físicas del suelo con fines de diagnóstico. Bases, uso y aplicación de metodologías sencillas para la evaluación y modelaje de procesos físicos de suelo. *Facultad de Agronomía, UCV. Maracay.* 19 p.
14. Pla, I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. *Memorias de II Reunión Bianual de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Guanare - Acarigua.* 1993. pp. 42 - 51.
15. Taylor, H. y G. Brar. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research* 19(2-3):111-119.