

**RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO  
Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL DEL MAÍZ,  
CULTIVADO EN UN SUELO FLUVENTIC HAPLUSTOLL  
DE TEXTURA FRANCO-ARENOSA DE MARACAY, VENEZUELA**

**RELATIONSHIP BETWEEN SOME SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS  
OF THE ROOT SYSTEM OF MAIZE GROWN IN A FLUVENTIS HAPLUSTOLL  
SOIL OF MARACAY, VENEZUELA**

**Rodolfo Delgado\*, Luis Castro\*\*\*\*, Evelyn Cabrera de Bisbal\*, Manuel de Jesús Mújica\*\*,  
Simón Caniche\*\*, Lesce Navarro\*\*\* e Ivon Noguera\*\***

\* Investigadores, \*\* Técnicos Asociados a la Investigación e \*\*\* Ingeniero Agrónomo contratado. INIA.  
Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.  
\*\*\*\* Estudiante. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

**RESUMEN**

La determinación de la relación entre las características físicas del suelo y del sistema radical del maíz, *Zea mays* L., permitió determinar con antelación la limitación en el suelo para el desempeño del cultivo. En este trabajo se evaluó la relación entre longitud radical (LR), densidad de masa radical (DMR), densidad de longitud radical (DLR), diámetro de raíces (DR), volumen y longitud específica radical (VolEsp y LonEsp) del sistema radical de maíz, cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC), con algunas características del suelo (resistencia a la penetración del penetrómetro, RP, densidad aparente del suelo, Da, macro y micro-porosidad, humedad, W, y textura), en un suelo Fluventic Haplustoll, ubicado en el Campo Experimental del CENIAP-INIA, Maracay, estado Aragua a 10°17' N y 67° 37' O, y una elevación de 460 m.s.n.m. Se observaron diferencias significativas, entre LM y LC, en RP y W del suelo en los horizontes entre 20 y 50 cm, en DLR y DMR en el horizonte 30-40 cm, y DLR, DR, y VolEsp y LonEsp en el horizonte 40-50 cm, donde se encontró la menor cantidad de la masa y LR. Utilizando los datos de LM y LC de manera conjunta, se observó que la RP fue significativamente asociada a los diferentes parámetros del sistema radical, y que los modelos cuadráticos ajustan mejor esas relaciones. La determinación del modelo cuadrático que relaciona RP y Vol Esp, podría emplearse con fines prácticos para la determinación de limitantes en el suelo: RP a la cual se decrece el VolEsp 6,04 MPa, siendo posible utilizarse para la determinación temprana y corrección de limitantes para maíz.

**Palabras Clave:** Maíz; raíces; índices; resistencia a la penetración; relación raíces propiedades suelo.

**SUMMARY**

The establishment of a relationship between soil physical properties and the root system of maize, *Zea mays* L., made it possible to determine soil constraints beforehand. In this work, an evaluation was made of the relationship between radical length, root mass density (RMD), root length density (RLD), mean root diameter (RD), and specific root volume (EspVol and length EspeLen) of maize planted under minimum (MT) and conventional tillage (CT), with some physical soil properties (soil resistance to penetrometer (SR), soil bulk density (SBD), macro- and micro-porosity, soil water content (SW), and soil texture). The soil was a Fluventic Haplustoll of the experimental field of CENIAP-INIA, located in Maracay, Aragua state at 10°17' N and 67° 37' O, and 460 meters above sea level. Significant differences between MT and CT occurred for soil physical parameters SR and SW in the 20 to 50 cm soil layers, and for the root system properties in RLD and RMD in the 30-40 cm soil layer, and DLR and RD, EspVol, and EspeLen in the 40-50 soil layer, where the lowest amount of mass and root length was found. Combining the data for MT and CT together, it was found that SR was significantly related to all the root system parameters, and the quadratic models explained these relationships. The relationship between RP and EspVol, could be useful to predict soil constraints: the limiting RP, where the EspVol is reduced, was 61.6 kg/cm<sup>2</sup> (6.04 MPa).

**Key Words:** Maize; roots; index; resistance to penetration; relationships between roots and soil properties.

## INTRODUCCIÓN

La mayor proporción de nutrimentos y agua es adquirido por las plantas a través del sistema radical, el cual normalmente es alterado por propiedades, características naturales del suelo, o por condiciones de manejo como el tipo de labranza implementado. Por ello es necesario caracterizar el impacto de las propiedades físicas del suelo en el desarrollo del sistema radical, en características del mismo asociadas a la absorción de nutrimentos y agua, y desarrollar índices para el diagnóstico temprano de riesgos, para la implementación de prácticas de manejo correctivos.

Dentro de las características del sistema radical asociadas a la absorción de nutrimentos y agua, la especial atención se ha orientado hacia masa, longitud, área, y volumen radical, densidad radical DR (longitud de raíz por centímetro cúbico de suelo), profundidad de enraizamiento.

Así Shein y Pachepsky (1995), evaluando diferentes cultivos (maíz, algodón, y alfalfa) en diferentes condiciones de suelo, encontraron relación entre la DR y el potencial crítico de agua en el suelo. Otra variable, como la longitud radical (LR) es utilizada por Barber (1995) en el modelo de estimación de la absorción de nutrimentos. Van Noordwijk y Brouwer (1991), de una revisión de la data existente sobre parámetros del sistema radical, para diferentes cultivos, suelos, y condiciones de manejo, destacan la LR, la DR, el diámetro promedio, la relación longitud de raíz: unidad de masa de raíz (m/g raíz) como las principales variables evaluadas.

Así mismo, Van Noordwijk (1983) menciona la importancia de la DR en la estimación de absorción de agua y nutrimentos.

Con relación a las características del suelo, y condiciones de manejo que afectan el desarrollo del sistema radical, Qin *et al.* (2004) señala que la DR fue superior en sistema de labranza convencional (LC) en relación a labranza mínima (LM), y que bajo LM la densidad aparente (Da) del suelo fue superior en la capa superficial (0-25 cm). El diámetro promedio de las raíces fue superior en esta forma de labranza. Los mismos autores destacan la humedad, temperatura, y la porosidad del suelo como variables alterables por el sistema de labranza y que normalmente afectan el desarrollo del sistema radical, aunque indican que el efecto o impacto de algunas de estas características en el desarrollo del sistema radical, y desempeño general del cultivo, es afectado por las condiciones climáticas.

Otros factores como la forma de colocación del fertilizante, la cual puede afectar la disponibilidad de nutrimentos, también es señalada por Qin *et al.* (2004) quienes indican que en la banda de colocación del fertilizante se observa mayor densidad radical, aunque este efecto es dependiente del año de evaluación, lo cual esta asociado a la condición climática preponderante. En otras observaciones, García *et al.* (1988) destacan el mayor desarrollo de raíces en las áreas de mayor concentración de nutrimentos, como una medida de compensación.

La resistencia a la penetración de raíces, en la capa entre 5 y 20 cm, también ha sido señalada como una variable que afecta el desarrollo del sistema radical, y con ello el crecimiento temprano de maíz. En condición de mínima- o cero-labranza, se ha observado que el maíz explora menos volumen de suelo en comparación al suelo labrado (Hughes *et al.*, 1992). Así mismo Whiteley y Dexter (1982) indican la resistencia a la penetración, la humedad del suelo, y la Da del suelo como variables susceptibles al tipo de labranza, y que afectan el desarrollo del sistema radical, aunque señalan que el efecto depende del cultivo.

Por su parte, Horne *et al.* (1992) detectaron, cuando evaluaron tres sistemas de labranza (Cero-labranza, labranza mínima, y labranza completa con arado de vertedera, diferencias en Da, resistencia a la penetración, distribución del tamaño y estabilidad de agregados y porosidad total, así como en distribución de P, K, y pH del suelo, contenidos de carbono y capacidad de intercambio cationico.

En sus trabajos, Pabin *et al.* (1998) señalan el efecto de la resistencia a la penetración y Da del suelo como factores que afectan el desarrollo del sistema radical, aunque el valor crítico de estos factores (valor por arriba del cual se afecta los parámetros del sistema radical) esta condicionado o afectado por el contenido de humedad del suelo y la proporción de partículas menores de 60 micras (arcilla y limo).

En Venezuela son pocos los estudios realizados para la caracterización del sistema radical del maíz, y de la evaluación cuantitativa del impacto de características o propiedades del suelo, afectadas normalmente por el tipo de labranza, en características del mismo. Así, Hernández (1999) en estudios del patrón de crecimiento del sistema radical del maíz, encontró que la resistencia a la penetración y la Da del suelo, fueron determinantes en el comportamiento del sistema radical.

Mientras tanto, Alejos y Materan (1986) indican que las propiedades físicas del suelo como Da, porosidad, conductividad hidráulica, influyen marcadamente sobre la distribución horizontal y vertical del sistema radical del maíz.

En estudios realizados, Núñez y de Visual (1999) determinaron el efecto de la compactación de un suelo a capacidad de campo sobre la biomasa, longitud, volumen y densidad de las raíces de las plántulas de maíz, y encontrando que una capa de mayor Da (1,55 g/cc) que el resto del suelo (1,35 g/cc) redujo la biomasa radical, y la longitud y densidad de longitud radical (DLR), aunque el volumen radical se mostró poco afectado. Además, apreciaron una respuesta morfofisiológica de las plántulas de maíz al efecto de la alta Da del suelo.

A nivel de invernadero Rojas (1983), determinó el efecto que ocasionan horizontes compactados de suelo a diferentes profundidades sobre el desarrollo, crecimiento radical y nutrición mineral en plantas de maíz. El desarrollo radical se vio afectado tanto en longitud como en su morfología.

En este estudio se evaluó, a nivel de campo, el desarrollo del sistema radical del maíz cultivado en un suelo Fluventic Haplustoll de Maracay, y se relacionó con algunos parámetros de suelo. La evaluación de la relación de las propiedades físicas del suelo se realizó entre propiedades físicas evaluadas a los 75 días y los parámetros del sistema radical medido en ese tiempo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y características del experimento

El estudio se efectuó en un suelo Fluventic Haplustoll, ubicado en el Campo Experimental del CENIAP-INIA, Maracay, edo. Aragua a 10°17' N y 67° 37' O, con una elevación de 460 m.s.n.m. La evaluación del sistema radical del maíz se realizó en el sistema de producción maíz-rastrero, fertilizada y sembrado bajo LC y LM que forma parte de un estudio donde se evaluó el efecto de LC y LM en sistema de producción maíz-soya, maíz-frijol y maíz-rastrero, en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, con unidades experimentales de 10 x 10 m, la mitad de la cual se fertilizó con 120, 80 y 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, aplicado en banda al momento de la siembra. El maíz se sembró en hilos separados a 75 cm, y a 20 cm entre plantas. En este trabajo, la evaluación del patrón de crecimiento del

sistema radical se realizó en 3 repeticiones del área fertilizada del sistema maíz-rastrero bajo LM, y en 3 repeticiones del sistema maíz-rastrero bajo LC.

### Muestreo, separación, y determinación de la longitud radical

En cada una de las repeticiones de LM y LC, se escogió una planta representativa donde se tomaron muestras de suelo de volumen conocido 1) sobre el eje de planta (0 cm), 2) a media distancia entre plantas sobre el hilo de siembra (10 cm), 3) sobre la banda de fertilización (5 y 8 cm de la planta) y 4) a media distancia entre hilos de siembra (35 cm), y a las profundidades de 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 cm., o hasta donde se observen raíces, con un barreno tipo uhland de 8 cm de diámetro como lo sugiere Ramírez (1991). El muestreo en las profundidades indicadas es debido a que de estudios de otros autores (Ball-Coelho *et al.*, 1998; Allmaras y Nelson, 1971) se desprende que el tipo de labranza afecta la estratificación del sistema radical en el perfil del suelo, especialmente en los primeros horizontes del mismo.

La separación de raíces se realizó mediante la dispersión del suelo con Hexametáfosfato de sodio al 0,5 % y lavado con agua a presión (teniendo cuidado de no deteriorar las raíces), en un tamiz # 60 (250 micrómetros (Barley, 1955). Las raíces obtenidas se guardaron en recipientes plásticos con etanol al 30 % y se mantuvo en cava de refrigeración (- 7 °C) hasta la determinación de la LR.

La LR se determinó mediante el procedimiento descrito por Bouma *et al.* (2000), el cual consistió en la coloración de las raíces con violeta de metilo diluido en metanol, y digitalización mediante un escáner. Las imágenes escaneadas se procesaron mediante el programa Delta-T Scan, para la estimación de la LR. La densidad radical (DR; cm/cm<sup>3</sup>) se calculó mediante la división de la LR entre el volumen de suelo extraído.

El diámetro promedio de los maíces, en cada muestra analizada se obtuvo mediante el programa Delta-T Scan, y el volumen (Vradical, cm<sup>3</sup>) y superficie radical (Supradical, cm<sup>2</sup>) se estimó utilizando el diámetro promedio de raíces y la LR. A las raíces, una vez determinada la LR, se les determinó la masa (g), estimándose la longitud específica (cm g<sup>-1</sup> raíz) y volumen específica (VolEsp, cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> raíz), el cual es el radio LR: masa raíces, y el radio volumen radical: masa raíces, respectivamente, algunas de estas variables consideradas por Van Noordwijk y Brouwer (1991).

La idea de la evaluación de la longitud, y VolEsp esta asociada a observaciones realizadas en algunas investigaciones donde se indica que, en algunos casos, la masa radical no es afectada por la acción de cierta condición limitante en el suelo, contrario a lo que ocurre con otros parámetros del sistema radical como la LR: en este sentido, se considera que una variable que relacione masa radical con otros parámetros del sistema radical como longitud, área, y volumen radical (área, longitud, y volumen específico), podrían ser mejores indicadores para evaluar el efecto de parámetros del suelo en el sistema radical. El concepto de área, longitud, y VolEsp es similar al indicado por Evans (1972) para área foliar específica, en el cual relaciona el área foliar con la masa de la misma.

### Determinación de las propiedades físicas del suelo

En cada una de las repeticiones de LM y LC se obtuvo 3 muestras de suelo no disturbadas con un muestreador tipo Uhland (5 cm de diámetro), a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm, para la determinación de la Da, macro- y micro-porosidad, y porosidad total (Pla, 1977), humedad gravimétrica y textura. Así mismo en cada parcela se realizó análisis de resistencia a la penetración como lo indica Nacci y Pla (1992), con 3 repeticiones en cada parcela.

### Análisis estadístico de los resultados

Se realizó el análisis de resultados mediante el procedimiento Means, GLM, y Reg del programa SAS y se empleó la prueba de medias de Tukey (5%, SAS, 1998), para establecer la significancia de diferencias entre ellas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 y 2 se indica el promedio de las diferentes características del suelo, y de las variables del sistema radical evaluadas a los 75 d para los sistemas de LC y LM, respectivamente. Las características del sistema radical (Cuadro 2) son promedios a través de posiciones y repeticiones (parcelas) y tipo de labranza; las propiedades físicas (Cuadro 1) son promedios a través de repeticiones. Debe indicarse que entre en el período de evaluación de las características físicas del suelo (60 d), y del sistema radical (75 d) se produjo, en promedio de LM y LC, cerca del 63 % de la MS total del sistema radical lo cual se observó a los 75 d, lo que sugiere que las características del sistema radical están o son afectadas por las características físicas del suelo en ese período.

Para las características del suelo (Cuadro 1), en general, no se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas de labranza cuando se evaluó horizonte por horizonte, con la excepción de la resistencia a la penetración y los contenidos de humedad en los horizontes del suelo 20-30, 30-40, y 40-50 cm. En este caso parece que las resistencias a la penetración más elevadas en la LC están asociadas a bajos contenidos de humedad en esos horizontes, y ello podría deberse al efecto de la labranza, y a condiciones de bajo suministro de agua por precipitación: en el período 45-60 d la precipitación acumulada fue de sólo 113,1 mm, y en el período 60-75 y 75-90 d de sólo 20,5 y 11 mm, respectivamente (Castro, 2007).

Los promedios de las diferentes características del suelo en el perfil del suelo (0-50 cm), promediado a través de horizontes, por tipo de labranza (Cuadro 1), destacan diferencias significativas para resistencia a la penetración (15,6 y 43,7 kg/cm<sup>2</sup>), humedad gravimétrica (21,2 y 15,5 %), micro porosidad (41,0 y 35,8 %) y macro porosidad (14,4 y 16,9 %) para LM y LC, respectivamente. El promedio del perfil del suelo refleja las diferencias entre LM y LC que hay entre horizontes para resistencia a la penetración, humedad, macro- y micro-porosidad. La resistencia a la penetración de penetrómetro (RP) por horizontes fluctuaron entre 1,75 y 26,5 kg/cm<sup>2</sup> y 7,20 y 65,7 kg/cm<sup>2</sup> para LM y LC, respectivamente (Cuadro 1).

Para los parámetros de raíces (Cuadro 2), los promedios por labranza, promediado a través de posiciones y horizontes, sólo mostró diferencias significativas para el diámetro de raíces donde en LC fue significativamente mayor que LM (0,45 y 0,41 cm, respectivamente). Del análisis por horizontes sólo se observó diferencias significativas en DLR y DMR en el horizonte 30-40 cm, y para DLR, diámetro de raíces y longitud (LonEsp) y VolEsp en el horizonte 40-50 cm, pero no se observó diferencias significativas en los horizontes desde 0 hasta 30 cm, donde fue mostrado más del 90 % de la longitud y masa radical (Castro, 2007). La DLR más elevadas se observan en todos los horizontes en el tratamiento de LM en relación a LC, y la RP en LM son inferiores a las de LC.

Debido a que las diferencias entre los parámetros de raíces en LM y LC sólo ocurrió normalmente en los horizontes inferiores donde la MS y la LR es poca en relación a la total del sistema radical, con la excepción del diámetro en el horizonte 0-5 cm, se utilizó la información conjunta de raíces de LM y LC para relacionarla

con algunas de las características físicas del suelo. Utilizando los promedios a través de repeticiones de cada una de las propiedades físicas de cada horizonte para cada parcela evaluada, y los promedios a través de las posiciones de las características del sistema radical en cada horizonte para cada parcela, se realizó análisis de correlación y regresión. De los análisis realizados se destacó la relación entre la resistencia a la penetración con la LR, DLR, diámetro radical, y con la longitud y VolEsp (Figuras 1, 2, 3, 4, 5).

La relación más significativa entre la resistencia a la penetración y las características del sistema radical, coinciden con lo indicado por Taylor y Gardner (1963), para raíces de algodón, quienes indican que se observó mejor relación entre el porcentaje de penetración de la raíz y la resistencia a la penetración que con la Da o el contenido de humedad del suelo. Señalan que con una resistencia de 1 MPa observaron que 70% de las raíces penetraron, 30% entraron cuando la resistencia a la penetración incremento a 2 MPa, y que no hubo acceso (0%) cuando la resistencia a la penetración fue de 2,9 MPa.

La disminución que se observa en densidad radical con el incremento en la profundidad en el suelo (Cuadro 2), coincide con el incremento de la resistencia a la penetración con la profundidad en el perfil del suelo

(Cuadro 1). Por otra parte, la disminución, y luego incremento del diámetro promedio de raíces con el aumento en la resistencia a la penetración, podría sugerir que la respuesta del sistema radical al crecimiento de la RP inicialmente sería a desarrollar raíces más delgadas, pero cuando la RP alcanza valores más elevados limita drásticamente el desarrollo de las raíces, y esta como respuesta crea raíces más gruesa debido a mayor expansión radial (Atwell, 1990).

En todos los casos se obtuvo que los modelos cuadráticos son los que mejor ajustan la relación entre la resistencia a la penetración y los parámetros del sistema radical, sugiriendo que existe un límite en el parámetro RP del suelo que pudiera limitar el desarrollo de la LR.

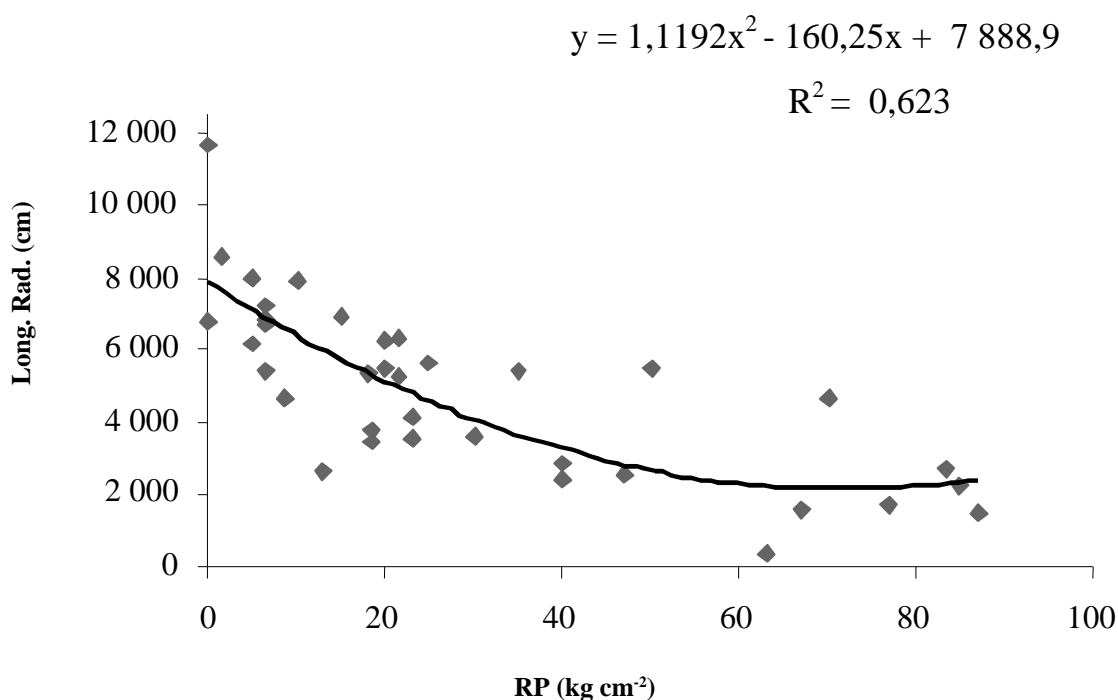
De la segunda derivada de las funciones cuadráticas de los diferentes modelos se observa que el valor limitante de RP, arriba del cual se observa que existen limitaciones para LonEsp, VolEsp, y diámetro radical es de 46,8 61,6, 41,7 kg cm<sup>-2</sup> (4,59, 6,04 y 4,09 MPa). Estos valores están en el rango de las resistencias a la penetración limitantes (entre 2 y 6,5MPa) para diferentes cultivos (maní y algodón), y diferente textura del suelo (franco arenoso y arcilloso) señalados por Bengough y Mullins (1990).

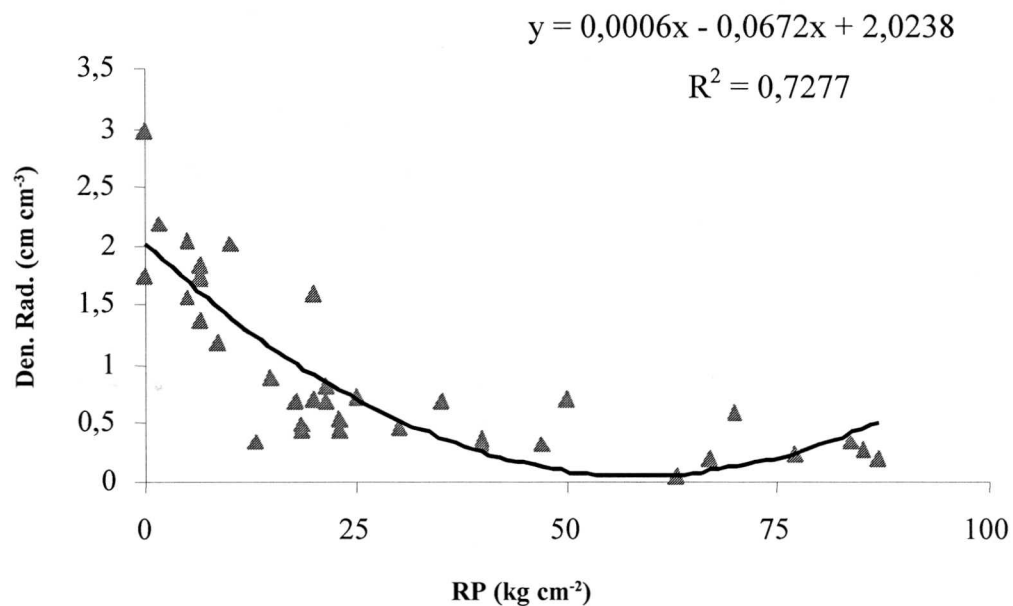
**CUADRO 1.** Principales características físicas del suelo en los tratamientos de labranza mínima y labranza convencional a los 60 días luego de la germinación.

Profundidad cm	Parámetros del suelo											
	RP (kg cm <sup>-2</sup> )		Contenido humedad g/g		Da (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidad Total (%)		Microporosidad (%)		Macroporosidad (%)	
	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC
0 - 5	1,7	7,2	24,4	19,7	1,64	1,62	55,5	57,5	37,6	38,2	17,3	19,3
5 - 10	5,6	11	21,9	18,3	1,74	1,7	55,4	51	42	36,6	13,4	14,5
10 - 20	17,2	52,2	20,4	16	1,72	1,73	52,7	52,4	38,4	36	14,4	16,5
20 - 30	21,7b	65,0a	19,6a	13,5b	1,69	1,68	56,3	50,3	41,1	33,2	15,2	17
30 - 40	26,56b	61,3a	19,8a	13,0b	1,73	1,68	56,7	52,4	44,1	34,1	12,6	18,2
40 - 50	21,0b	65,7a	21,2a	12,3b	1,67	1,7	55,7	52,8	42,6	36,8	13,1	16
Promedio												
0-5	15,6b	43,7a	21,2a	15,5b	1,7	1,69	55,4	52,7	41,0 a	35,8b	14,4b	16,9a

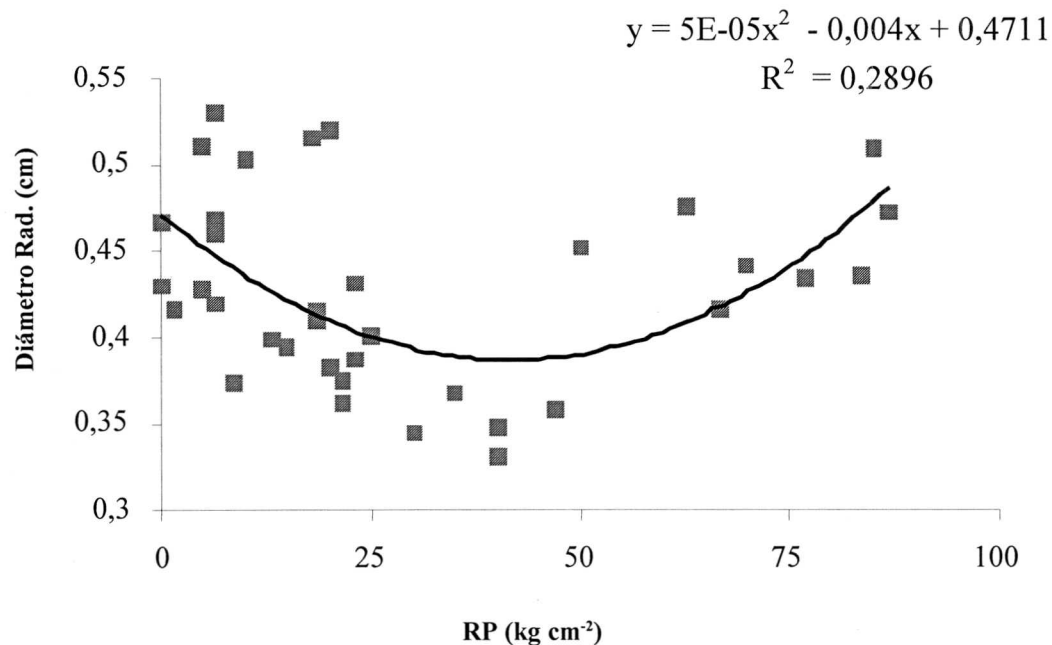
**CUADRO 2.** Principales características del sistema radical de maíz en los tratamientos de labranza mínima y labranza convencional a los 75 días luego de la germinación.

Profundidad cm	Parámetros de raíces									
	Densidad longitud		Diámetro promedio		Densidad MS raíces		Longitud específica		Volumen específico	
	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC
0 - 5	2,1	1,9	0,44 b	0,51 a	2,88	3,81	4 387	7 070	4,35	6,05
5 - 10	1,7	1,6	0,42	0,47	0,55	0,56	6 260	5 669	6,91	8,04
10 - 20	0,7	0,5	0,44	0,44	0,14	0,13	7 397	5 953	10,49	8,01
20 - 30	0,7	0,4	0,4	0,43	0,11	0,1	8 873	7 321	10,1	9,52
30 - 40	0,6 a	0,2 b	0,37	0,39	0,08 a	0,03 b	10 735	8 487	11,09	9,71
40 - 50	0,5 a	0,2 b	0,38 b	0,43 a	0,05	0,03	11 407 a	6 475 b	12,63 a	8,67 b
Promedio	1	0,8	0,41b	0,45a	0,58	0,76	8 177	6 834	9,26	8,33
0-50	n=72	n=71	n=72	n=71	n=72	n=71	n=72	n=71	n=72	n=71

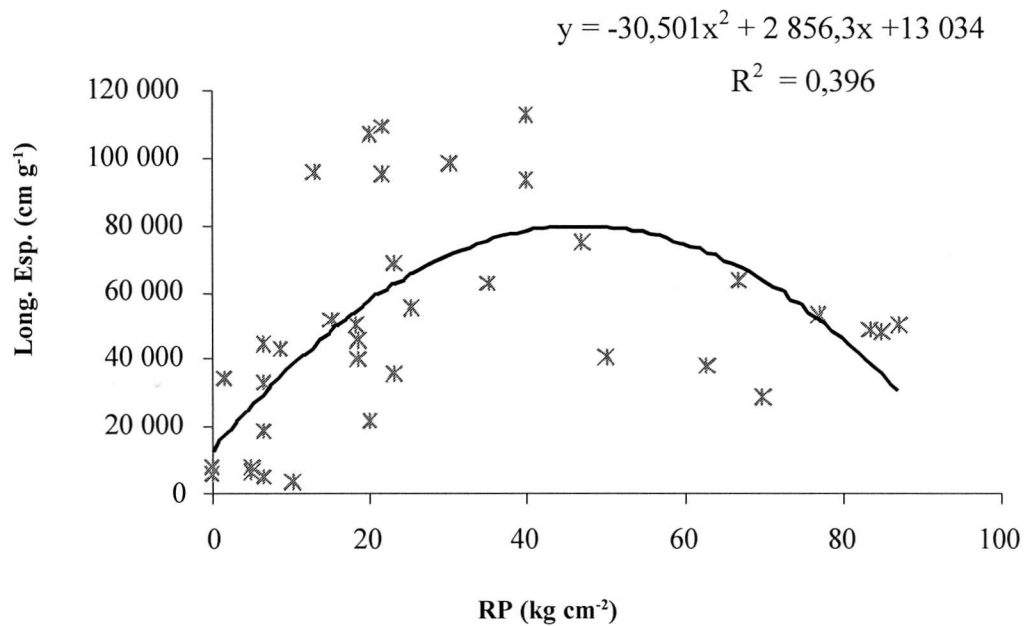
**FIGURA 1.** Relación entre resistencia a la penetración (RP) del penetrómetro y longitud radical (Long. Rad).



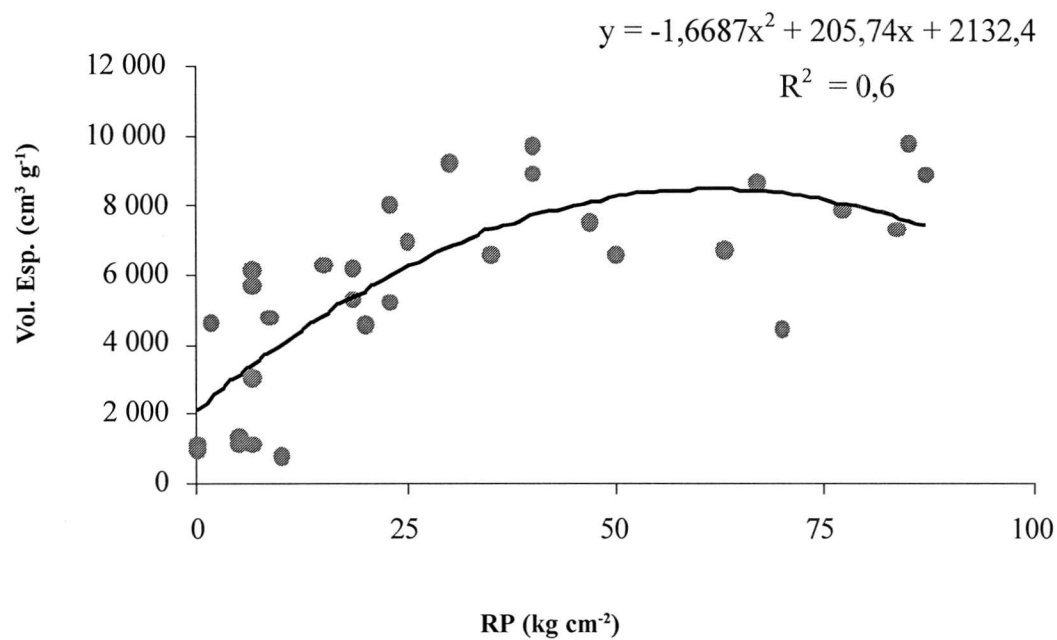
**FIGURA 2.** Relación entre resistencia a la penetración (RP) del penetrómetro y la densidad radical (Den. Rad.).



**FIGURA 3.** Relación entre resistencia a la penetración (RP) del penetrómetro y el diámetro radical (Diámetro Rad.).



**FIGURA 4.** Relación entre resistencia a la penetración (RP) del penetrómetro y la longitud específica (Lon. Esp)



**FIGURA 5.** Relación entre resistencia a la penetración del penetrómetro (RP) y el volumen específica (Vol. Esp.)



La relación entre la RP y el VolEsp de la raíz presentó la mayor determinación ( $r^2 = 0,60$ ; Figura 5) comparado con el parámetro de LongEsp), lo que podría, en parte, estar asociado a que en el cálculo del VolEsp, a diferencia del cálculo de la LongEsp, se emplea el diámetro de las raíces, que es afectado como se indicó previamente, por la resistencia a la penetración.

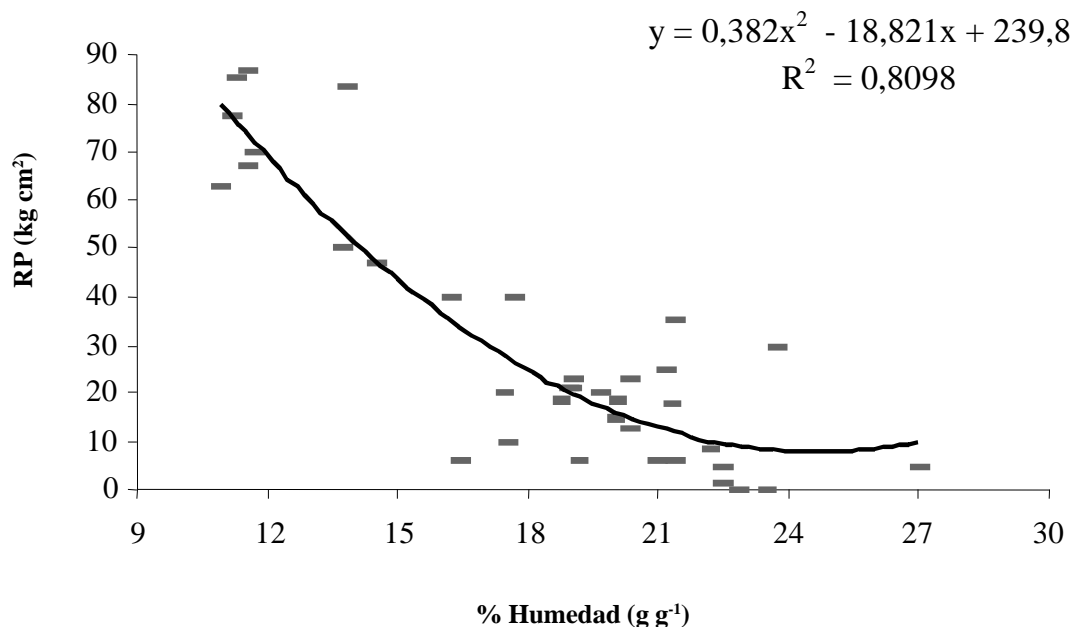
Finalmente, debido a que la Da y textura del suelo no varían notablemente entre los puntos de muestreo, ya que existe una significativa relación entre RP y humedad gravimétrica del suelo (Figura 6), se cree que la RP está afectada en gran medida por esta última. La relación entre humedad gravimétrica y RP indica que la variación en RP es explicada en un 81% ( $r^2 = 0,81$ ; Figura 6) por el contenido de humedad del suelo.

## CONCLUSIONES

- En estos suelos de textura gruesa (franco arenosa), el efecto de la RP podría estar afectada por el conte-

nido de humedad del suelo: se observó una significativa relación entre contenido de humedad y RP.

- La LR, DR, y diámetro de raíces, así como los parámetros intrínsecos de las raíces como el VolEsp ( $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ ), están relacionados a la resistencia a la penetración. Sin embargo, se cree que las características propias de las raíces (ejemplo: longitud, área, y VolEsp) expresan mejor el impacto de las características del suelo en el desarrollo del sistema radical.
- De la relación entre RP y VolEsp, obtenida empleando los datos de RP de los diferentes horizontes del suelo hasta 50 cm de profundidad, se obtuvo que la RP limitante es de  $61,6 \text{ kg cm}^{-2}$  ( $6,04 \text{ MPa}$ ). Este valor de RP limitante puede ser utilizado como índice para la determinación previa de una limitación y para la recomendación de prácticas de manejo correctivas previo a la siembra del cultivo.



**FIGURA 6.** Relación entre la humedad y la resistencia a la penetración del penetrómetro (RP).

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alejos, G. y M. Materán. 1986. Efecto de diferente labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, distribución radical y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.). Tesis pre-grado. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.
- Allmaras, R. R. and W. W. Nelson. 1971. Corn (*Zea mays* L.) root configuration as influenced by some row-interrow variants of tillage and straw mulch management. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 974-980.
- Atwell, B. J. 1990. The effect of soil compaction on wheat during early tillering. I. Growth, development and root structure. New Phytol. 115:29-35.
- Ball-Coelho, B. R., R. C. Roy and C. J. Swanton. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse – textured soil. Soil Tillage Res. 45: 237-249.
- Barber, S. A. 1995. Soil nutrient Bioavailability: A mechanistic Approach. 2<sup>nd</sup> edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. USA. 414 p.
- Barley, K. P. 1955. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. Adv. in Agron. 22:159-197.
- Bengough, A. G. and C. E. Mullins. 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. J. Soil Sci.. 41:341-358.
- Bouma, T. J., K. L. Nielsen y B. Keutstaal. 2000. Protocolo de preparación de muestras y escaneo para análisis computarizado de la longitud radical y el diámetro radical. Plant and Soil 218:185-196.
- Castro, L. 2007. Evaluación del impacto de sistemas de labranza en el patrón de crecimiento del sistema radical del maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo del estado Aragua. Tesis de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 80 p.
- Evans, G. C. 1872. The quantitative analysis of plant growth. 1era edición. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London. England.
- García, F., R. M. Cruse and A. M. Blackmer 1988. Compaction and nitrogen placement effect on root growth, water depletion and nitrogen uptake. Soil Sci.Soc.Am.J. 52:792-798.
- Hernández, C. 1999. Establecimiento y dinámica de crecimiento del perfil radical del maíz (*Zea mays* L.) en un suelo Vertisol sometido a prácticas de labranza. Tesis pre-grado. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.
- Horne, D. J., C. W. Ross and K. A. Hughes. 1992. A 10-year maize/oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. 1. A comparison of some soil properties.. Soil Tillage Res. 22:131-143.
- Hughes, K. A., D. J. Horne, C. W. Ross, and J. F. Julian. 1992. A 10-year maize/oat rotation under three tillage systems. 2. Plant population, root distribution and forage yields. Soil Tillage Res. 22:145-157.
- Nací, S. y I. Pla. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. Agronomía Trop. 42:115-132.
- Núñez, M. C. y E. C. De Visual. 1999. Efecto de la compactación del suelo sobre algunos parámetros morfológicos del desarrollo radical del maíz. Agronomía Trop. 49(1):93-106.
- Pabin, J., J. Lipiec, S. Wlodek, A. Biskupski and A. Kaus. 1998. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. Soil Tillage Res. 46:203-208.
- Pla, I. 1977. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay, Ven. UCV-FAGRO. 112 p.
- Qin, R., P. Stamp and W. Richner. 2004. Impact of Tillage on Root Systems of Winter Wheat. Agron. J. 96(6):1.523-1.529.
- Ramírez Ospina, G. 1991. Determinación del patrón de crecimiento radical de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en un suelo de Maracay. Tesis de Grado. Maracay, Edo. Aragua. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.

- Rojas, A. 1983. Efectos de la profundidad del horizonte compactado sobre el desarrollo, crecimiento radical y toma de nutrientes en las plantas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis pre-grado. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.
- Shein, E. V. and Y. A. Pachepsky. 1995. Influence of root density on the critical soil water potencial. *Plant and Soil*. 171:351-357.
- Statistical Analysis System. 1998. SAS/Stat User's guide. Version 7.0. Statistical analysis system Institute. Cary, NC. USA.
- Taylor, H. and H. R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96:153-156.
- Van Noordwijk M. 1983. Functional interpretation of root densities in the field for nutrient and water uptake. *Int. Symposium Root ecology and its practical application*. Gumpenstein, 1982. 207-226.
- Van Noordwijk, M. and G. Brouwer. 1991. Review of quantitative root length data in agriculture. **In:** *Plant root and their environment*. By B.L. McMichael and H. Persson. Elsevier Science Publishers B.V. 515-525.
- Whiteley, G. M. and A. R. Dexter. 1982. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. *Soil Tillage Res.* 2:379-393.