

Relación entre propiedades físicas de un suelo de los llanos centrales y el desarrollo de raíces de maíz (*Zea mays* L.) en sistemas mejorados maíz- ganado*Relationship between soil physic properties and root growth in a soil at the central plains under livestock-maize improved systems***M. Pulido¹; D. Lobo L¹; Z. Lozano P.¹ y R. Hernández².**¹Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. ²Universidad Simón Rodríguez
mansoniapulido@yahoo.com, lodod@agr.ucv.ve, lozanoz@agr.ucv.ve.**RESUMEN**

Las propiedades físicas de los suelos condicionan el desarrollo y la penetración de las raíces de los cultivos. Con el propósito de evaluar el patrón de desarrollo de raíces de maíz (*Zea mays* L.) en sistemas mejorados maíz-ganado y su relación con los cambios en las propiedades físicas de un suelo, se llevó a cabo un experimento en un suelo, clasificado como Entisol y ubicado en la Estación Experimental La Iguana, estado Guárico. El maíz fue sembrado mediante siembra directa sobre tres tipos de cobertura: Vegetación natural (VN), *Urochloa dictyoneura* (Ud) y *Centrosema macrocarpum* (Cm), las cuales se establecieron en el año 1999 y son sometidas a pastoreo de ovinos después de la cosecha del cultivo. En la etapa de floración del cultivo se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas en las diferentes capas de suelo, con el propósito de determinar: distribución del tamaño de partículas, densidad aparente, porosidad total, distribución de tamaño de poros, conductividad hidráulica saturada y cohesión en seco. En la misma época se evaluó el sistema radical del cultivo, determinando: densidad de longitud radical, peso seco de raíces, distribución porcentual de las raíces y profundidad máxima alcanzada. Igualmente se realizaron mediciones de resistencia al penetrómetro y el correspondiente contenido de humedad del suelo. Se establecieron relaciones entre las propiedades físicas del suelo y los atributos de las raíces, lo que permitió establecer que estos se encontraban relacionados con la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada y la porosidad existente en el suelo.

Palabras clave: cultivos de cobertura, *Zea mays* L., sistema radical, propiedades físicas.

ABSTRACT

Soil physical properties influence root growth and penetration. An experiment was carried out in order to evaluate the root development pattern of maize (*Zea mays* L.) in a production systems maize-livestock and its relationship with the changes of the soil physical properties, in an Entisol at the Experimental Station "La Iguana" in Guárico state. Maize was sowed using zero tillage on three kinds of cover: Natural Vegetation (VN), *Urochloa dictyoneura* (Ud) and *Centrosema macrocarpum* (Cm). These covers were established three years ago. They are used to pasture by sheep after the crop harvest. Root development was evaluated in the flowering stage and the following characteristics were measured: length of root density, root dry weight, roots proportion in each horizon, and maximum rooting depth. In the same time penetrometer resistance and water content were measured. In the same stage soil, samples were taken in order to measure: particles size distribution, bulk density, total porosity, pores size distribution, saturated hydraulic conductivity and cohesion. The relationships between soil physical properties and root parameters allowed to conclude that maize root parameters are highly related with bulk density, saturated hydraulic conductivity and porosity.

Key words: cover crops, *Zea mays* L., radical system, soil physical properties.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países latinoamericanos, así como en Venezuela, donde la agricultura es básicamente de secano, uno de los mayores problemas que se presenta es la degradación de los suelos, como consecuencia de factores naturales (Clima), utilización de la tierra en forma intensiva bajo cultivos limpios, expansión de la frontera agrícola hacia áreas con diversas limitaciones, desconocimiento de las características estructurales y propiedades del suelo, así como sus interacciones con el clima y manejo y la aplicación de tecnología desarrolladas para climas templados.

La degradación de suelos se traduce en una disminución de la capacidad productiva del suelo, en consecuencia, es necesario, identificar alternativas tecnológicas que permitan su incremento, con una mayor racionalización de los insumos utilizados. De allí, que el uso de cultivos de coberturas en la agricultura, sea una alternativa viable, debido a su capacidad mejoradora en fertilidad física y química del suelo y como práctica conservacionista (Centeno, 2002).

El sistema de producción maíz – ganado es común en los Llanos Centrales de Venezuela, este sistema altamente mecanizado, en suelos susceptibles a la degradación y con lluvias de alto poder erosivo, junto con la deforestación y la quema, han producido un grave deterioro en las propiedades de los suelos, dando origen a problemas de degradación de suelo reflejado en la disminución de la productividad, conllevando así a una baja sostenibilidad del mismo (Bravo, 1995).

Esta realidad motivó a un grupo de investigadores al planteamiento de un proyecto que se propone abordar de manera integral la problemática y evaluar tecnologías (coberturas pasto y leguminosas) que pudiesen detener y corregir los procesos de degradación, aumentar la oferta forrajera y a su vez que fuesen fácilmente adoptadas por los productores de la zona. Ejecutando así, la siembra directa de maíz sobre coberturas y con pastoreo ovino después de la cosecha en la Estación Experimental “La Iguana”; donde los cambios observados en las propiedades del suelo después de tres años de evaluaciones han llevado a la inquietud de evaluar el patrón de distribución de las raíces del maíz; sabiendo que las coberturas son usadas para aumentar la estabilidad del suelo, incrementar la infiltración del agua, mantener un contenido de materia orgánica adecuado, buena aireación; condiciones que faciliten la penetración de raíces y por ende el mejor establecimiento del cultivo.

Por tales motivos el objetivo central fue evaluar el patrón de desarrollo de raíces de maíz (*Zea mays* L.) en sistemas mejorados maíz-ganado y su relación con los cambios en las propiedades físicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en un suelo clasificado como un Entisol localizado en la Estación Experimental “La Iguana” de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, ubicada en el eje Espino – Santa María Estado Guárico donde, en base a un estudio de variabilidad, las unidades experimentales quedaron definidas por tres parcelas con una superficie de 30 m de ancho x 30 m de largo para un total de 900 m² / parcela. En cada parcela se estableció un tipo de cobertura (Vegetación natural (VN), *Urochloa dictyoneura* (Ud), y *Centrosema macrocarpum* (Cm.), y sobre estas se implantó la siembra de maíz con siembra directa. En cada una de las parcelas, que representan los tratamientos evaluados, se ubicaron los puntos de muestreo alrededor de tres calicatas abiertas transversalmente en las hileras de siembra 5, 15 y 25 del cultivo, lo que permitió cubrir la variabilidad existente en el terreno. Tanto el muestreo de las propiedades físicas del suelo como la evaluación del desarrollo del patrón radical del cultivo se realizaron en la etapa de floración del cultivo de maíz, aproximadamente a los 60 días después de la siembra, ya que esta es la etapa de mayor exploración radical, y después de ella, aún cuando siguen proliferando raíces dentro de la zona radical, no se incrementa apreciablemente la profundidad de las mismas (Lozano, 1995).

Para las evaluaciones en campo, se determinó la resistencia mecánica a la penetración, tomando diez puntos de muestreo cada tres metros en las hileras del cultivo seleccionadas y utilizando un penetrómetro de impacto de punta cónica de 0.8 cm², como área de base del cono (Nací y Pla, 1992), con las respectivas mediciones del contenido de humedad (método gravimétrico); se tomaron muestras no alteradas a profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 y 30-45, con un toma muestra tipo Uhland; las muestras disturbadas se tomaron con ayuda de un palin a las profundidades correspondientes a las capas de suelo descritas en cada calicata; y el patrón de distribución de raíces se determinó por el método del perfil de pared (Bohm, 1983), con la estimación gráfica de la proporción de raíces en la pared expuesta (Lozano, 1995) y la cuantificación de raíces a través de la determinación del peso seco de raíces y la densidad de longitud radical (método de intercepción lineal modificado por Tennant, 1975). En el laboratorio, a partir de las muestras disturbadas tomadas se determinó: distribución del tamaño de partículas, y en muestras no alteradas: densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, distribución de tamaño de poros (Pla, 1983) y cohesión en seco (Nacci y Pla, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se muestran los resultados de la distribución del tamaño de partículas de cada una de las capas identificadas en el suelo evaluado, la cual se ha señalado que influye marcadamente en el comportamiento físico de los suelos (Pla, 1995a). Se observa que bajo todos los tratamientos se presenta en el suelo un predominio de las partículas de arena y dentro de éstas, las arenas finas y muy finas (50-250 µm); y a su vez un bajo contenido de partículas de arcilla para todas las profundidades de muestreo. El hecho de que exista una proporción alta (>75%) de las partículas con diámetro equivalente entre 2-250 µm le confiere a estos suelos baja estabilidad estructural y mayor separabilidad y por ende una mayor susceptibilidad a procesos de sellado, encostrado y compactación, por la baja cohesión y alta separabilidad que poseen estas partículas (Pla, 1978).

Cuadro 1. Distribución del tamaño de partículas.

Tratamiento	Prof. (cm)	Tamaño de partículas (µm)						
		<2	2-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000
Centrosema macrocarpum	0-19	6	7	61	14	10	2	0
	19-52	10	5	59	14	10	2	0
	> 52	14	7	56	12	9	2	0
Urochloa dyctioneura	0-35	6,5	5,5	61	14	10	2	0
	35-50	7	5	62	13	11	2	0
	> 50	10	4	59	14	11	2	0
Vegetación Natural	0-17	6	7	60	12	13	2	0
	17-51	7	7	60	12	12	2	0
	> 51	8	7	59	12	12	2	0

Los índices estructurales que reflejan el estado de las condiciones físicas del suelo, para el momento de las evaluaciones se presentan en el cuadro 2. En la densidad aparente se aprecia que la tendencia general del suelo bajo los tres tratamientos es a presentar menores valores en la capa superficial, y un aumento en las capas subyacentes del suelo; con la consecuente disminución de la porosidad total, aunque menos evidente en la porosidad de aireación.

En los resultados obtenidos en esta evaluación al ser comparados con la densidad aparente inicial del suelo (1,63, 1,75 y 1,77 Mg.m⁻³) para una profundidad de 0-5, 5-15 y 15-30 cm de profundidad, respectivamente (Bravo *et al.* 1999) se aprecia una disminución de dicha variable. Esto posiblemente se deba a la presencia de las raíces de las distintas coberturas que permitieron un aumento de la porosidad del suelo lo cual genera valores más bajos de densidad aparente.

Con relación a la conductividad hidráulica saturada, se evidencia una disminución de esta con la profundidad, coincidiendo a la vez con el aumento de la densidad aparente en las mismas capas, aun cuando la disminución con la profundidad en la porosidad con $r > 15 \mu\text{m}$ no es tan evidente; por otra parte los valores de K_{sat} son mayores que 5 mm.h⁻¹ (limitante para agricultura de secano), esto hace presumir que no existen problemas para que el agua se pueda mover sin dificultad a través del perfil de suelo. Así mismo, los valores de cohesión en seco estuvieron por debajo del valor crítico de 300 kPa sugerido por Pla (1983) como limitante para el desarrollo de las raíces. En cuanto a la resistencia mecánica a la penetración, se aprecia que a medida que se profundiza se incrementa la resistencia mecánica del suelo, independientemente del tratamiento de cobertura, lo cual se corresponde a los cambios de densidad aparente y al aumento de los contenidos de arcilla. Estos valores de resistencia a la penetración no son altos al compararlos con el límite crítico de 3MPa a partir del cual se puede restringir el crecimiento de las raíces del cultivo de maíz (Pla, 1995b) a pesar de los bajos contenidos de humedad.

Cuadro 2. Índices estructurales.

Tratamiento	Prof.	Densidad aparente	Porosidad Total	Porosidad con $r > 15 \mu\text{m}$	Conductividad hidráulica saturada	Cohesión en Seco	Resistencia mecánica a la penetración	Humedad del suelo
	(cm)	(Mg.m ⁻³)	(%)	(%)	(cm.h ⁻¹)	(kPa)	(kPa)	(%)
<i>Centrosema macrocarpum</i>	0-5	1,52	39,3	18,3	8,7	26,5	41,6	8,57
	5-15	1,63	35,6	16,2	8,3	29,5	796,4	7,55
	15-30	1,62	34,2	15,5	7,0	26,8	859,1	7,47
	30-45	1,64	33,8	13,1	5,3	27,9	926,7	8,0
<i>Urochloa dictioneura</i>	0-5	1,52	40,7	21,4	10,6	33,2	19,0	7,53
	5-15	1,64	36,2	18,5	12,0	97,0	434,4	7,29
	15-30	1,61	34,9	18,5	5,4	48,4	791,5	6,82
	30-45	1,62	33,2	19,7	5,4	42,4	685,4	6,69
Vegetación Natural	0-5	1,51	42,3	24,3	11,2	30,1	41,6	7,47
	5-15	1,63	36,5	22,7	7,7	25,7	810,8	7,97
	15-30	1,67	34,2	20,0	7,0	28,4	675,7	7,69
	30-45	1,68	34,0	20,0	6,0	32,5	743,3	6,59

En el cuadro 3, se presentan los atributos relacionados con el patrón de desarrollo de las raíces de maíz en el suelo evaluado, bajo los diferentes tipos de cobertura: peso seco de las raíces (mg.m⁻³), densidad de longitud de raíces (cm.cm⁻³), área ocupada por las raíces (%), y profundidad máxima alcanzada por las raíces (cm). Se aprecia que el peso seco de raíces y la densidad de longitud siguen la misma tendencia a disminuir su valor con la profundidad; en la distribución porcentual se observa que el mayor porcentaje de raíces se encuentra desde 0-20 cm, aproximadamente, y disminuye con la profundidad en todos los tratamientos. En cuanto al patrón de distribución radical en los dibujos de distribución de las raíces por el método de la trinchera, fue muy notoria la inexistencia de un patrón definido de distribución para los tratamientos, más bien existe variabilidad incluso dentro de un mismo tratamiento.

Cabe destacar que en estos dibujos se pudo observar que aun cuando la mayor proporción de raíces se encuentra en la primera capa de suelo, independientemente de los tratamientos de cobertura, las mismas siguen una distribución vertical dentro del perfil.

Cuadro 3. Atributos de raíces de maíz evaluados

Tratamiento	Profundidad (cm)	Densidad de longitud (cm.cm^{-3})	Peso Seco (g)	Área ocupada por raíces (%)	Profundidad máxima (cm)
<i>Centrosema macrocarpum</i>	10	1,23	0,08	45,88	65
	35	0,45	0,01	45,07	
	60	0,23	0,01	9,05	
<i>Urochloa dictyoneura</i>	10	1,54	0,07	70,95	62
	35	0,45	0,02	19,79	
	60	0,64	0,02	10,86	
Vegetación Natural	10	1,10	0,07	50,76	68
	35	0,31	0,01	36,12	
	60	0,35	0,01	13,05	

La relación entre las propiedades físicas del suelo y los atributos evaluados en las raíces de maíz, se realizó a través de un análisis de correlación de Pearson, encontrándose que la densidad de longitud de raíces estuvo relacionada negativamente con la densidad aparente ($r = -0,6675$), mientras que se consiguió una relación positiva con la conductividad hidráulica saturada ($r = 0,7093$) y con la porosidad total ($r = 0,7178$). Así mismo, el peso seco de raíces se encontró relacionado negativamente con el contenido de arcilla ($r = -0,4898$), y positivamente con la densidad aparente ($-0,7542$), la conductividad hidráulica saturada ($0,6354$) y con la porosidad total ($r = 0,7879$).

CONCLUSIONES

Las propiedades físicas del suelo no difirieron bajo los diferentes sistemas mejorados, y no alcanzaron los valores críticos limitantes para el desarrollo de raíces. La mayor proporción de raíces se encontró en la primera capa de suelo con una disminución a medida que se profundiza en el perfil, siendo insignificante a partir de los 60 cm. La concentración superficial de raíces se atribuye al aumento de la resistencia mecánica, la densidad aparente y la disminución de la permeabilidad, con la profundidad. Los atributos de las raíces se encontraron relacionados inversamente con la densidad aparente y directamente con la conductividad hidráulica saturada y la porosidad total presentes en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Böhm, W.** 1983. Methods of studying root systems. Springer-Verlag, Beclim Heidelberg. New York (USA). 188p.
- Bravo, C.** 1995. Experiencia de sistemas de labranza en los Llanos Centrales. En: Primer Curso Sobre Sistemas de Labranza y Conservación de Suelos. Guárico, Venezuela. pp1-18.
- Bravo, C.; Z. Lozano; R. Hernandez; B. Moreno y L. Piñango.** 1999. Caracterización física y química inicial en la finca San Pablo y la Estación Experimental La Iguana. Primer informe de avance. Proyecto Alternativas para mejoramiento de la producción del sistema maíz – ganado del estado Guárico. pp 34 – 51.

- Centeno, A.** 2002. Manejo de suelo. IX Curso sobre producción de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Asoportuguesa. pp 40-61.
- Lozano, Z.** 1995. Calibración de métodos para la evaluación de limitaciones físicas. Trabajo de grado. Postgrado en Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 151p.
- 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). 40p.
- Nacci, S. e I. Pla.** 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical* 42 (1-2): 115-132.
- Pla, I.** 1978. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación en suelos agrícolas de Venezuela. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 201p.
- Pla, I.** 1983. Metodologías 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. Universidad Central de Venezuela. 91p.
- Pla, I.** 1995a. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. En: *Memorias de II Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista.* 1993. Guanare – Acarigua. pp 42-51.
- Pla, I.** 1995b. Labranza y propiedades físicas de los suelos. En: *Memorias de la II Reunión Bienal de la Red de Labranza conservacionista.* 1993. Guanare, Acarigua – Venezuela. pp 26 – 41.
- Tennant, D.** 1975. A test of a modified line intersect methods of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995 – 1001.