

---

# LIMITACIONES FÍSICAS PARA LA PENETRACIÓN DE RAÍCES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) Y SORGO (*Sorghum bicolor* L.) EN CUATRO SUELOS DE VENEZUELA

*Physical constraints to roots growth of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) crops in Venezuelan soils*

Deyanira Lobo, Zenaida Lozano e Ildefonso Pla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UCV- Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología – Maracay. Venezuela. Apartado 4579.

---

## Resumen

Las propiedades físicas de los suelos condicionan el desarrollo y la penetración de las raíces de los cultivos. Con el propósito de diagnosticar las limitaciones físicas para la penetración de raíces de los cultivos maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en suelos de los llanos venezolanos, se realizaron evaluaciones en cuatro suelos, identificados como: Barinas y Chaguaramas, ubicados en los Llanos de Barinas y Llanos ondulados del estado Guárico, respectivamente; clasificados como Alfisoles y Guanare y Turén, ubicados en los Llanos Altos Occidentales de Portuguesa, clasificados como Inceptisoles. A nivel de campo se realizaron determinaciones de densidad aparente, resistencia a la penetración, contenido de humedad y patrón de distribución de las raíces de maíz (en los Inceptisoles) y de sorgo (en los Alfisoles). A nivel de laboratorio se determinaron: Distribución de tamaño de partículas, distribución de tamaños de poros, conductividad hidráulica saturada e índice de sellado absoluto. Los resultados obtenidos permiten establecer que el desarrollo de raíces de maíz y sorgo está altamente relacionado con las propiedades de resistencia a la penetración, densidad aparente y distribución de tamaño de partículas, dependiendo del tipo de suelo.

**Palabras Claves:** Alfisoles, Inceptisoles, resistencia a la penetración, maíz, sorgo.

---

## Abstract

Physical properties of soils influence root development and penetration. Evaluations of the physical constraints for root expansion and penetration of corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) were conducted on four different soils of the Venezuelan plains. The soils were identified as Guanare and Turén (Inceptisols), located in the western high plains of Portuguesa states, and Barinas and Chaguaramas (Alfisols), located in the Plains of Barinas and Guárico states, respectively. The following soil properties were determined at laboratory: distribution of particle sizes, distribution of pore sizes, hydraulic conductivity and absolute sealed index. On the other hand, bulk density, resistance to penetrometer, moisture content, and roots distribution of corn (in the Inceptisols) and sorghum (in the Alfisols) were measured in field. The results demonstrate that the root growth parameters of corn and sorghum are highly related to bulk density, penetrometer resistance and distribution of particle sizes, depending on the soil type.

**Key Words:** Alfisols, Inceptisols, penetration resistance, corn, sorghum

---

## INTRODUCCIÓN

Los suelos de los llanos venezolanos, en las últimas décadas, han sido sometidos a una agricultura básicamente con cultivos intensivos de secano, altamente mecanizados, sin medidas de conservación de suelos, lo que ha traído como consecuencia el deterioro progresivo de sus cualidades físicas, químicas y biológicas. En estos suelos se han identificado, tanto cualitativa como cuantitativamente algunos procesos de degradación, siendo los de degradación física los que han sido objeto de mayor investigación (Pla, 1980; Florentino 1989). Dentro de los procesos de degradación física, en Venezuela se han reportado problemas de sellado y encostramiento, compactación

y erosión acelerada (Pla, 1978; Florentino, 1989; Pla, 1995); siendo los dos últimos, los procesos que a nivel mundial se señalan como de mayor importancia económica (Lal, 1989).

La compactación de los suelos puede ser de origen natural o inducida por las prácticas de uso y manejo (Robertson y Erickson, 1978), cuyos efectos sobre la producción de cultivos pueden ser directos o indirectos. Glinski y Lipiec (1990), Pla y Nacci (1986) Nacci y Pla (1991) mencionan como consecuencias de la compactación, la disminución en la tasa de infiltración, la conductividad hidráulica saturada, la disponibilidad de agua aprovechable para las plantas, la capacidad de aireación y la tasa de difusión de oxígeno, e incrementos en la

resistencia a la penetración, cohesión y dureza de la costra de los agregados del suelo. Además de tales efectos, indirectamente la compactación puede afectar muchos procesos químicos y biológicos en el suelo (Pla, 1990, Panayiotopoulos *et al.*, 1994). El crecimiento y desarrollo de raíces depende de las condiciones físicas y químicas del suelo. Cuando los suelos presentan capas compactadas la forma y dirección de crecimiento de las mismas puede cambiar, así mismo las propiedades de movimiento y retención de agua se ven afectadas. En muchas investigaciones el efecto de la compactación sobre el crecimiento y desarrollo de raíces han sido relacionados con la resistencia al penetrómetro. Dexter (1986) indica un valor crítico de 4 MPa para el desarrollo de raíces de monocotiledóneas, por su parte Ehlers *et al* (1983) señalan que valores por encima de 2 MPa podrían impedir severamente el crecimiento de raíces de avena. López y Arrue (1997) también indican este valor como limitante para el crecimiento de la cebada. En relación a las variables de crecimiento radical, Vepraskas *et al* (1986) encontraron una alta relación entre la tasa de elongación, el porcentaje de penetración y la concentración de raíces en la medida que se incrementó la resistencia mecánica desde valores de cero hasta 3,2 MPa, indicando como valor crítico para el desarrollo de raíces, un índice de cono de 2,8 MPa. Sin embargo la complejidad en la que la compactación afecta las propiedades físicas hace que la respuesta de las raíces sea muy variable y difícil de predecir con simples mediciones físicas.

Los valores de densidad aparente se han utilizado como indicadores del estado estructural del suelo y su tendencia a la compactación. Delgado (1989) señala para suelos de los Llanos Occidentales de Venezuela bajo cultivo de maíz, valores de densidad aparente no limitantes, críticos y limitantes, de acuerdo a la clase textural de las diferentes capas de suelo. Para suelos de texturas finas y medias los valores no limitantes estarían por debajo de 1,3 Mg.m<sup>-3</sup>, con un valor crítico de 1,4 m<sup>-3</sup>, por encima del cual comienza a ser limitante. Para suelos de texturas medias los valores críticos se encontrarían entre 1,3 y 1,55 m<sup>-3</sup>, mientras que en suelos de textura gruesa el rango entre valores no limitantes y críticos es más amplio, entre 1,3 y 1,8 m<sup>-3</sup>, a partir del cual comienza a ser limitante para el desarrollo de las raíces de los cultivos. Otra propiedad del suelo que generalmente es afectada por la compactación es la porosidad, particularmente la relacionada con la capacidad de aireación, señalándose como valores limitantes para la mayoría de los cultivos, aquellos menores a 10 % del volumen del suelo (Pla, 1983; Dexter, 1988). Para evaluar las limitaciones físicas para la penetración de raíces se han probado una serie de metodologías no estandarizadas (Pla, 1990; Lozano, 1995). El presente trabajo se realizó con el propósito de diagnosticar las limitaciones físicas del suelo para el desarrollo de raíces de los cultivos de maíz y sorgo en suelos de importancia agrícola de los Llanos venezolanos utilizando metodologías sencillas de laboratorio y campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos seleccionados, en los Llanos venezolanos, para el presente estudio fueron los siguientes:

**Barinas:** Alfisol localizado en el Campo Experimental del Colegio Salesiano de Agricultura en el Estado Barinas, de topografía ondulada.

**Chaguaramas:** Alfisol ubicado en la finca Agrícola Chaguaramas, en el estado Guárico, de topografía ondulada.

**Guanare:** Inceptisol ubicado en el Sistema de Riego Río Guanare en el estado Portuguesa, de topografía plana.

**Turén:** Inceptisol ubicado en la Colonia Agrícola de Turén en el estado Portuguesa, de topografía plana.

El trabajo se realizó en fincas dedicadas a la producción comercial de los cultivos sorgo (Barinas y Chaguaramas) y maíz (Guanare y Turén) por más de 10 años con prácticas de labranza tradicionales en las zonas (6 a 8 pases de rastra de disco). Es necesario señalar que el suelo Barinas había sido manejado con arado de vertedera el año previo a las evaluaciones. Para las evaluaciones, en cada suelo se escogieron sitios típicos y en cada uno se identificaron los diferentes horizontes o capas de suelo, que por sus características morfológicas pudieran provocar un comportamiento diferente desde el punto de vista de las condiciones físicas, según lo sugiere Pla (1995). En cada capa se evaluó a nivel de campo: Densidad aparente por el método de la excavación (Pla, 1983), resistencia a la penetración, utilizando un penetrómetro de impacto de punta cónica de 80 mm<sup>2</sup>, como área de la base del cono (Nacci y Pla, 1991), con las respectivas mediciones del contenido de humedad (Método gravimétrico) y el patrón de distribución de raíces en la época de floración, por el método del perfil de pared (Bohn, 1979), con la estimación gráfica de la proporción de raíces en la pared expuesta, tal y como lo describe en detalle Lozano (1995). Esta información fue complementada con determinaciones de laboratorio, las cuales incluyeron en muestras disturbadas: distribución de tamaños de partículas (Pla, 1983) e índice de sellado absoluto, el cual representa la conductividad hidráulica mínima del sello formado por impacto de gotas (Nacci y Pla, 1991) y en muestras no alteradas: distribución de tamaños de poros y conductividad hidráulica saturada (Pla, 1983).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se presenta la distribución del tamaño de partículas de cada una de las capas identificadas en los suelos evaluados, la cual se ha señalado que influye marcadamente en el comportamiento físico de los mismos (Pla, 1995). En el suelo Barinas hay un predominio de las partículas de arenas y dentro de éstas, las de arena fina y media (100–500 µm); en el suelo Chaguaramas se aprecia una alta proporción de partículas de limo, arena fina y muy fina. (2–250 µm). En el suelo Guanare aun cuando predominan las partículas de arenas, dentro de éstas hay mayor proporción de partículas de arena fina y muy fina. (50–250 µm), mientras que en el suelo Turén, se observa un predominio en todas las capas de las partículas del

tamaño del limo (2-50  $\mu\text{m}$ ), y dentro de las partículas de arena, predominan las arenas muy finas (50-100  $\mu\text{m}$ ). El hecho de que exista un predominio de partículas con diámetro equivalente entre 2 y 250  $\mu\text{m}$ , le confiere a estos suelos una baja estabilidad estructural y mayor susceptibilidad a procesos de se-

llado, encostramiento y compactación, por la baja cohesión y alta separabilidad que poseen estas partículas (Pla, 1978), por lo que los suelos evaluados tendrán una alta susceptibilidad natural a procesos de compactación tanto a nivel superficial como subsuperficial.

**Cuadro 1.** Distribución del tamaño de partículas de los suelos evaluados.

Suelo	Profundidad (cm)	Tamaño de partículas ( $\mu\text{m}$ )						
		<2	2-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000
		( % )						
Barinas	0-15	18,0	12,0	21,0	28,0	1,5	3,5	1,0
	15-35	15,0	10,5	19,5	25,0	22,0	6,5	1,5
	35-55	24,0	12,0	22,0	24,0	13,5	3,5	1,0
	55-70	27,0	14,5	22,0	21,5	11,0	3,0	1,0
Chaguaramas	0-12	14,0	37,5	22,0	19,5	5,0	1,5	0,5
	12-32	20,5	34,5	23,0	15,0	5,0	1,5	0,5
	32-42	23,0	36,0	19,0	15,0	5,0	2,0	0,0
	42-70	37,0	33,0	14,0	10,0	4,0	2,0	0,0
Guanare	0-15	15,0	29,0	38,0	8,0	5,0	3,0	2,0
	15-30	18,0	29,0	37,0	8,0	5,0	2,0	1,0
	30-40	19,0	33,0	38,0	6,0	3,0	1,0	0,0
	40-52	18,0	34,0	40,0	5,0	2,0	1,0	0,0
Turén	0-10	23,0	53,0	20,0	3,0	1,0	0,0	0,0
	10-27	20,0	54,0	21,5	3,5	1,0	0,0	0,0
	27-42	30,0	44,0	21,0	4,0	1,0	0,0	0,0
	42-65	30,0	39,5	23,5	5,0	2,0	0,0	0,0

En el cuadro 2, se resumen algunos índices estructurales que reflejan el estado de las condiciones físicas del suelo, para el momento de las evaluaciones. En los suelos Guanare y Turén se observa un incremento en la densidad aparente, de la capa superficial a la subsiguiente, con la consecuente disminución en la porosidad total, particularmente en la porosidad de aireación, lo cual revela los efectos de problemas de compactación cerca de la superficie (entre los 10 a 15 cm de profundidad), derivados probablemente del manejo que se le ha dado a estos suelos, especialmente la labranza. En el suelo Chaguaramas también se aprecia un incremento en la densidad aparente, por encima de los valores críticos reportados por Delgado (1989), aun cuando se produce un incremento en la porosidad total, debido posiblemente al incremento del contenido de arcilla, pero se presenta una proporción bastante baja en la porosidad de aireación (poros de radio equivalente mayor de 15  $\mu\text{m}$ ). En el suelo Barinas se presentan mayores valores de densidad aparente y de porosidad total en el horizonte superficial, debido probablemente a la inversión de horizontes, producto de la labranza con arado de vertedera el año previo a las evaluaciones. Con relación a la conductividad hidráulica saturada, en el suelos Chaguaramas, Guanare y Turén se presentan valores menores de  $13,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (limitante para agricultura de secano), especialmente a nivel subsuperficial, lo que limita el movimiento de agua en el suelo. Así mismo los valores de índice de sellado absoluto (ISA) resultaron ser limitantes para la penetración de agua en el suelo, según lo indicado por Lozano (1995), lo que en consecuencia conduciría a problemas de

aguachinamiento, en los suelos con topografía plana (Guanare y Turén) y escorrentía en los suelos con topografía ondulada (Chaguaramas).

En el suelo Barinas se presentan valores bajos de conductividad hidráulica saturada en la superficie, sin embargo no presenta valores limitantes frente al impacto de gotas, lo que indica que no se presentarían problemas importantes de pérdida de agua por escurrimiento superficial, ni de erosión por la baja separabilidad y transportabilidad de las partículas predominantes. Las características señaladas, obviamente afectan las propiedades relacionadas con la penetración, movimiento y retención del agua disponible para los cultivos y por tanto pueden afectar la penetración de las raíces de los mismos.

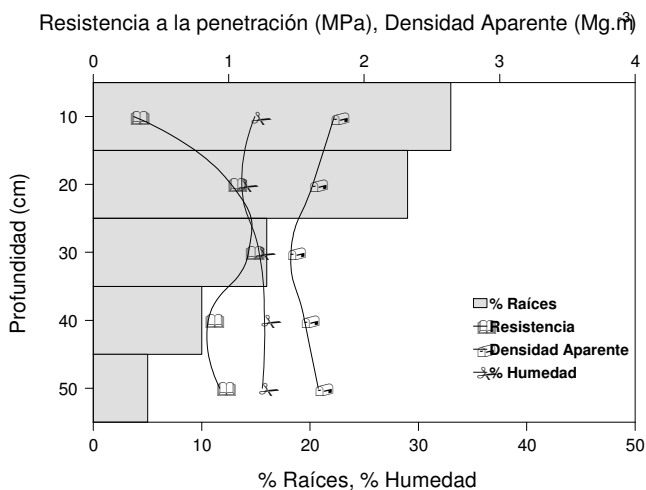
En las figuras 1, 2, 3 y 4, se presenta el patrón de distribución de raíces de maíz y sorgo, la densidad aparente y la resistencia a la penetración al contenido de humedad que presentó cada suelo en época de floración; para los suelos Barinas, Chaguaramas, Guanare y Turén, respectivamente. Como se aprecia en las figuras, en los suelos Chaguaramas y Turén, las raíces se concentran en la primera capa (más del 30 %) y esta concentración superficial de raíces está relacionada en el suelo Chaguaramas con la resistencia a la penetración del suelo ( $r = -0,8434$ ) y la densidad aparente ( $r = -0,9275$ ). En los suelos Barinas y Guanare, la distribución de raíces en el perfil es más uniforme y en Guanare está relacionada con la resistencia a la penetración ( $r = -0,8249$ ) y con la densidad aparente ( $r =$

-0,9740), mientras que en el suelo Barinas se puede relacionar con el contenido de arcilla ( $r = -0,6144$ ).

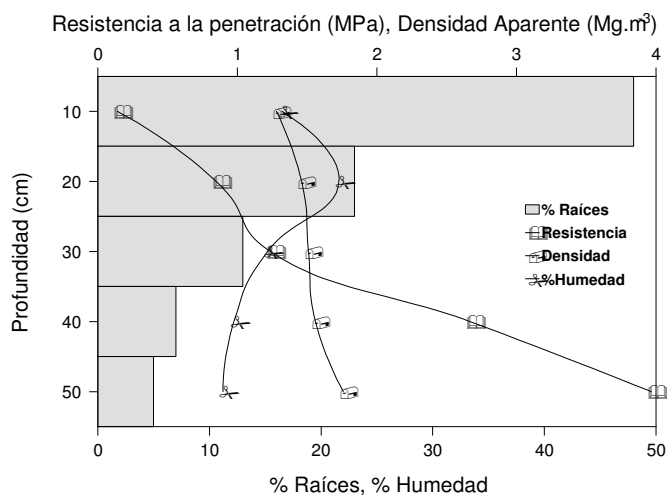
**Cuadro 2.** Índices de condiciones estructurales de los suelos evaluados.

Suelo	Profundidad (cm)	Da (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (Mg <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	Poros con r > 15 μm (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	Conductividad hidráulica saturada (m.s <sup>-1</sup> .10 <sup>-7</sup> )	ISA (m.s <sup>-1</sup> .10 <sup>-7</sup> )
<b>Barinas</b>	0-15	1,78	0,37	0,08	8,33	22,78
	15-35	1,46	0,36	0,10	29,72	
	35-55	1,66	0,33	0,08	4,16	
	55-70	1,48	0,40	0,09	61,66	
<b>Chaguaramas</b>	0-12	1,28	0,33	0,04	1,38	6,94
	12-32	1,51	0,48	0,03	0,03	
	32-42	1,57	0,47	0,08	0,08	
	42-60	1,80	0,49	0,08	0,83	
<b>Guanare</b>	0-15	1,27	0,54	0,15	12,77	8,05
	15-30	1,39	0,45	0,08	2,50	
	30-40	1,48	0,44	0,07	0,27	
	40-52	1,52	0,44	0,07	1,38	
<b>Turén</b>	0-10	1,55	0,52	0,09	3,06	6,94
	10-27	1,60	0,51	0,07	0,83	
	27-42	1,54	0,45	0,06	12,50	
	42-65	1,71	0,43	0,08	1,11	

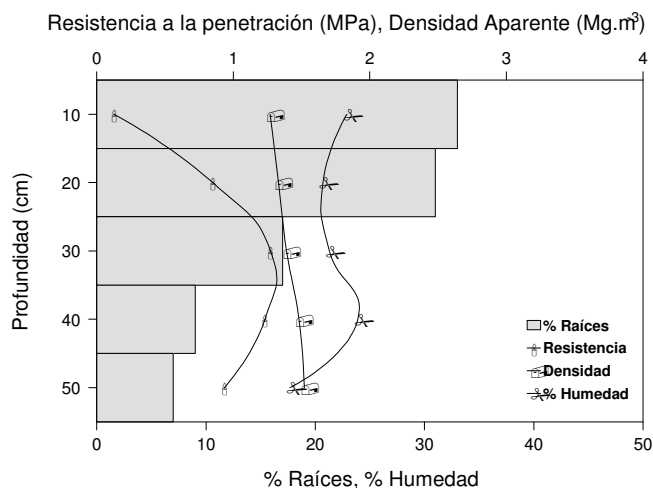
Da: Densidad aparente; ISA: Índice de sellado absoluto.



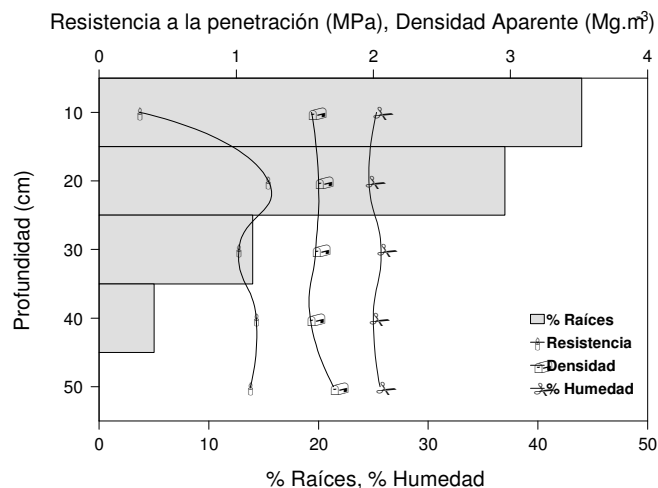
**Figura 1.** Distribución de raíces de sorgo en el suelo Barinas y su relación con las variables resistencia a la penetración, densidad aparente y contenido de humedad.



**Figura 2.** Distribución de raíces de sorgo en el suelo Chaguaramas y su relación con las variables resistencia a la penetración, densidad aparente y contenido de humedad.



**Figura 3.** Distribución de raíces de maíz en el suelo Guanare y su relación con las variables resistencia a la penetración, densidad aparente y contenido de humedad.



**Figura 4.** Distribución de raíces de maíz en el suelo Turén y su relación con las variables resistencia a la penetración, densidad aparente y contenido de humedad.

### CONCLUSIONES

Las características físicas influyen directa e indirectamente en el desarrollo y penetración de las raíces de los cultivos maíz y sorgo en los suelos evaluados. Directamente el aumento en los contenidos de arcilla, la densidad aparente y la resistencia a la penetración, afectan negativamente la penetración de las raíces, e indirectamente a través de la limitación a la penetración y al movimiento del agua en el perfil de los suelos, en épocas críticas del desarrollo de los cultivos. En los Inceptisoles (Guanare y Turén), los incrementos en la resistencia a la penetración parecen estar asociados a los cambios en la estructura del suelo, producto de la baja estabilidad estructural y del manejo intensivo al que han sido sometidos, los cuales se manifiestan en aumentos de los valores de densidad aparente. En los Alfisoles (Barinas y Chaguaramas), estos cambios están más asociados a los cambios texturales, reforzado por el uso intensivo de los suelos.

### AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento por el financiamiento otorgado por el CONICIT, a través de los proyectos S1-2425 y S1 - 2178.

### LITERATURA CITADA

- Bohn, W.** 1979. *Methods of studying root systems*. Springer Verlag, Beclim Heidelberg. New York (USA). pp. 49-53.
- Delgado, F.** 1989. A productivity index for rainfed agriculture based upon soil physical properties of the western plains of Venezuela. *Workshop on Soil Physics*. Trieste, Italia. 18 p.
- Dexter, A.** 1986. Model experiments on behaviour of root at

interface between a tilled seed-bed and compacted subsoil. *Effects of seed bed aggregate size and subsoil strength on wheat root*. *Plant and Soil*. Vol. 95: 123-133.

- Dexter, A.** 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research*. Vol. 11: 199-238.
- Ehlers, W; W. Kopke; E. Hesse y W. Bohm.** 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled an untilled loess soils. *Soil and Tillage Research*. Vol.3: 261-275.
- Florentino, A.** 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén. Su incidencia agronómica. (Tesis de Doctorado). Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. UC -Maracay, Venezuela. 207 p.
- Glinsky J. y J. Lipiec.** 1990. Compaction as a factor of soil degradation. In: *Transactions. of 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science*. Kyoto. Japan Vol. I. pp. 101-106.
- Lal, R; G. Hall y F. Miller.** 1989. *Soil degradation: I Basic. Processes Land Degradation and Rehabilitation*. Vol. I. pp 51-69.
- Lozano, Z.** 1995. Calibración de métodos de campo para la evaluación de limitaciones físicas. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV. 152 p.
- Nacci, S. e I Pla.** 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17. Maracay, Venezuela. 40 p.
- Panayiotopoulos, K; C. Papadopoulou y A. Hatjiionndou.** 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol

and Entisol and their influence on root growth of maize seedling. *Soil and Tillage Reseach*. Vol. 31:323– 337.

**Pla, I.** 1978. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela. (Trabajo de Ascenso) Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, UCV–Maracay. Venezuela. 312 p.

**Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance de la Revista de la Facultad de Agronomía N° 32. Facultad de Agronomía. UCV–Maracay. Venezuela. 91 p.

**Pla, I.** 1990. Methodological problems to evaluate soil physical degradation, Translations of: 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Kyoto (Japón). pp. 96-100.

**Pla, I.** 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. **In:** Memorias de II reunión bienal de la Red Latinoamericana de Labranza

Conservacionista. Guanare–Acarigua. 1993. pp. 42–51.

**Pla, I. y S. Nacci.** 1986. Effects of layering, sealing and wetting methods on water dynamics in two agricultural soils of Venezuela. Translations of 13<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Hamburgo (Alemania). Vol. II. pp. 134–135.

**Taylor, H; M. Huck y B. Klepper.** 1972. Root development in relation to soil physical condition. **In:** Optimizing the soil physical environment toward greater crop yield. Hillel (*ed*). Academic Press. New York (USA ). pp. 57-77.

**Robertson, L y A. Erickson.** 1978. Soil compaction symptoms causes and remedies. *Crop and Soil Magazine*. Vol. 30 (4):11-14.

**Vepraskas, M; R. Sojka y G. Miner.** 1986. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 50: 423-427.