

EVALUACIÓN DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL DEL MAÍZ (HÍBRIDO INIA 68) CULTIVADO BAJO LABRANZA MÍNIMA Y CONVENCIONAL EN UN SUELO DE MARACAY, VENEZUELA¹

EVALUATION OF SOME CHARACTERISTICS OF THE ROOT SYSTEM OF MAIZE (HYBRID INIA 68) SOWED UNDER MINIMUM AND CONVENTIONAL TILLAGE IN A FLUVENTIC HAPLUSTOLL SOIL OF MARACAY, VENEZUELA¹

Rodolfo Delgado*, Luis Castro**, Evelyn Cabrera de Bisbal*, Félix San Vicente*, Manuel de Jesús Mújica***, Simón Canache***, Lesce Navarro**** e Ivon Noguera***

¹ Trabajo financiado por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit), bajo el Proyecto G-2005000435.

*Investigadores, ***TAI, ****Ing. Agrónomo contratado INIA-CENIAP y **Estudiante Agronomía FAGRO-UCV.

E-mail: rdelgado@inia.gob.ve

RESUMEN

Las características del sistema radical relacionadas a la absorción de nutrimentos y agua, puede utilizarse en estrategias de manejo que incrementen la utilización de los mismos. En este estudio se evaluó, durante el ciclo del cultivo, la acumulación de materia seca radical (MS), y densidad radical (DR) del Híbrido de maíz INIA 68, cultivado bajo labranza mínima (LM) y convencional (LC) en un suelo Fluventic Haplustoll de Maracay, estado Aragua. La MS y DR se determinó en diferentes períodos del ciclo del cultivo hasta 50 cm de profundidad. Para estudiar la longitud radical (LR) se digitalizó las raíces y se procesaron usando el programa Delta-T Scan. Sólo se observó diferencias significativas en la DR, y MS entre horizontes del mismo sistema de labranza, y estas fueron más elevadas en los horizontes entre 0-10 cm en relación a otros horizontes: 93% de la MS se concentra entre 0-20 cm, y entre 50-80% justo debajo de la planta (0-5 cm). Entre 50,7 y 62,3% de la MS se acumula en el período de floración y llenado de grano. En LM la DR fue más elevada en el horizonte 0-5 cm *versus* 5-10 cm, mientras en LC no hubo diferencias. En los primeros 15 días, hubo crecimiento horizontal hasta los 37,5 cm en LM, mientras que en LC se notó a los 30 d, aunque en LC profundizó más rápidamente. En LC la LR se incrementó notoriamente entre los 45-60 d y en LM a los 60-75 d.

Palabras Clave: Densidad radical; masa radical; maíz; labranza; raíces.

SUMMARY

The characterization of the root growth of maize, *Zea mays* L., and characteristics related to water and nutrient uptake, could be used to development management practices to promote efficient use of them, and better yields. In this work we evaluated the accumulation of root dry matter (RDM), and root length density (RLD) of maize (Hybrid INIA 68), sowed under minimum (MT) and conventional tillage (CT) in a Fluventic Haplustoll soil of Maracay, Aragua State. There were significant differences in RLD and RDM among soil layers of the same tillage type, but not between MT and CT. The RLD and RDM there were higher in the 0-10 cm layers, that in the others soil layers: 93% of the RDM was found in the 0-20 layer, and between 50 to 80% there was found under the plant. We also found that between 50.7 and 62.3% of the total RDM was accumulated during the reproductive period (60-75 days). Under MT there was significantly more DMR in the 0-5 cm layer than in the 5-10 cm layer, while under CT there were not differences. During the firsts 15 days of the crop cycle, there was horizontal root growth until 37.5 cm in NT, while for CT that position was reached at 30 days, although under CT there was faster vertical growth than under NT. At the 45-60 and 60-75 days period there was an important root length growth for CT and MT respectively, which was probably associated to higher soil water content under MT than under CT.

Keys Words: Root length density; root mass; maize; tillage; roots.

RECIBIDO: agosto 13, 2008

ACEPTADO: septiembre 24, 2008

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del patrón de crecimiento del sistema radical del maíz, *Zea mays* L., y de características del mismo asociadas a la absorción de agua y nutrimentos (ej. densidad radical (DR), longitud radical (LR), diámetro radical, área radical, profundidad de enraizamiento), en diferentes condiciones de labranza, puede ser utilizado en el desarrollo de tecnologías o de mecanismos integrales (ej. Modelos de simulación), que permitan optimizar el uso del agua y nutrimentos disponibles en el suelo.

Ejemplo de la relación entre parámetros radicales y uso del agua del suelo, es presentado por Barraclough *et al.* (1989) quien relacionó la densidad de la LR al consumo de agua en diferentes horizontes del suelo.

Como ejemplos del establecimiento de prácticas de manejo asociadas al patrón de crecimiento de raíces, es sugerido por Brouder y Cassman (1990), quien, para el cultivo algodón, sugiere que, debido a que el sistema radical de este cultivo se concentra en el horizonte entre 10 y 20 cm, es allí donde se podría colocar el fertilizante. Mas aún, el conocimiento del patrón de crecimiento del sistema radical del maíz, asociado al volumen de suelo explorado, puede ser empleado para estimar la cantidad de agua de riego, y con ello calcular mejor la cantidad a ser aplicada.

Relacionado al impacto del tipo de labranza en la distribución y características del sistema radical, Salinas-García *et al.* (2001) y Ohep *et al.* (2002), destacan la acción del tipo de labranza en características físicas del suelo y en la relación suelo-aire-agua, y ello en la DR y el rendimiento del maíz. Ball-Coelho *et al.* (1998) observaron, en un estudio de tres años de la distribución de las raíces de maíz, que en el primer año, en el horizonte 15-30 cm, la DR tuvo una disminución de 4 km m^{-3} para la no-labranza con relación a la labranza convencional (LC) y en el segundo año, a los 10 cm de profundidad, la DR fue mayor en la no-labranza (17 km m^{-3}), que en LC (7 km m^{-3}), lo cual fue relacionado a una mayor Da a los 15 cm de profundidad en ZL que en LC.

Por otra parte, Varsa *et al.* (1997) observaron que la DR en el perfil del suelo estuvo influenciada por la profundidad de la labranza: en el segundo año del estudio observaron que por cada incremento en la profundidad de labranza resultó un incremento en la DR.

En sus trababajos, Qin *et al.* (2004) y Ball-Coelho *et al.* (1998) señalan que bajo ZL, y contrario a LC, se produce una estratificación de nutrimentos poco móviles como P

en el suelo, lo cual promueve una mayor DR de raíces en el horizonte más superficial.

En Venezuela se puede indicar que, aunque se han evaluado algunas características del sistema radical y el impacto de diferentes practicas de labranza (Alejos y Materán, 1986; Hernández, 1999; Marcano y Landínez, 1997; Nacci *et al.*, 1991; Ohep *et al.*, 2002), formas de colocación del fertilizante (Mier *et al.*, 1990), y características físicas del suelo (Núñez y Cabrera de Bisbal, 1999, 2002; Rojas (1983) en las mismas, no existe una evaluación exhaustiva o detallada del patrón de crecimiento del sistema radical durante el ciclo del cultivo, y del impacto de características del suelo en la misma, y que en la mayor parte de los casos sólo constituyen caracterización del sistema radical en un único estado de crecimiento del cultivo.

En este estudio se evaluó el patrón de crecimiento del sistema radical del maíz, y de algunas características del mismo asociadas a la absorción de nutrimentos (ejemplo: longitud, densidad y masa radical y agua del suelo), en el primer año de cultivo de maíz sembrado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC), en un suelo Fluventic Haplustoll ubicado en el Campo Experimental del CENIAP, Maracay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental y del estudio general

El estudio se realizó en un suelo Fluventic Haplustoll, ubicado en el Campo experimental del CENIAP-INIA, Maracay, estado Aragua a $10^{\circ}17' \text{ N}$ y $67^{\circ}37' \text{ O}$, y una elevación de 460 m.s.n.m. El análisis de evaluación del patrón de desarrollo del sistema radical del maíz (Híbrido INIA 68), se efectuó en el tratamiento fertilizado de rotación maíz-rastrajo cultivado bajo LM y LC, de un experimento más complejo donde se evalúa el tipo de labranza (LM y LC), diferentes sistemas de producción de rotación de cultivos que incluyen maíz (maíz-frijol, maíz-soya y maíz-rastrajo): el estudio general consistió en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, donde las unidades experimentales fueron de $10 \times 10 \text{ m}$.

El maíz se sembró en hilos separados a 75 cm y a 20 cm entre plantas, donde la mitad de la unidad experimental se mantiene sin fertilizar, y la otra mitad se fertilizó al momento de la siembra con 120, 80, y 90 kg h^{-1} a de N, P, y K aplicados en banda a 8 cm de cada hilo, en la forma de Urea, Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio, respectivamente.

El estudio de caracterización del sistema radical, sólo se realizó en el área fertilizada de tres de las repeticiones del sistema de producción maíz-rastrojo y bajo LC y LM. En el Cuadro, se indica las principales propiedades físico-químicas del sitio experimental.

La textura se llevó a cabo por el método de Bouyoucos, el contenido de materia orgánica (MO) por el método de digestión húmeda con dicromato de potasio según Walkey y Black (Nelson y Sommers, 1982), la determinación de fósforo (P) y potasio (K) por bicarbonato de sodio (Olsen y Sommers, 1982) y Ca y Mg por el método de Morgan modificado utilizando NaOAc.

El pH fue ejecutado en una relación suelo/agua 1:2,5 por el método potenciométrico, y la conductividad eléctrica por el método conductimétrico (según procedimiento del Laboratorio de Análisis de Recursos Agroecológicos CENIAP-INIA, Gilabert *et al.*, 1990).

Durante el ciclo del cultivo se registro las principales características agro-climáticas (radiación solar, precipitación, temperaturas máximas y mínima del aire), medidas en el sitio experimental por la unidad de Agro climatología del Laboratorio de Recursos Agro ecológicos del CENIAP-INIA.

Determinación de la longitud y masa radical

En cada una de las 3 parcelas (repeticiones) de la rotación maíz-rastrojo en LM y LC, se escogió una planta representativa, realizándose muestreos de suelos para la obtención de raíces a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 d, a cuatro distancias: 1) sobre el eje de planta, 2) a media distancia entre plantas sobre el hilo de siembra (10 cm), 3) a 5 ó 8 cm al lado de la planta sobre la banda de fertilización y, 4) a media distancia entre hilos de siembra.

La profundidad de muestreo, en cada una de las distancias desde la planta fue de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm o hasta donde se observaron raíces. Las muestras de suelo se resguardaron en una cava refrigerada a - 7 °C, hasta que se separaron las raíces del suelo. La separación de raíces fue realizada mediante la dispersión del suelo con Hexametáfosfato de sodio al 0,5%, donde fueron separadas las raíces aplicándoles presión con agua de chorro en un tamiz de 250 micrómetros (Barley, 1955). Las raíces obtenidas en el tamiz se separaron de impurezas utilizando una pinza metálica, envasándose con etanol al 30% para mantenerse en cava a - 7 °C.

CUADRO. Principales características del suelo del estudio para el ensayo en maíz.

Tipo de Labranza	Prof. (cm)	Análisis Mecánico (%)			Clase textural	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	M.O. (%)	pH (1:2,5)	CE (ds/m)
		Arena	Limo	Arcilla								
LM	0-5	41	40	19	F	31	173	821	320	2,97	6,70	0,13
	5-10	41	39	20	F	25	127	774	291	2,23	6,86	0,08
	10-20	40	40	20	F	17	85	649	246	2,11	7,11	0,06
	20-30	49	36	15	F	14	63	851	300	1,94	7,49	0,05
	30-40	42	37	21	F	13	74	765	295	2,03	7,58	0,05
	40-50	40	38	22	F	8	66	819	342	1,35	5,38	0,03
LM	0-5	46	38	16	F	55	234	734	268	2,77	6,68	0,10
	5-10	47	34	19	F	35	136	727	257	2,00	6,69	0,07
	10-20	46	35	19	F	26	83	779	281	1,74	7,00	0,06
	20-30	45	34	21	F	19	70	821	291	1,65	7,30	0,05
	30-40	47	34	19	F	11	57	832	235	0,91	7,70	0,06
	40-50	55	29	16	Fa	5	36	660	227	0,40	7,89	0,10

Los valores son promedio por horizontes y tipo de labranza.

MO, P, K, Ca, Mg y CE es materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio y conductividad eléctrica.

La LR se determinó mediante el procedimiento descrito por Bouma *et al.* (2000), en el cual las raíces se colorean con violeta de metilo diluido en metanol, y se digitalizan. Las imágenes digitalizadas se procesaron usando el programa Delta-T Scan, para la estimación de la LR. La densidad de LR se expresó en longitud de las raíces (cm) contenidas en un cm^{-3} de suelo (cm cm^{-3}), y la determinación de la longitud total radical (LTR) estimada por planta, se calculó sumando la LR estimada en cada horizonte calculada, esta última, mediante la DR promedio de cada horizonte, y el volumen de suelo de cada horizonte (distancia entre plantas * distancia entre hilos * espesor del horizonte en cm). Una vez analizada la LR, las muestras se colocaron en estufa a 65 °C hasta peso constante para la determinación de materia seca (MS) radical.

Análisis de los resultados: Se realizaron los análisis de los resultados mediante el procedimiento Means, GLM Y Reg del programa SAS (1998), y se empleó la prueba de medias de Tukey ($\alpha= 10$), para establecer la significancia de diferencias entre éstas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de la Longitud Radical (LR)

En las Figuras 1 y 2 se indican la LTR estimada por planta, acumulada entre 0 y 50 cm del suelo, durante el ciclo del cultivo y la acumulación relativa de la misma en base al máximo observado en cada tipo de labranza. La LR estimada total por planta fluctuó entre 100-120 m planta^{-1} a los 15 días aproximadamente, y entre 642-480 m planta^{-1} al final del ciclo del cultivo, para LM y LC, respectivamente. Estos valores son inferiores a los estimados por Mengel y Barber (1974) quienes sañalaron valores de hasta 2 900-3 000 m planta^{-1} para el cultivo de maíz, e inferiores, pero en el mismo orden de magnitud, que los indicados por Ramírez (1991) para el híbrido PB-8. Por otra parte, en los diferentes muestreos durante el ciclo del cultivo, no se observó diferencias significativas en la LR entre LM y LC.

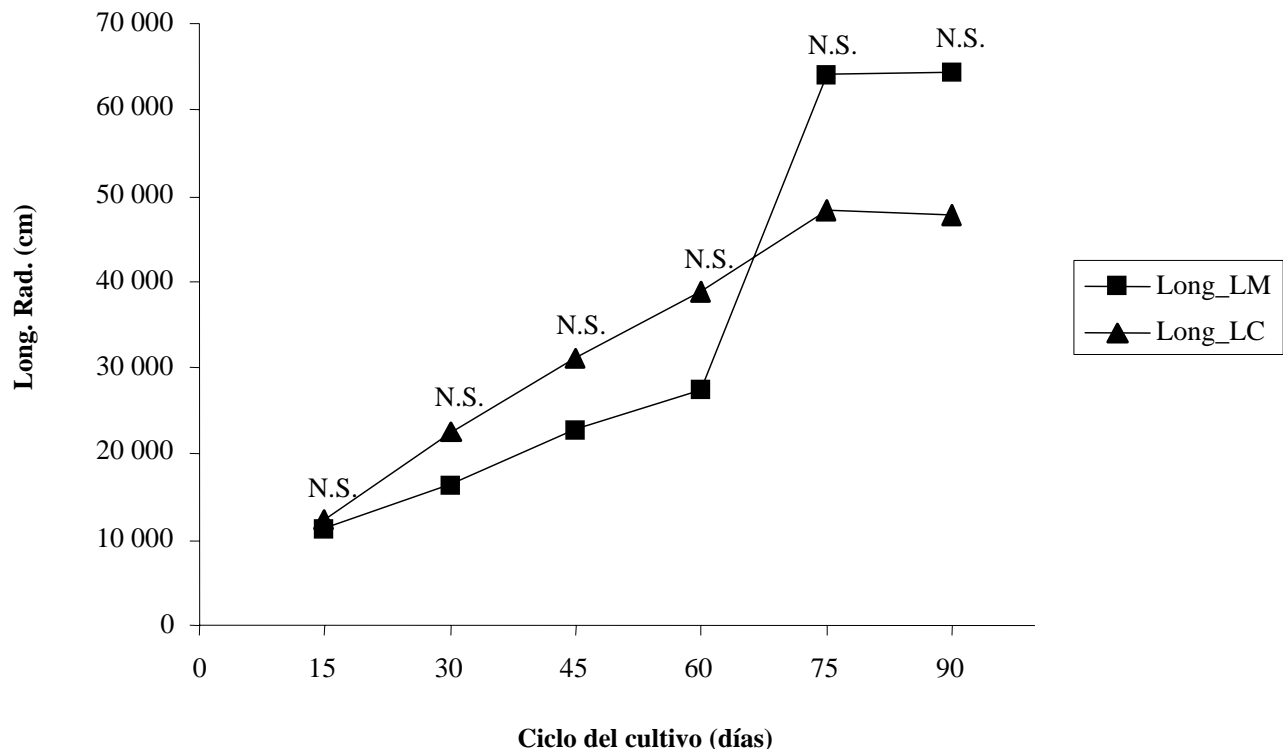


FIGURA 1. Longitud r adical total acumulada por planta, durante el ciclo del cultivo para labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

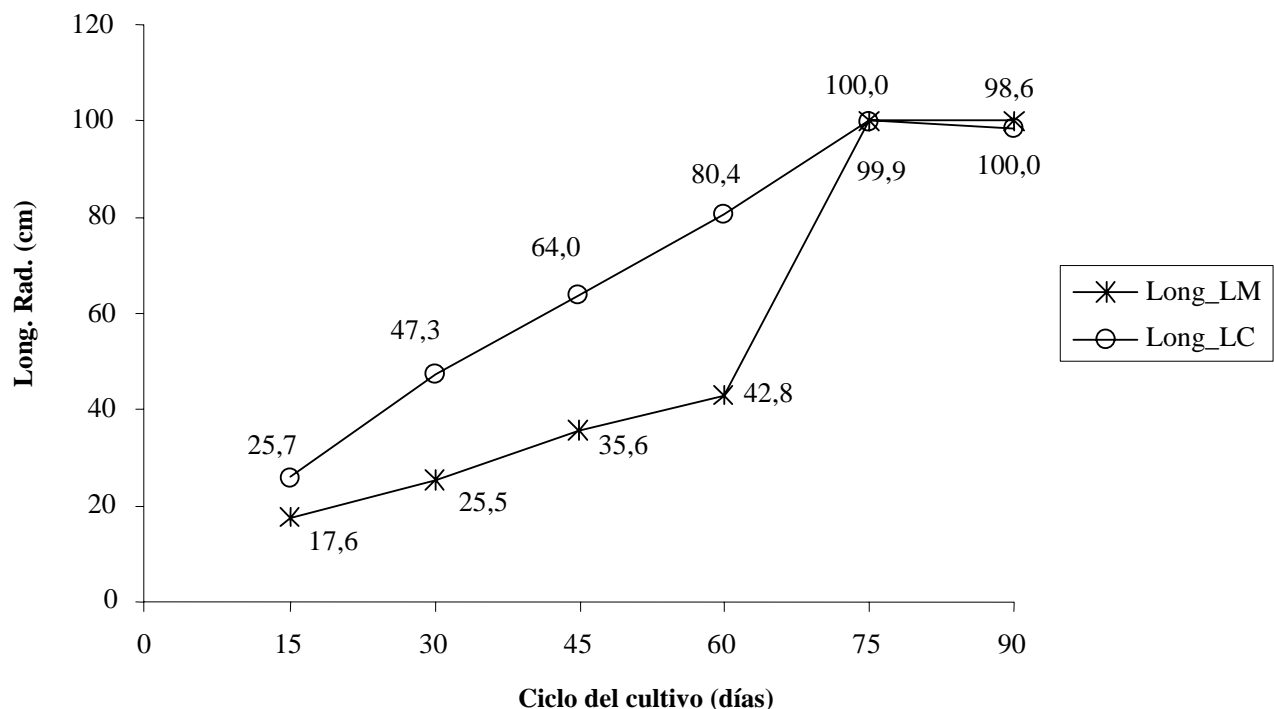


FIGURA 2. Acumulación Relativa de la Longitud Radical, durante el ciclo del cultivo, para labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

De la distribución relativa se observa que hasta los 60 d se había acumulado 42,8% de la longitud total en LM y 80,4% en LC. En LM la acumulada relativa se incrementa notablemente entre 60 y 75 d, acumulándose en ese período 57,1% de la LRT coincidiendo con el aumento en MS radical en ese tratamiento en ese período. Es posible que el déficit hídrico sea el factor que contribuye al comportamiento diferencial entre LM y LC. En este sentido, Delgado *et al.* (2008), demostraron en este mismo estudio que los 60 DDS el contenido de humedad gravimétrico en los diferentes horizontes entre 0 y 50 cm, fue mayor en LM, donde fluctuó entre 19,6 y 24,4%, que en LC fluctuó entre 12,3 y 19,7%.

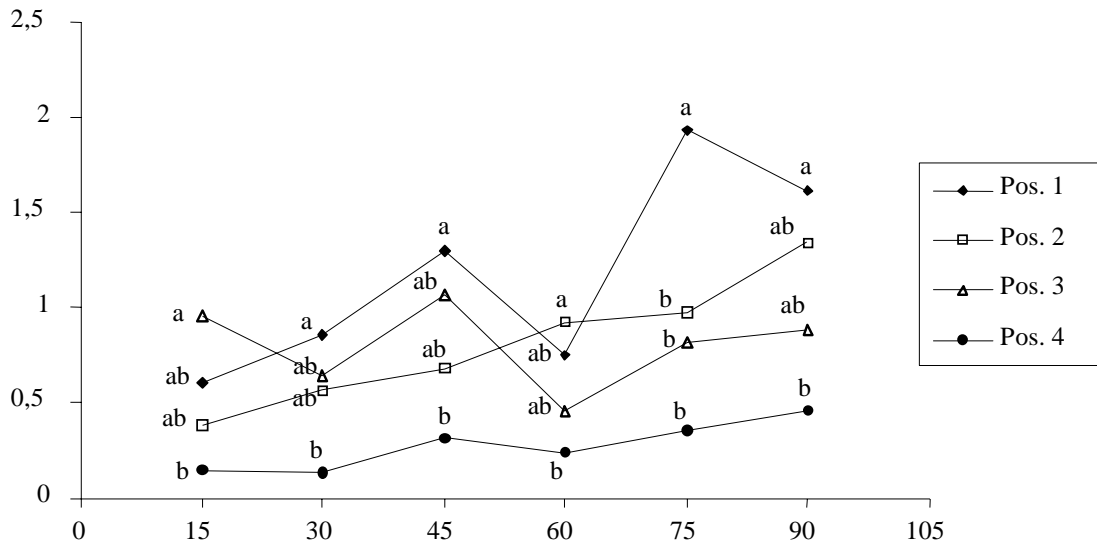
Distribución de la Densidad Radical (DR)

En la Figura 3 se presenta la DR durante el ciclo del cultivo para cada posición desde la planta y en los diferentes horizontes del perfil del suelo (Figura 4) para LM y LC. En el primer caso (Desarrollo Horizontal) se observa que en LM las raíces alcanzan la distancia media entre hilos (posición 4) en los primeros 15 d, aunque la DR es baja, contrario a lo observado para LC donde las raíces alcanzan esta posición a los 30 d. Sin embargo, en ambos casos (LM y LC) la DR es más notoria en la

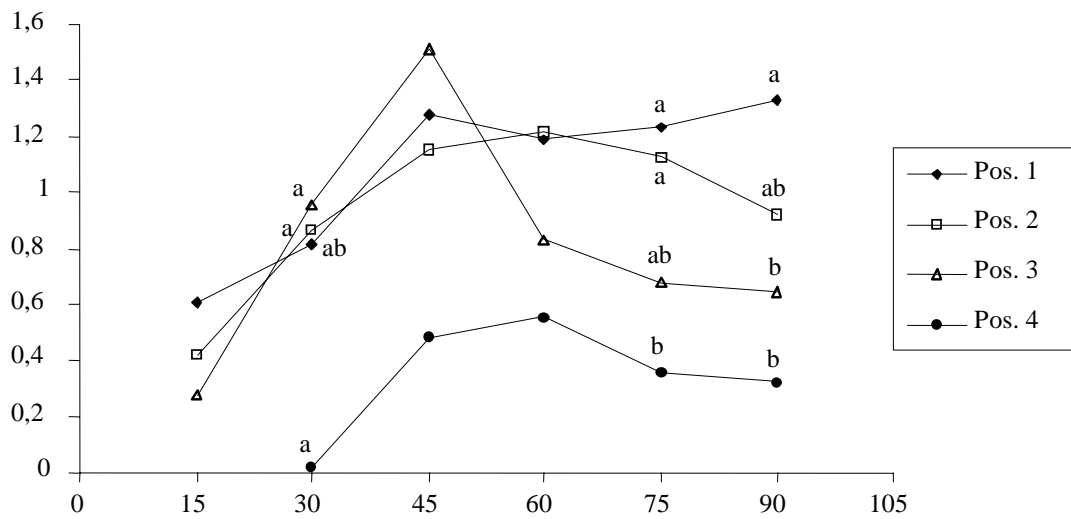
posición 4 a los 60 y 90 d donde alcanza valores de 0,46 y 0,55 cm cm^{-3} para LM y LC, respectivamente. Esta observación coincide con lo señalado por Ball-Coelho *et al.* (1998) quienes observaron bajo cero labranza, mayor longitud y masa radical horizontalmente que en LC.

El mayor desarrollo horizontal en LM pudo ser debido a la respuesta del sistema radical a una mayor D_a en los horizontes 0-5 y 5-10 cm en relación a LC para los mismos horizontes debido a la acción de la labranza: la D_a a los 60 d, aunque no representa la condición inmediatamente luego de la labranza al inicio del ciclo del cultivo, fue 1,64 y 1,74 g cc^{-1} para LM, y de 1,61 y 1,70 g cc^{-1} para LC en los horizontes 0-5 y 5-10 cm, respectivamente, como lo presenta Delgado *et al.* (2008) en este mismo experimento. Esto concuerda con lo indicado Núñez y Cabrera de Bisbal (1999) y García *et al.* (1988), quienes indican la respuesta del sistema radical a la presencia de capas compactadas o de mayor D_a . Así mismo Ball-Coelho *et al.* (1998) señalan que la D_a del suelo fue mayor en sistemas de no-labranza que bajo LC en los primeros 15 cm del perfil del suelo, y en cero labranza observaron mayor DR en los primeros 10 cm del perfil del suelo.

LM



LC

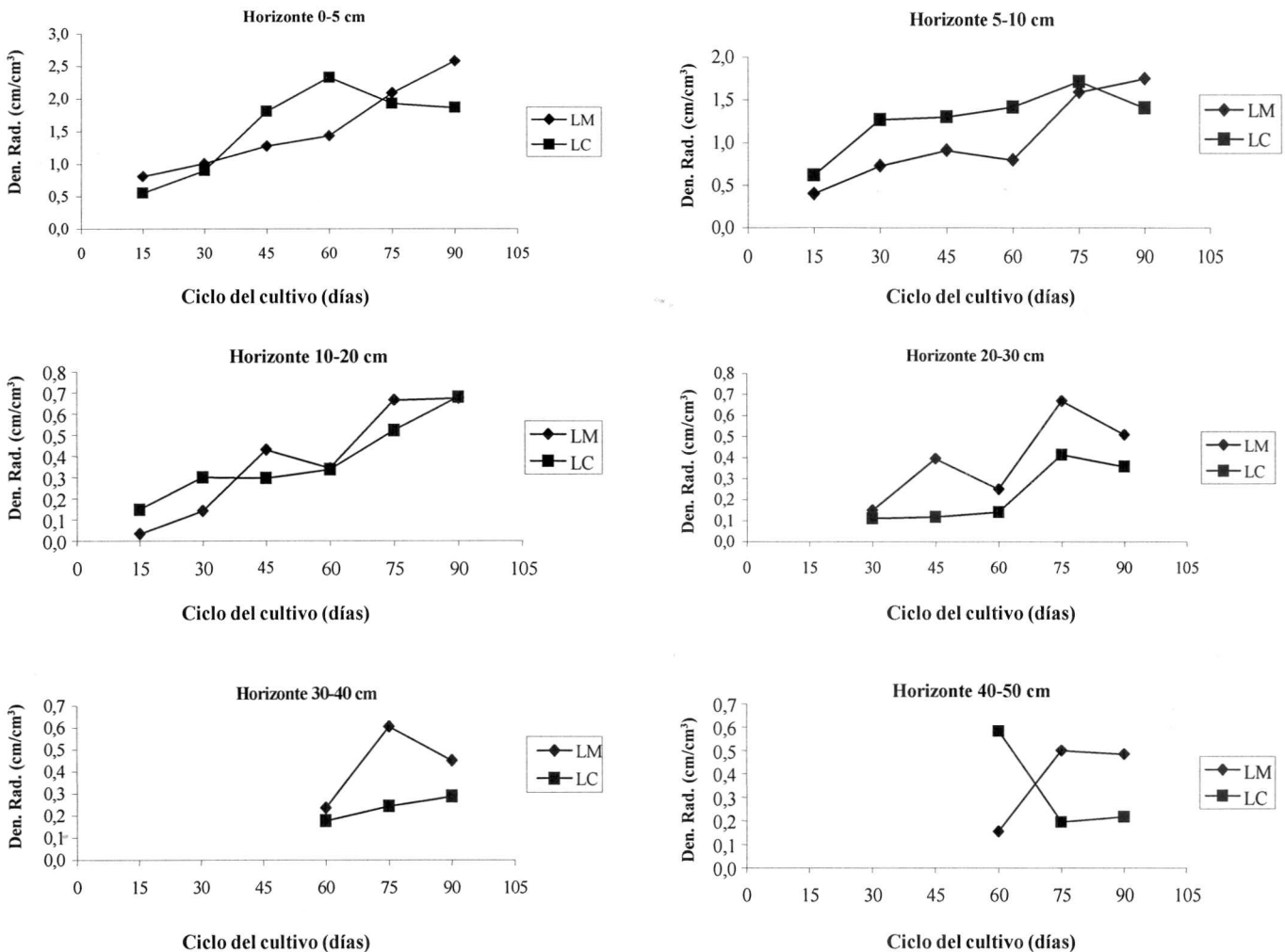


Los valores con la misma letra indican que no hay diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha= 10\%$) dentro de la misma época de muestreo.

FIGURA 3. Densidad Radical en el tiempo para cada posición desde la planta para labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Comparando la DR durante el ciclo del cultivo entre posiciones en el mismo tipo de labranza, se observó que en LM normalmente solo existen diferencias significativas entre la posición 1, donde es mayor, y la posición 4, a los 30, 45, 75, y 90 DDS. En LC sólo se observó diferencias significativas entre la DR de la posición 1, donde fue normalmente mayor, y la posición 4 a los 75 y 90 d. Lo antes indicado sugiere que en LM aunque las raíces alcanzaron la posición 4 en los primeros 15 d, la DR normalmente es significativamente inferior que la observada en la posición 1. Mientras que en LC las pocas diferencias en DR entre posiciones, durante el ciclo del cultivo sugiere que la disminución de la Da del suelo, posiblemente permitió un desarrollo mas uniforme de la DR.

En la Figura 4 se presenta la evolución de la DR durante el ciclo del cultivo en los diferentes horizontes del suelo hasta 50 cm de profundidad, para LM y LC, promediado a través de posiciones. De manera general se puede señalar que aunque existen algunas diferencias significativas en la DR entre LM y LC en algunos de los horizontes del suelo, lo normal es que no se observa diferencias significativas en la mayor parte del ciclo del cultivo y horizontes. Comparando los dos sistemas de labranza se nota que hasta el horizonte de 30-40 cm las curvas tienen tendencia ascendente con el tiempo, mientras para la capa de 40 -50 cm en LC la DR disminuye abruptamente a los 75 d.



Indica diferencias estadísticamente significativas, para medias dentro de la misma época de muestreo (Tukey, $\alpha= 10\%$).

FIGURA 4. Distribución de la Densidad Radical durante el ciclo del cultivo en los diferentes horizontes del perfil del suelo en labranza mínima y labranza convencional.

Se nota que en los 3 primeros horizontes (0-5, 5-10, y 10-20 cm) hay presencia de raíces desde los 15 d, mientras en la capa de 20-30 cm la aparición de raíces es a partir de los 30 d en ambos sistemas de labranza y se alcanza las capas de 30-40 y 40-50 cm a los 60 d.

En LC el máximo desarrollo en DR se alcanzó a los 60, 75 y 90 d en los horizontes 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Por el contrario, en LM el incremento en DR se observó de manera creciente hasta los 90 d en los horizontes 0-5, 5-10 y 10-20 cm, mientras que para los horizontes 20-30, 30-40, 40-50 cm el máximo de raíces se alcanzó a los 75 d con decrecimiento a los 90 d.

Lo antes indicado podría ser debido, aunque esto no se evaluó en este trabajo, a que en LM parte de los fotosintetizados que produce la planta luego de los 60 d, que coincide con la etapa de floración del cultivo, es derivada hacia el sistema radical, contrario a LC donde posiblemente debido a problemas derivados a un déficit hídrico, como se ha indicado previamente, una menor cantidad de fotosintetizados se dirige hacia la raíz, y posiblemente, parte de los nutrientes del sistema radical son orientados hacia la formación de grano. Esta variación y comportamiento de DR coincide con variación y comportamiento de MS radical como se indicará posteriormente.

En relación a las diferencias en DR entre LM y LC en los diversos horizontes, es notorio que en los horizontes 0-5 y 5-10 cm normalmente es mayor en LC, mientras que son similares en el horizonte 10-20 cm y se revierte la tendencia, mayor DR en LM que en LC en los horizontes 20-30, 30-40 y 40-50 cm. Lo antes indicado podía estar relacionado al hecho que en LC se alteraron las características físicas (ej. D_a y macroporosidad) por la ruptura del suelo debido a la acción de la labranza, reduciendo la D_a del suelo a valores entre 1,62 y 1,70 g cm⁻³, contrario a lo observado en LM en donde la D_a varió entre 1,6 y 1,74 g cm⁻³ en los horizontes 0-5 y 5-10 cm, e incrementó de macroporosidad del suelo la cual cambió entre 19,3 y 14,5% para LC y 17,3 y 13,4% para LM, en los mismos horizontes a los 60 d después de la germinación, como lo indica Delgado *et al.*, (2008) en estudios de la relación entre propiedades físicas del suelo y características del sistema radical realizados en este mismo experimento.

Más aún la mayor densidad radical en LC, donde existe mayor macroporosidad, esta posiblemente asociado a raíces de mayor diámetro: el diámetro de raíces a los 75 d del ciclo del cultivo fue normalmente mayor en LC fluctuando entre 0,39 y 0,51 cm, mientras que en LM

fluctuó entre 0,37 y 0,44 cm (como lo indica Delgado *et al.*, 2008). Lo antes señalado coincide con lo mostrado por Ball-Coelho *et al.* (1998) quienes señalan que normalmente bajo LC se observa una menor D_a y una mayor macroporosidad comparado a LM.

Para el caso de la exploración vertical se observa (Figura 4) que sólo a los 15 d hubo diferencia; bajo LM el sistema radical exploró hasta el horizonte 10-20 cm mientras que bajo LC el sistema radical alcanzó hasta el horizonte 20-30 cm. Luego de los 15 d el patrón de exploración vertical del suelo por el sistema radical fue similar en LM y LC: se mantuvo en el horizonte 20-30 cm hasta los 45 d y alcanzaron el horizonte 40-50 cm (máxima profundidad estudiada) a los 60 d. Posiblemente, la mayor velocidad de exploración del suelo al inicio del ciclo del cultivo en LC se correspondió a una mejor condición física del suelo debido a la labranza como se ha indicado.

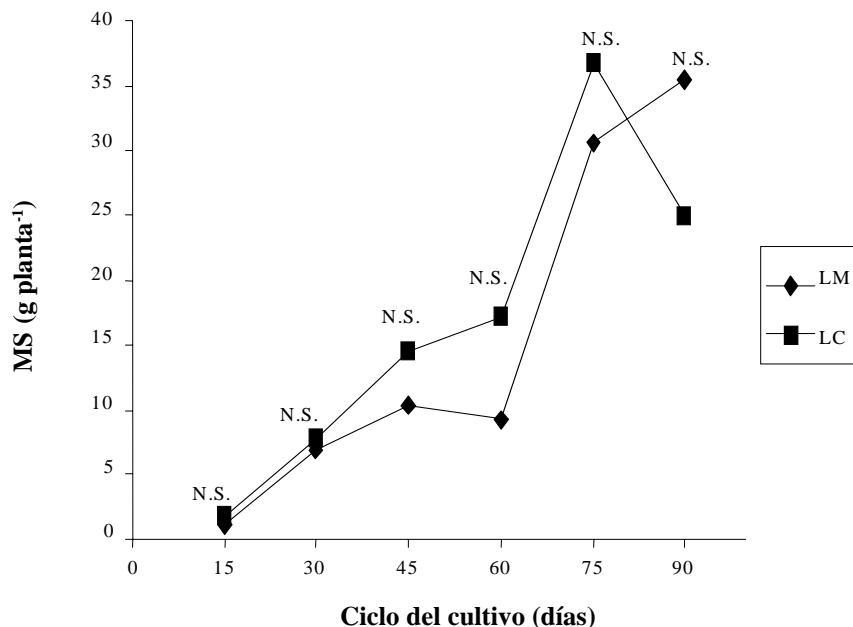
Distribución de la Materia Seca (MS)

En la Figura 5 se observa la dinámica en la acumulación de MS radical estimada en el perfil del suelo (0-50 cm) durante el ciclo del cultivo para LM y LC.

En general la MS radical por planta fluctuó entre 2,5 g planta⁻¹ a los 15 d hasta un rango 30-35 g planta⁻¹ a los 75 d para LC y LM, respectivamente en cada período. Entre LM y LC no se detectaron diferencias significativas en la cantidad de MS radical, lo cual coincide con lo indicado por Ball-Coelho (1998).

El incremento de MS hasta los 60 d es ligero, pero sostenido, no obstante, entre 60 y 75 d el incremento de MS radical ocurre de manera abrupta en los dos sistemas de labranza evaluados (LM y LC): este período de elevada acumulación de MS radical coincide con la etapa de floración y llenado de grano, que Delgado *et al.* (2004) describen como de elevada acumulación de MS aérea por el cultivo de maíz.

El análisis de la acumulación relativa de MS de raíces durante el ciclo del cultivo para LM y LC (data no mostrada), donde la cantidad relativa de MS en cada período se calculó dividiendo la MS de raíz acumulada en el perfil del suelo en cada muestreo, entre la MS de raíz del período donde la MS de raíces fue la más 25,9 y 49,3% de la MS total de raíces para LM y LC, respectivamente; siendo en el período de 60-75 d donde se destaca una acumulación de entre 62,3 y 50,7% de la MS total de raíces.



N.S. = Indica diferencias no significativas (Tukey, $\alpha= 10\%$) para datos dentro de la misma época de muestreo.

FIGURA 5. Acumulación de materia seca en el perfil del suelo, en raíces durante el ciclo del cultivo, para labranza mínima y labranza convencional.

En las Figuras 6 y 7 se presentan la distribución de MS de raíces en los diferentes horizontes del suelo para LM y LC durante el ciclo del cultivo, y la distribución relativa de la misma, respectivamente. En relación a la distribución de MS por horizontes y en los sistemas de labranza (Figura 6) en general, excepto a los 30 d en el horizonte 10-20 cm, a los 90 d en el horizonte 20-30 cm, y a 75 d en el horizonte 30-40 cm, no se observaron diferencias significativas entre LM y LC en los diferentes horizontes.

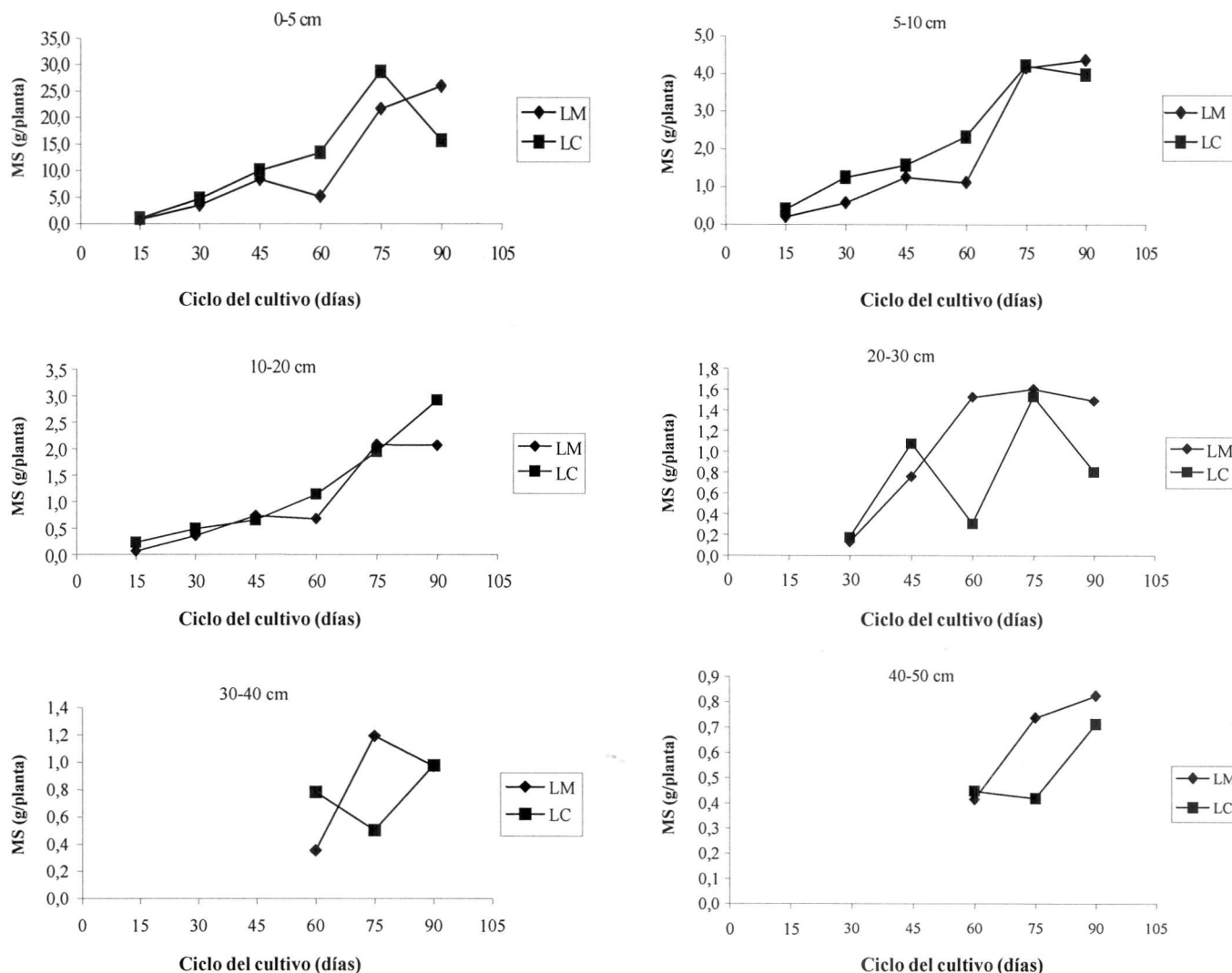
Del análisis de la distribución relativa de la MS acumulada en cada muestreo entre los diferentes horizontes del perfil del suelo, para LM y LC (Figura 7), se tiene que el 70% de MS se encontró en el horizonte 0-5 cm, 15% en el horizonte 5-10 cm y 7,5% en el horizonte 10-20 cm. Es decir, que en los primeros 20 cm del suelo se observa el 92,5% de la masa radical de raíces observadas en cada muestreo, lo cual está en el mismo orden de magnitud como lo señalado por Marcano y Landínez (1997), quienes encontraron que 82,5% de la masa radical se encuentra en los primeros 30 cm en los diferentes tratamientos por ellos evaluados.

Entre las diferentes posiciones desde la planta, en la posición 1 normalmente se encontró entre 80 y 50% de

la MS total de raíces, y en la posición 2 se encontró entre 40 y 10% de la MS de raíces, y la cantidad más baja de MS de raíces se observó en la distancia media entre hilos (37,5 cm) con menos del 5% de la MS de raíces en cada muestreo (datos no mostrados).

CONCLUSIONES

- Normalmente se percibió diferencias significativas entre la DR y MS radical cuando se compara entre capas y etapas del ciclo del cultivo del mismo tipo de labranza, pero normalmente no se observaron diferencias significativas entre las mismas variables cuando se comparan entre sí LC y LM. La DR más elevada se observó normalmente, durante el ciclo del cultivo, en los horizontes 0-5 y 5-10 cm en LM y LC.
- El impacto del tipo de labranza en la distribución horizontal y vertical del sistema radical, sólo se evidenció en los primeros 30 d: en LM la DR fue significativamente más elevada en los horizontes 0-5 cm que en el horizonte 5-10 cm, mientras que en LC la DR fue estadísticamente similar en estos horizontes.



* Indica que hay diferencias estadísticamente significativa en MS entre LM y LC entre horizontes para cada tratamiento (Tukey, $\alpha= 10\%$)

FIGURA 6. Distribución de materia seca de raíces en los diferentes horizontes del perfil del suelo en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

- En LM se evidenció desarrollo radical horizontal hasta los 37,5 cm en los primeros 15 d del ciclo del cultivo, mientras que en LC se mostró presencia de raíces a la misma distancia a los 30 d. Posiblemente diferencias en las características físicas del suelo, producto de los diferentes sistemas de labranza, son responsables por el comportamiento diferente en DR detectado en los sistemas de labranza evaluados.
- En las diferentes etapas del ciclo del cultivo, entre el 50 y 80% de la masa radical se observó directamente

debajo del eje de la planta, y 93% en los horizontes entre 0 y 20 cm (70% en el horizonte 0-5 cm). Así mismo, entre 50,7 y 62,3% de la MS total radical, se acumula en el período entre 60 y 75 d, el cual coincide con la etapa de floración y formación de grano.

- El patrón de acumulación de LR muestra algunas diferencias entre LM y LC. En LC la LR se incrementa marcadamente entre los 45-60 d; contrario a lo estudiado en LM donde ese incremento a los 60-75 d.

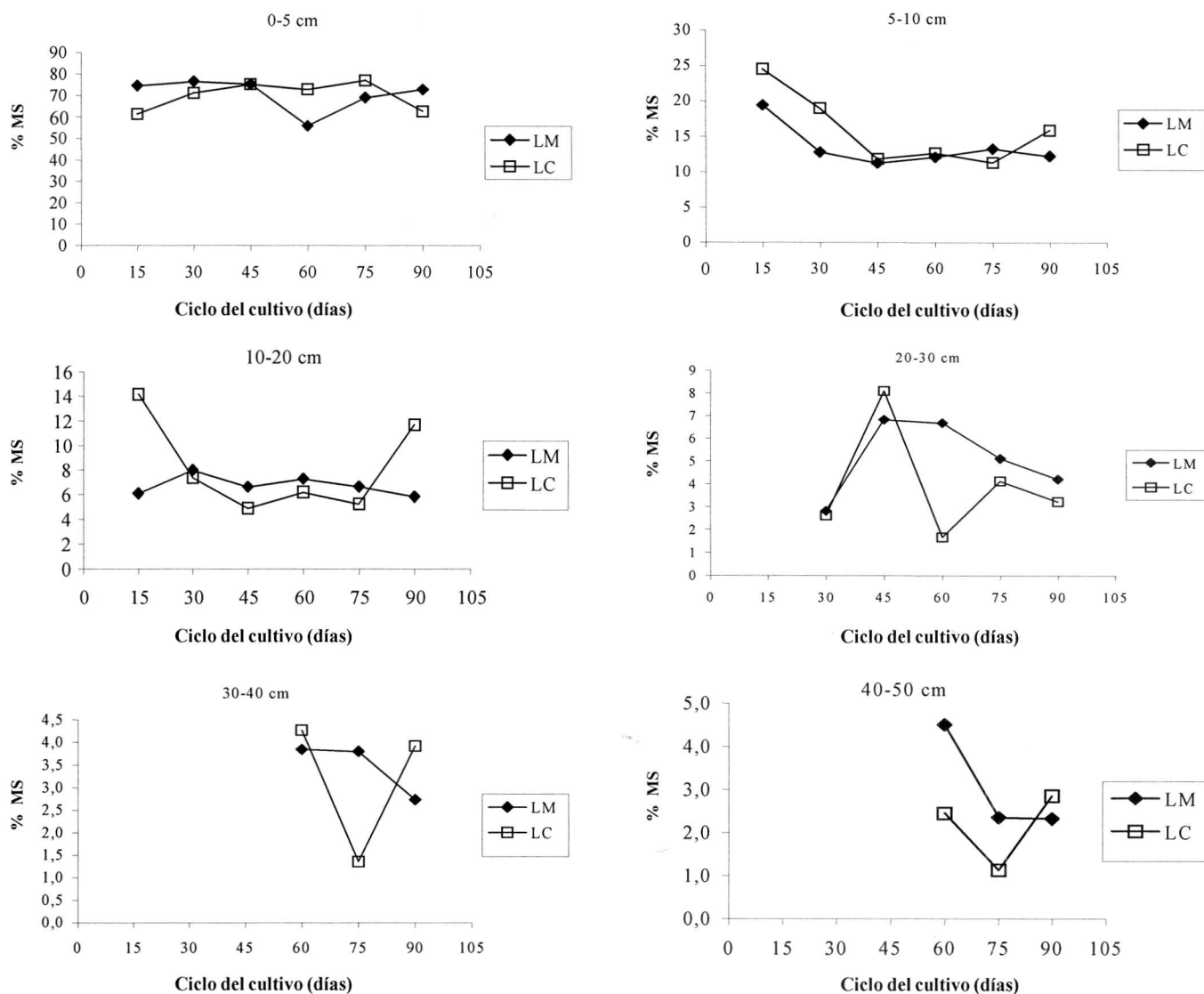


FIGURA 7. Distribución relativa de MS de raíces en el perfil durante el ciclo del cultivo para labranza mínima y labranza convencional.

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. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. Venezuela.

Ball-Coelho, B. R., R. C. Roy and C. J. Swanton. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse - textured soil. *Soil and Tillage Research*. 45:237-249.

Barley, K. P. 1955. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Advances in Agronomy*. 22:159-197.

Barracough, P. B., H. Kuhlmann and A. H. Weir. 1989. The effects of prolonged drought and nitrogen fertilizer on root and shoot growth and water uptake by winter wheat. *J. Agronomy and crop sci.* 163:352-360.

- 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 Soil* 218:185-196.
- Brouder, S. M. and K.G. Cassman. 1990. Root development of two cotton cultivars in relation to Potassium uptake and plant growth in a vermiculitic soil. *Field crops research* 23:187-203.
- Delgado, R., M. Núñez y L. Velásquez. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. *Agronomía Trop.* 54(4):371-389.
- Delgado, R., L. Castro, E. Cabrera de Bisbal, M. de J. Mújica, S. Canache, L. Navarro e I. Noguera. 2008. Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo Fluventic Haplustoll de textura francoarenosa de Maracay, Venezuela. *Agronomía Trop.* 58 (4): En Prensa.
- García, F., R. M. Cruse y A. M. Blackmer. 1988. Compaction and nitrogen placement effect on root growth, water depletion and nitrogen uptake. *Soil Soc. Am. J.* 52:792-798.
- Gilabert, J., I. López y R. Pérez. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. CENIAP-INIA.
- 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. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. Venezuela.
- Marcano, F. y N. Landínez. 1997. Labranza y sistemas de siembra para la producción del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en un Aquic Ustropepts del estado Yaracuy. *Bioagro* 9(3):86-94.
- Mengel, D. B. y S. A. Barber. 1974. Development and Distribution of the Corn Root System Under Field Conditions. *Agron. J.* 66:341-344.
- Mier y Terán, J. F. y T. Quintana. 1990. Producción de biomasa, nutrición y desarrollo radical del maíz (*Zea mays* L.) bajo tres condiciones de aplicación del fertilizante al suelo. Tesis Pre-grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. Venezuela.
- Nacci, S., E. Cabrera de Bisbal y J. Salazar. 1991. Efecto del método de labranza sobre las propiedades físicas de los suelos arenosos de las mesas orientales de Monagas. *Manual de Sistemas de Labranza para América Latina. Boletín de suelos de la FAO.* 66:164-174.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. **In:** A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. *Agron.* 9:539-579.
- Olsen, S. R. y L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. **In:** A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. *Agron.* 9:403-430.
- Núñez, M. C. y E. C. de Bisbal. 1999. Efecto de la Compactación del suelo sobre algunos parámetros morfológicos del desarrollo Radical del maíz. *Agronomía Trop.* 49(1):93-106.
- Núñez, M. C. y E. C. de Bisbal. 2002. Efecto de la compactación del suelo sobre el transporte de oxígeno dentro del sistema radical del maíz. *Agronomía Trop.* 52(3):197-207.
- Ohep, C., F. Marcano, S. Pudzzar y C. Colmenárez. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro* 14(1):37-45.
- 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, G. 1991. Determinación del patrón de crecimiento radical de dos híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) en un suelo de Maracay. Tesis Pre-grado. Maracay, Ven. 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. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. Venezuela.
- Salinas-García, J. R., A. D. Báez-González, M. Tiscareño-López and E. Rosales-Robles. 2001. Residue removal and tillage interaction effects on soil properties under rain-fed corn production in Central Mexico. *Soil y Tillage Research.* 59:67-79.

Statistical Analysis System. 1998. SAS/Stat User's guide. Version 7.0. Statistical analysis system Institute. Cary, NC. USA.

Varsa, E. C., S. K. Chong, J. O. Abolaji, D. A. Farquhar and F. J. Olsen. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil y Tillage Research*. 43:219-228.