

EFECTO DEL TIPO DE LABRANZA SOBRE EL SUMINISTRO DEL AGUA Y EL CRECIMIENTO DEL FRIJOL TUY EN UN SUELO MOLLISOL DE VENEZUELA

EFFECT OF THE TYPE OF FARMING ON THE PROVISION OF THE WATER AND THE GROWTH OF KIDNEY BEAN TUY IN A GROUND MOLLISOL OF VENEZUELA

Rodolfo Delgado*, Evelyn Cabrera de Bisbal*, Florencio Gamez** y Lesce Navarro***

*Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Aragua. Venezuela.

Tesisista de pregrado. UCV. Facultad de Agronomía. *Ingeniera contratada. INIA-CENIAP.

E-mail: rdelgado@inia.gob.ve, ecabrera@inia.gob.ve

RESUMEN

El frijol, *Vigna unguiculata* L. Walp; variedad Tuy, es un cultivo de gran importancia en Venezuela. Se requiere la evaluación de alternativas de labranza que incrementen su producción, mejoren o mantengan las características favorables del suelo. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de la labranza mínima (LM) y la labranza convencional (LC) sobre la producción de materia seca (MS) del frijol; variedad Tuy, área foliar (ÁF), rendimiento, humedad del suelo hasta 50 cm de profundidad durante el ciclo del cultivo (CC), densidad aparente (Da), macro y microporosidad e infiltración al momento de madurez, para ello se sembró en el período norte-verano sin aplicación de riego en un Mollisol del estado Aragua, con una densidad aproximada de 400 000 plantas.ha⁻¹ en un diseño en bloques aleatorizados, con cuatro repeticiones. El análisis de la varianza y prueba de Medias (Tukey $\alpha=10\%$) se realizó mediante el programa del Sistema de Análisis Estadístico (siglas en inglés SAS). Al analizar los resultados no se observó diferencias relevantes en el patrón de acumulación, MS (hojas, tallos), MS total, ÁF y producción de grano entre LM y LC. El ÁF fue significativamente mayor en LC a los 67 días después de emergencia (DDE). En el suelo se notaron cambios en la humedad del horizonte 0-5 cm, en la porosidad total a los 30-40 y 40-50 cm, en Da a los 0-5 y 5-10 cm y en el contenido de humedad a capacidad de campo (HCC) del 0-5 y 10-20 cm. Se detectó una relación entre la lámina de agua faltante y la MS total en LM y LC.

Palabras Clave: agua; eficiencia; frijol; labranza; propiedades físicas; *Vigna unguiculata* L.

SUMMARY

The cowpea, *Vigna unguiculata* L. Walp, is an important crop in Venezuela, and is necessary to evaluate different tillage practices to increase its production, and to improve the soil properties. We evaluated the impact of the minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT) in the production of dry matter (DM), foliar area (FA), and crop production of cowpea, variety Tuy, sowed at 0.5 m between rows and 0.05 m between plants in a Mollisol soil of Aragua State, in a completely randomized block design, with four repetitions, and the impact in the soil water content until 50 cm of depth during the crop cycle (CC), the soil bulk density, macro- and micro-porosity, total soil porosity and soil infiltration. The analysis of variance and means test (Tukey $\alpha=10\%$) was done using the Statistical Analysis System (SAS) program. There was a not significant difference in the pattern of DM production of leaves, stem, total DM, foliar area, and grain yield between MT and CT. The FA of the CT there was only significant higher than in MT at 67 days after emergency. In the soil, there was significant differences between MT and CT in the soil water of the 0-5 cm soil layer, in the total soil porosity of the 30-40 and 40-50 cm soil layers, in the soil bulk density of the 0-5 and 5-10 cm soil layers, and in the soil water content at soil capacity in the 0-5 and 10-20 cm soil layers. There was a significant relationship between the water used or missing during the crop cycle and the total DM produced in MT and CT.

Key Words: cowpea; efficiency; physical properties; tillage; *Vigna unguiculata* L.; water.

RECIBIDO: junio 17, 2009

ACEPTADO: noviembre 12, 2010

INTRODUCCIÓN

Estudiar el impacto del tipo de labranza en el desempeño del frijol, *Vigna unguiculata* L. Walp, permite conocer el sistema de labranza más conservacionista que mantenga o mejore las características favorables del suelo y evalúe su incidencia en el desempeño, como rubro de gran importancia agrícola y social en Venezuela. En las comunidades rurales del país se cultiva este rubro como sistemas de producción para la subsistencia y obtienen en esta leguminosa una forma de complementar los requerimientos de proteínas de manera económica. Aparte de poseer un alto contenido de almidón y proteínas; es de ciclo corto, adecuado a las zonas de bajas precipitaciones y resistente a altas temperaturas. Así mismo, Márquez *et al.* (2003) señalan que en Venezuela el promedio de producción es de 570 kg.ha⁻¹.

El frijol contiene en promedio 23% de proteínas, 52% de almidón, 25% de aceite y ayuda a suplir estos requerimientos en la población de escasos recursos (Madriz, 1997). Lo indicado destaca el valor estratégico que posee para soportar condiciones adversas de elevadas temperaturas del aire y bajas precipitaciones que acompañan los cambios climáticos globales y que podrían afectar la agricultura en Venezuela.

Ortega (1993) señala que el frijol es la segunda leguminosa más consumida y cultivada en el país, pudiendo ser aprovechada en cultivos asociados, rotación de cultivos y como abonos verdes, permitiéndole al agricultor incorporar nitrógeno atmosférico al suelo de una manera económica, mediante la asociación de este cultivo con bacterias nitrificantes del suelo.

En este sentido, Matos (1987) apunta que una de las ventajas del frijol es que mejora la fertilidad del suelo al aportar entre 30-40 kg.ha⁻¹ de manera asimilable. Éste, se cultiva en varias regiones y bajo distintos sistemas de producción, que van desde la agricultura de subsistencia hasta la producción empresarial altamente tecnificada y no tiene mayor limitante en el mercado, salvo por el color del grano (Boscan, 1987).

Desde 1959 al 2006, el promedio del rendimiento es de 671 kg.ha⁻¹ (INIA, 2009), además, normalmente es cultivado en el ciclo norte-verano donde se aprovecha el agua y nutrientes almacenados en el suelo, luego de la cosecha de los cultivos principales de invierno. Por consiguiente, es usado como cultivo de cobertura y abono verde de gran importancia para la conservación de los suelos (Enciclopedia Agropecuaria Terranova, 1995).

Es notable que la labranza afecta entre otros aspectos las características biofísicas e hidrológicas del suelo, el almacenamiento y capacidad de suministro de nutrientes y agua del mismo, así como la disposición y tasa de descomposición de residuos de cosecha. Igualmente, incide en las plagas, enfermedades, malezas, asociado a ello, al desarrollo y productividad de los cultivos. En este sentido, Larson (1964), Charreau y Nicou (1971), Terry *et al.* (1981), Adeoye (1982), Hill y Cruse (1985), Maurya (1986), Coote y Malcolm (1989), entre otros, presentaron cambios en propiedades tales como: Da, macroporosidad, capacidad de almacenamiento de agua, espesor de la capa mecanizada y enraizamiento del cultivo.

En cero labranza, por lo general, la densidad aparente (Da) suele ser mayor en la capa superior del suelo comparada con los sistemas de labranza convencional (LC). A mayores profundidades, la situación se invierte provocado por la acción directa de los implementos de labranza por debajo de la profundidad a la que ellos roturan el suelo (Coote y Malcolm, 1989).

Singh *et al.* (1966) en Virginia (EE.UU) demostraron que el método de labranza mínima (LM) en maíz posee varias ventajas sobre el método convencional, entre ellas, señala la superioridad en la conservación de suelo y agua, la minimización de los períodos cortos de sequía, posible reducción de costos de producción, mejoramiento y mantenimiento de la estructura del suelo y mayores rendimientos.

Marcano (1988) en un estudio de labranza en la localidad Agua Blanca, estado Portuguesa, encontró que estas prácticas disminuyen y mejoran la relación agua-aire en el suelo, por cuanto la porosidad total depende de la Da. En otros estudios, Moscheler (1972) y Phillips *et al.* (1980) señalan que en condiciones de mínimo o cero laboreo en comparación con la LC, el contenido de humedad es mayor. Por otra parte, González (1993) indicó en un análisis del impacto de la labranza conservacionista, que la misma muestra un efectivo control sobre la evaporación y en algunos casos incrementa la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

El efecto del tipo de labranza en las características del suelo y el desempeño de los cultivos, puede ser evidente en algunas etapas del CC, pero ocasionalmente, éste se hace menos notorio en otras etapas debido a la afluencia de otros eventos que lo “ocultan”. La ocurrencia de precipitaciones puede alterar el impacto que la labranza ocasiona en la capacidad de almacenamiento de agua del suelo que está en el cultivo.

Así mismo, Varco *et al.* (1989) observan diferencias en el patrón de acumulación de nitrógeno (N) en el cultivo de maíz bajo LM y LC. En LC ocurre una mayor absorción de N hasta la aparición de la inflorescencia femenina, mientras que en LM la absorción más elevada ocurrió en la etapa de llenado del grano, aunque al final no se detectaron diferencias significativas en el N total absorbido entre los dos sistemas de labranza.

Zaffaroni *et al.* (1991) estudiaron el efecto de diferentes sistemas de labranza (aradura con disco y rastra, labranza manual con camellones y sin camellones, LM con tracción animal y no labranza), sobre el rendimiento y otras características agronómicas del maíz y el frijol, encontrando que los rendimientos de los mismos no fueron afectados de manera importante por los métodos de labranza.

En este trabajo se evaluó el impacto de la LM y LC en la producción de materia seca (MS) del frijol Tuy durante el ciclo del cultivo (CC), la distribución entre los diferentes órganos de la planta, la evolución del área foliar (ÁF), la producción y algunas propiedades físicas en un suelo Mollisol de Maracay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y tratamientos evaluados

El estudio de acumulación de biomasa del frijol Tuy se realizó en el tratamiento de rotación maíz-frijol, sembrado con LM y LC se enmarca dentro de una investigación, la cual se evalúa el efecto de estos tipos de labranza en los sistemas de producción maíz-soya, maíz-frijol y maíz-rastrojo-maíz, en un suelo clasificado como Fluventic Haplustolls, ubicado en el Campo Experimental del CENIAP-INIA, Maracay, estado Aragua a 10°17' Norte y 67°37' Oeste.

El frijol (segundo cultivo de la rotación maíz-frijol) se sembró en la época norte-verano, sin riego, para evaluar el impacto de LM y LC en características del suelo relacionadas con el almacenamiento y suministro del agua (p.ej. Da, infiltración, capacidad de almacenamiento del agua, entre otros).

Se escogió al azar cuatro de las repeticiones del frijol en cada uno de los tratamientos de LM y LC. Se sembró en las parcelas experimentales una superficie de 50 m² del frijol, el 23 de noviembre del 2006, a distancia de 0,50 m entre hilera y 0,05 m entre planta, correspondiendo a una densidad de 400 000 plantas.ha⁻¹.

La LC consistió en la preparación del terreno mediante tres pases de rastra a una profundidad de hasta 20 cm y la LM en un pase de rotativa. En ambos sistemas de labranza se realizó a "coa" la siembra de frijol. Durante el CC se registraron en el sitio experimental las principales características agroclimáticas (temperatura máxima, temperatura mínima del aire y radiación solar) en una base diaria.

En cada uno de los sistemas de labranza evaluados se demostró en los horizontes 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm: contenido de fósforo extraído con bicarbonato de sodio por colorimetría (Olsen *et al.*, 1954); potasio extraído con bicarbonato de sodio por espectrofotometría de absorción atómica; calcio y magnesio en extracto de Morgan (acetato de sodio) aplicando el método anterior; MO por combustión húmeda (Walkley y Black); pH por el método potenciométrico, en una relación suelo-agua 1:2,5; conductividad eléctrica por el método conductimétrico en relación suelo-agua 1:5; distribución de tamaño de partículas por Bouyoucos, todos ellos como lo refiere Gilabert *et al.* (1990).

Durante el estudio se realizaron tres aplicaciones del insecticida Lannate en dosis de 30 cc por cada 16 l de agua a 22 y 36 días después de la siembra (DDS) y se realizó el control de maleza de manera manual.

Determinación del contenido de humedad y propiedades físicas del suelo

La determinación del contenido de humedad se realizó en ocho períodos durante el ciclo del cultivo (al momento de la siembra, a los 12, 18, 27, 36, 46, 53 y 60 DDE), a 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm de profundidad. En cada una de las repeticiones de LM y LC, en la fecha y profundidades indicadas, se tomó una muestra compuesta, luego se colocaron en estufa a 105 °C hasta su peso constante (Pla, 1977).

La evaluación de Da, macro y microporosidad e infiltración, se efectuó después de la cosecha, en muestras no disturbadas con dos reproducciones en cada una de las repeticiones de LM y LC, utilizando un muestreador tipo Uhland con cilindro de aluminio de 4,7 cm de diámetro y 5 cm de altura, como lo indica Pla (1977) en los diferentes horizontes.

Así mismo, se analizaron los contenidos de humedad a 1/10 y 15 Bar de succión, los cuales representan los contenidos de humedad a capacidad de campo (HCC) y humedad en el punto de marchites permanente (HPMP) como lo sugiere Pla (1977).

Para la determinación del agua faltante acumulada durante el CC, se utilizó la contenida en el perfil del suelo al inicio y final de cada período y la lámina de lluvia en el período de estudio. En el término de agua faltante se incluye la consumida por el cultivo, la evaporada directamente desde la superficie del suelo y la que se pierde por escorrentía y lixiviación, como lo sugiere Jones (1996).

Determinación de la producción de materia seca, área foliar y rendimiento

Durante el CC se analizó la producción de MS aérea (hojas, tallo, y frutos) a los 12, 18, 27, 36, 46, 53, 60, 67 y 74 DDE y la producción de grano al final del mismo.

En cada muestreo se cosechó el material presente en un metro de hilera en los hilos de tres a ocho de cada parcela. Éste, fue separado en hojas, tallos, vainas y granos; se colocó en estufa a 65 °C hasta peso constante.

Para el ÁF y la MS se seleccionaron dos plantas en cada uno de los muestreos indicados (12, 18, 27, 36, 46, 53, 60, 67 y 74 DDE). El ÁF se determinó mediante el equipo Escaner Delta-T Scan en el Laboratorio de Ecofisiología del Área de Recursos Agroecológicos del

INIA-CENIAP, una vez calculada las hojas, fueron colocadas en estufa a 65 °C para la determinación de la MS.

El cálculo del rendimiento del frijol en cada uno de los tratamientos de labranza, se realizó mediante la cosecha de 6 m en las hileras cinco y seis; se evaluó la MS aérea total (tallo y hojas) y la producción del grano.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con la ayuda del programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1998), empleando los procedimientos general linear methods (GLMs), promedios (Means) y regresión (Reg). Para la prueba de Media se empleó Tukey ($\alpha = 10$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se indican las temperaturas máximas y mínimas del aire, radiación solar y precipitación diaria, durante el CC, los 15 mm ocurrió en los primeros 15 d; los 4 y 6 mm entre los 15-30 y 30-60 d, respectivamente. Estos resultados sugieren que el cultivo dependió del agua almacenada en el suelo.

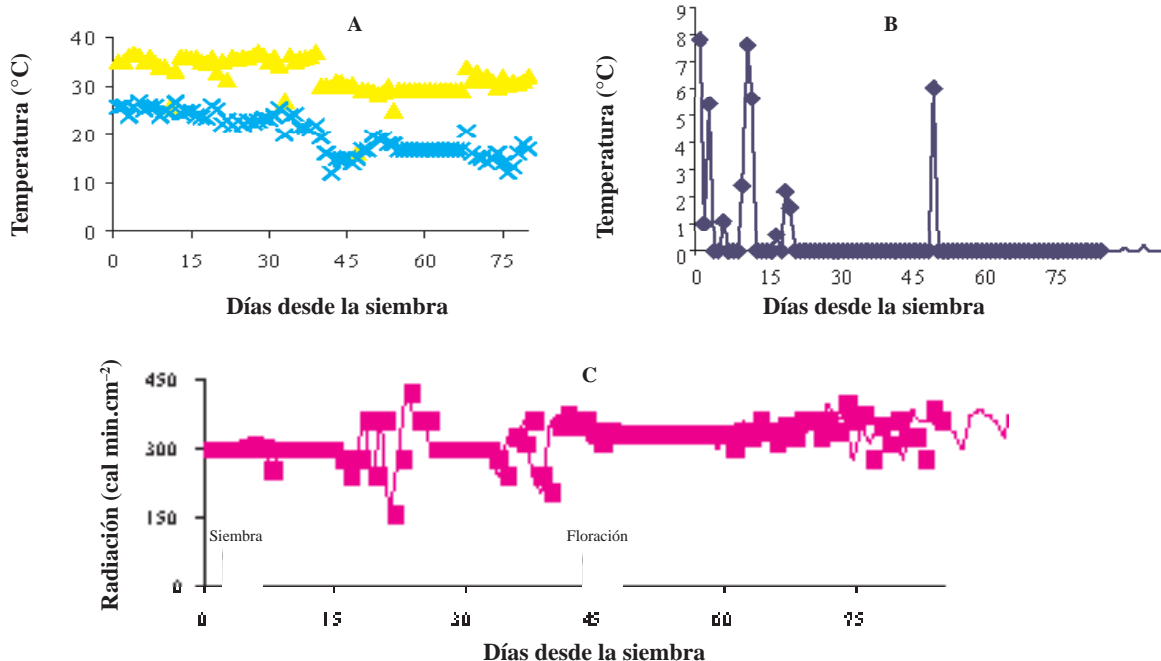


FIGURA 1. Temperatura máxima y mínima del aire (A), precipitación (B) y radiación solar (C), durante el ciclo del cultivo.

En el Cuadro se presenta los resultados de fertilidad del suelo (P, K, Ca, Mg, %MO), demostrando que poseen de media a elevada capacidad de suplencia de nutrientes, característico de estos suelos aluviales del orden Mollisol, además, demuestran niveles bajos de conductividad eléctrica, revelando que no existen problemas de salinidad en el mismo.

Los datos de temperatura, especialmente la mínima que ocurre por la noche, luego de los 40 d cuando se inicia la floración, fueron inferiores a 27 °C siendo limitantes en esta etapa según lo señala Hall (2004), donde los rendimientos se reducen hasta un 50%.

Producción de MS total y distribución en órganos de la planta durante el ciclo del cultivo en los diferentes sistemas de labranza

No se observó diferencia significativa en la acumulación de MS en hojas, tallos y MS total entre LM y LC en los muestreos durante el CC. La excepción se encontró en la MS en hojas a los 27 DDE y LC fue mayor (100,95 kg.ha⁻¹) que en LM (68,8 kg.ha⁻¹).

En la Figura 2 se muestra la acumulación de MS en órganos de la planta, durante el CC, promediado entre

los tipos de labranza. Se observa que en las hojas ocurrió un incremento de MS hasta los 60 DDE donde alcanzó su máximo valor (248,2 kg/MS ha⁻¹), destacando que la MS a los 46 DDE (182,4 kg/MS ha⁻¹) fue estadísticamente similar al alcanzado a los 60 DDE, sugiriendo que la acumulación de MS de hojas logró valores cercanos al máximo en ese período.

La acumulación de MS en el tallo tuvo un comportamiento similar al indicado para la hoja donde la máxima ocurrió a los 60 DDE (391,1 kg/MS ha⁻¹); contrariamente, la MS en el fruto se incrementó desde los 53 hasta los 67 DDE. Por otra parte, hasta los 36 DDE la MS en las hojas fue ligeramente superior que en los tallos, pero a partir de los 46 DDE la situación se revierte al final del CC, observándose diferencias estadísticas a los 36 DDE.

Además, la acumulación de MS total reflejó que el máximo ocurre a los 67 DDE (1 063,1 kg/MS/total ha⁻¹), aún cuando este valor fue similar al obtenido a los 60 DDE (880,1 kg/MS ha⁻¹). El relevante incremento de la MS total entre 53 y 67 DDE, se debe en parte a la MS del tallo y fruto, y en menor proporción a la MS de la hoja.

CUADRO. Principales propiedades químicas y de fertilidad del suelo donde se evaluó el frijol sembrado en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Tipos de labranza	Prof (cm)	Análisis químico					Análisis mecánico (%)				Clase textural
		P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	M.O (%)	C.E (dS.m ⁻¹)	a	L	A	
LM	0-5	42,5	194,3	665,5	220,0	2,6	0,12	43	40	17	F
	5-10	34,0	108,0	599,0	200,0	2,0	0,09	43	37	20	F
	10-20	25,3	118,5	719,5	199,5	2,1	0,08	41	38	21	F
	20-30	13,5	101,5	769,0	215,8	2,0	0,07	38	39	23	F
	30-40	13,3	88,0	784,5	216,5	1,9	0,07	39	35	26	FA
	40-50	10,3	99,3	755,3	217,0	1,6	0,07	40	37	23	F
LC	0-5	39,8	167,5	664,0	202,0	2,6	0,13	44	40	16	F
	5-10	38,3	157,3	683,0	206,5	2,5	0,10	46	36	18	F
	10-20	27,3	113,3	738,3	217,0	2,2	0,09	39	39	22	F
	20-30	15,3	96,3	783,0	231,0	1,9	0,08	36	40	24	F
	30-40	14,5	93,0	810,5	243,0	2,0	0,07	36	40	24	F
	40-50	10,0	84,8	951,8	251,0	1,8	0,10	34	43	23	F

Los valores son promedio de las repeticiones por horizontes.

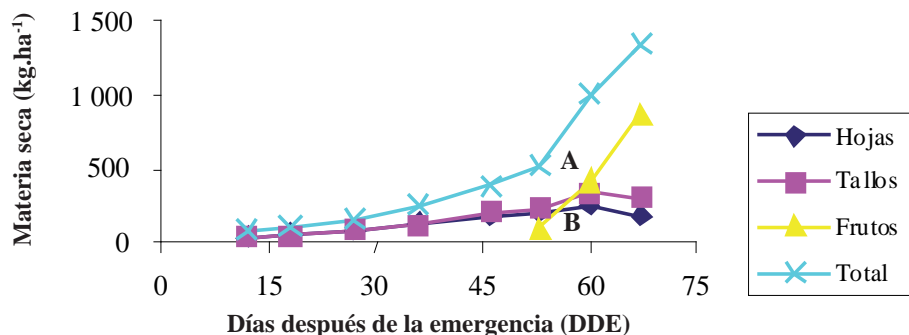


FIGURA 2. Acumulación promedio de materia seca en hojas, tallos, frutos y total durante el ciclo del cultivo del frijol.

Por consiguiente, la acumulación relativa de MS en cada muestreo con respecto a la máxima observada durante el CC para LM y LC (Figura 3), indicó que hasta los 53 DDE se depositó el 44,2 y 46,3% de la MS total en LM y LC, respectivamente. En este sentido, a los 60 DDE fue de 74,8 y 90,8% para los mismos tipos de labranza, evidenciándose que en un lapso de 7 d (desde 53 hasta 60 DDE) se acumuló el 30,6 y 44,5%. Así mismo, en el período entre 60 y 67 DDE se recolectó el 25,2 y 9,2%, desde 53 hasta 67 DDE el 55,8 y 53,7% de la MS total acumulada durante el CC para LM y LC.

El patrón acumulación de MS total coincide con el plantamiento de Fageria *et al.* (1990) para frijol, donde observaron que a los 43 DDG se depositó alrededor del 51% y entre los 43 y 56 DDG cerca de 40%. Por otra parte, Jacquinet (1967) encontró que en las variedades del frijol Tuy de ciclo corto, a los 38 y 57 DDS se había almacenado en un promedio de 8 y 35% de la MS,

resultando un incremento a los 58 d, asociado al aumento de la misma en tallos y frutos.

Es importante destacar, que el mejoramiento de la producción del cultivo para ese período de gran acumulación de MS y frutos, se debe proveer al cultivo nutrientes y agua adecuadamente. De igual manera, Hall (2004) señala que la producción de frijol en plantas afectadas en la acumulación de MS y AF por estrés hídrico, previo a la floración, depende de la actividad fotosintética que se realiza durante y después de la floración, por cuanto el suministro adecuado de nutrientes y agua podría contribuir al incremento de la MS.

En otros trabajos, Craufurd y Wheeler (1999) presentan para algunas variedades del frijol evaluadas una significativa correlación entre la MS acumulada en los períodos de floración, madurez y producción de grano, señalando que aproximadamente el 70% está dirigida hacia el grano.

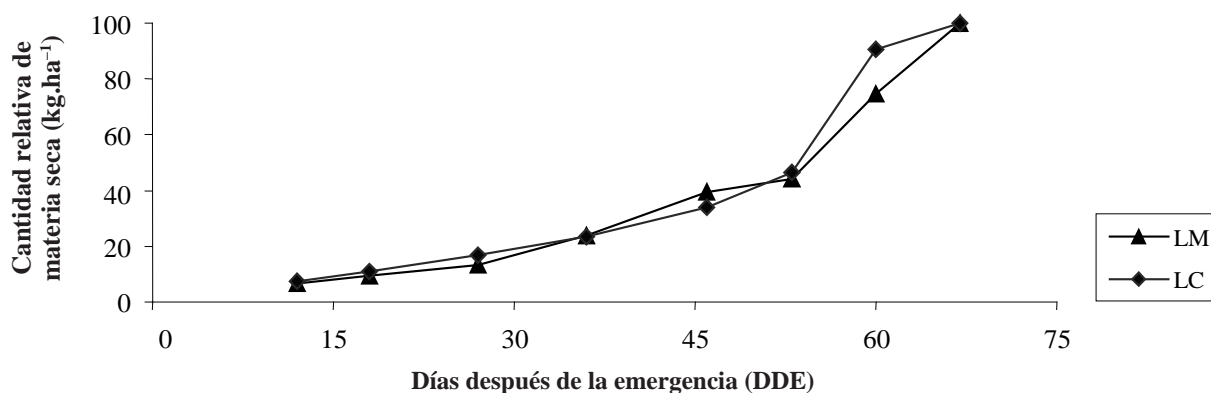


FIGURA 3. Distribución relativa de materia seca total durante el ciclo del cultivo en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Del análisis de distribución y acumulación de la MS en los diferentes órganos de la planta durante el CC, no hubo diferencias entre LM y LC. En promedio la MS en las hojas y tallos alcanzó el máximo a los 60 DDE, evidenciando que en las hojas es más rápida que la relativa en tallos durante el ciclo del cultivo. A los 53 DDE se recolectó cerca del 81% de MS de las hojas y 66% en tallos, mientras que en ese período se produjo 46% de la MS total en LM y LC.

En este sentido, se sugiere que la acumulación de MS en las hojas, normalmente es más rápida que en los otros órganos de la planta y la producida a los 53 DDE se orienta mayormente a frutos y en menor proporción a tallos y hojas.

Producción del frijol Tuy cultivado bajo labranza mínima y labranza convencional

En relación a la producción del grano no se detectaron diferencias significativas entre LM y LC (Figura 4) y los rendimientos obtenidos fueron inferiores a los reportados para esta variedad por Scavo (1999). Otros estudios de caracterización del frijol en Colinas del Guárico, estado Guárico (Gutiérrez *et al.*, 2001) obtuvo rendimientos de 1 895 y 1 732 kg.ha⁻¹ en cero labranza y sistema convencional. De igual manera, Flores *et al.* (2005) en evaluación de variedades del frijol cultivado en Maracay, estado Aragua, reportaron rendimientos entre 1 127 y 1 606 kg.ha⁻¹. Igualmente, Márquez *et al.* (2003) presentaron sus estudios de evaluación sobre el efecto de la aplicación de “mulch” y fertilización fosfórica en el rendimiento del frijol.

Los bajos rendimientos obtenidos en esta investigación, se deben, entre otros factores, al déficit hídrico en gran parte del CC producto del bajo o casi nulo suministro de agua por precipitaciones y elevadas temperaturas, debido a los contenidos de humedad en todos los horizontes del suelo cercanos o por debajo de la HPMP, hasta los 50 cm de profundidad (Figura 1).

Dinámica del área foliar durante el ciclo del cultivo

En la Figura 5 se presenta la evolución del ÁF durante el CC para LM y LC. En ambos sistemas de labranza se demuestra un patrón bastante similar hasta los 46 DDE. En el período entre los 12 y 27 DDE el ÁF se incrementa casi de manera lineal alcanzando un nivel más o menos constante durante el final del ciclo en LM, a 46 DDE en LC. En LC el ÁF logró el máximo entre los 46 y 53 DDE. Sin embargo, superó de manera significativa (Tukey $\alpha=10\%$) los valores de LM a los 67 DDE (0,008480 y 0,011628 m² en LM y LC, respectivamente).

El ÁF luego de los 46 DDE en LC, permaneció casi inalterable, pudiéndose asociar al incremento en el contenido de humedad del suelo y a una menor Da en los horizontes 0-5 y 5-10 cm, observándose semejanza en LM, pero, presentado una mayor Da.

El máximo de ÁF obtenido en LC coincide con Craufurd (1996), quien demostró que ocurrió a los 7 d luego de la floración, declinando rápidamente. Por otra parte, Alves *et al.* (2002) señalaron que normalmente esto ocurre entre los 45 y 60 DDS.

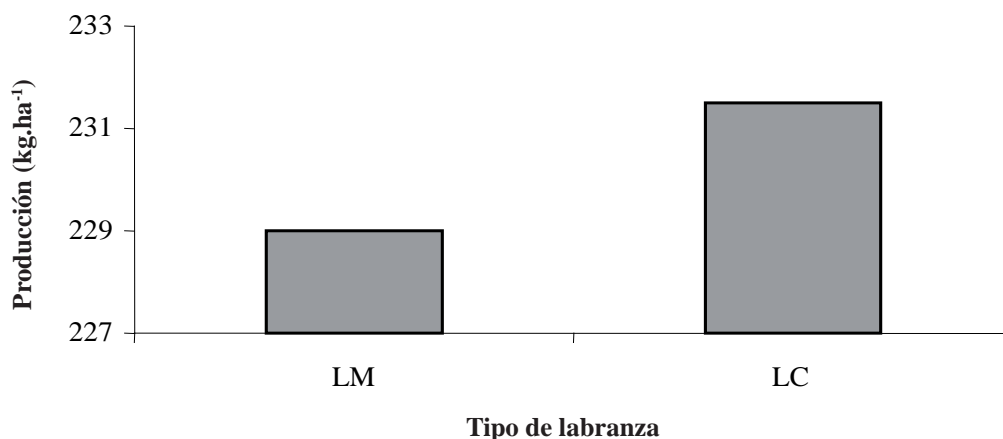


FIGURA 4. Producción de grano en frijol cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

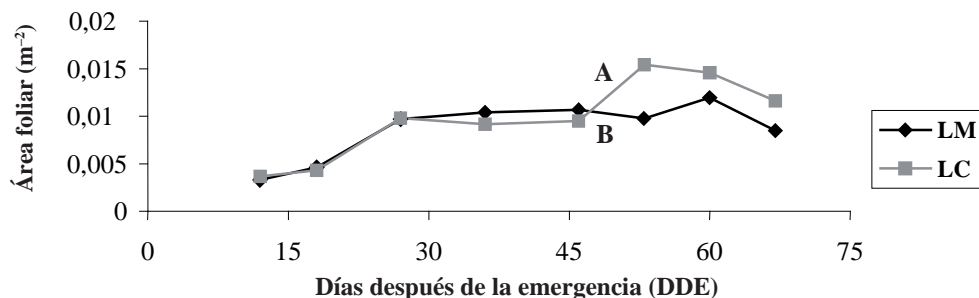


FIGURA 5. Dinámica del área foliar en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Impacto del tipo de labranza en propiedades del suelo y relación con parámetros del cultivo

En las Figuras 6 y 7 se presenta la lámina de agua en los diferentes horizontes del suelo durante el CC para LM y LC. Las muestras utilizadas concluyen que en relación a la lámina total de agua acumulada entre 0 y 50 cm, en el perfil del suelo no se detectaron diferencias entre ambas labranzas.

En relación al contenido de humedad de los diversos horizontes (Figuras 8 y 9) no se observaron diferencias significativas entre LM y LC, a excepción del momento de la siembra y a los 46 DDE en el horizonte 0-5 cm, que fue significativamente superior en LM.

En el análisis de la dinámica del contenido de humedad, se observó su disminución en todos los horizontes y en ambos sistemas de labranza de manera continua hasta los 46 DDE, incrementándose luego, debido a la ocurrencia de lluvias (Figura 8 y 9), continuando su descenso hasta el final del CC. Es probable que este aumento en el horizonte 10-20 cm en LC (asociado a la presencia de lluvias entre 46 y 56 DDE, contrario a lo observado en LM donde

fue menos evidente el aumento) se debió a que el suelo presenta menor D_a en los horizontes 0-5 y 5-10 cm y a una elevada tasa de infiltración; permitiendo más flujo de agua a mayor profundidad, como se demuestra en el análisis de las propiedades físicas del suelo.

Es evidente que el contenido de humedad en los horizontes 0-5 y 5-10 cm es más bajo que en los 50 cm de profundidad. En general, éste disminuyó en la medida que se penetra en el perfil del suelo siguiendo el orden: 0-5 < 5-10 < 10-20 < 20-30 < 30-40 < 40-50 cm. Esta situación puede deberse al consumo de agua de la planta a través del sistema radicular, evaporación directa desde el suelo y movilización por capilaridad de los horizontes inferiores hacia los superiores, en la medida que el agua es consumida por evapotranspiración.

En relación a la influencia del contenido de humedad del suelo en el desempeño del cultivo (Figuras 8 y 9), se presentan la evolución volumétrica de la misma durante el CC en los diferentes horizontes en LM y LC, comparándose con el contenido de HCC estimado a una succión de 1/10 de bar y la HPMP valorada a 15 bar de succión.

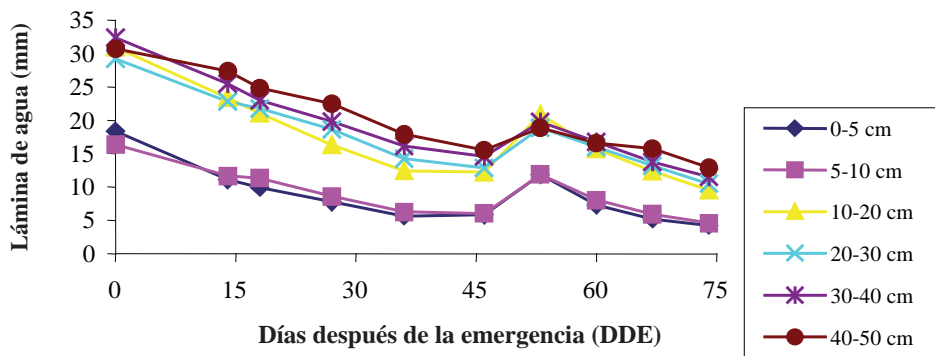


FIGURA 6. Lámina de agua total en horizontes en el perfil del suelo para labranza mínima.

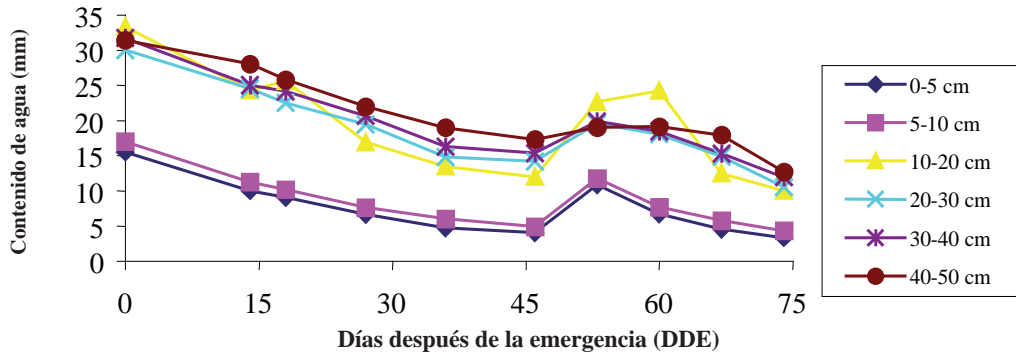


FIGURA 7. Lámina de agua total en horizontes en el perfil del suelo para labranza convencional.

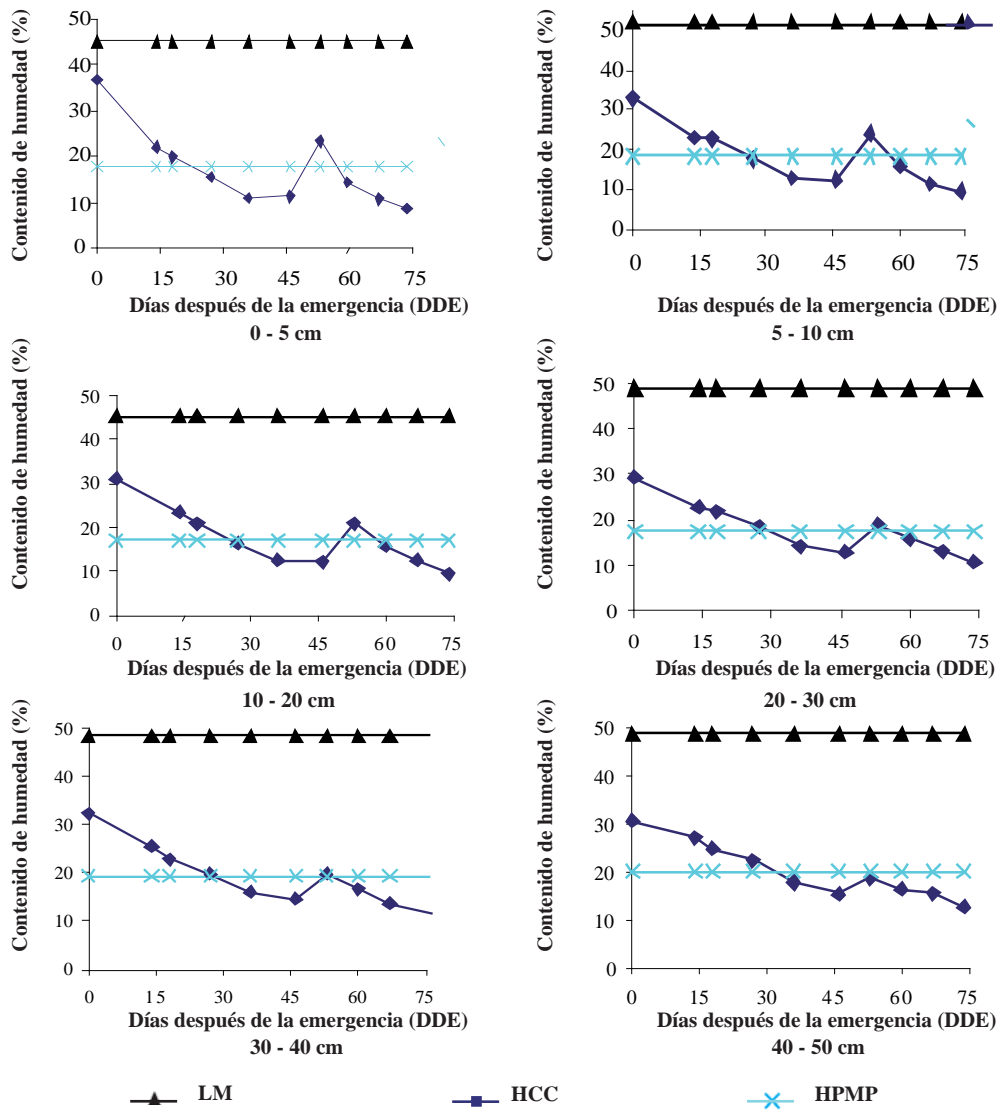


FIGURA 8. Dinámica del contenido de humedad volumétrica (HCC y HPMP) en los diferentes horizontes en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo en labranza mínima (LM).

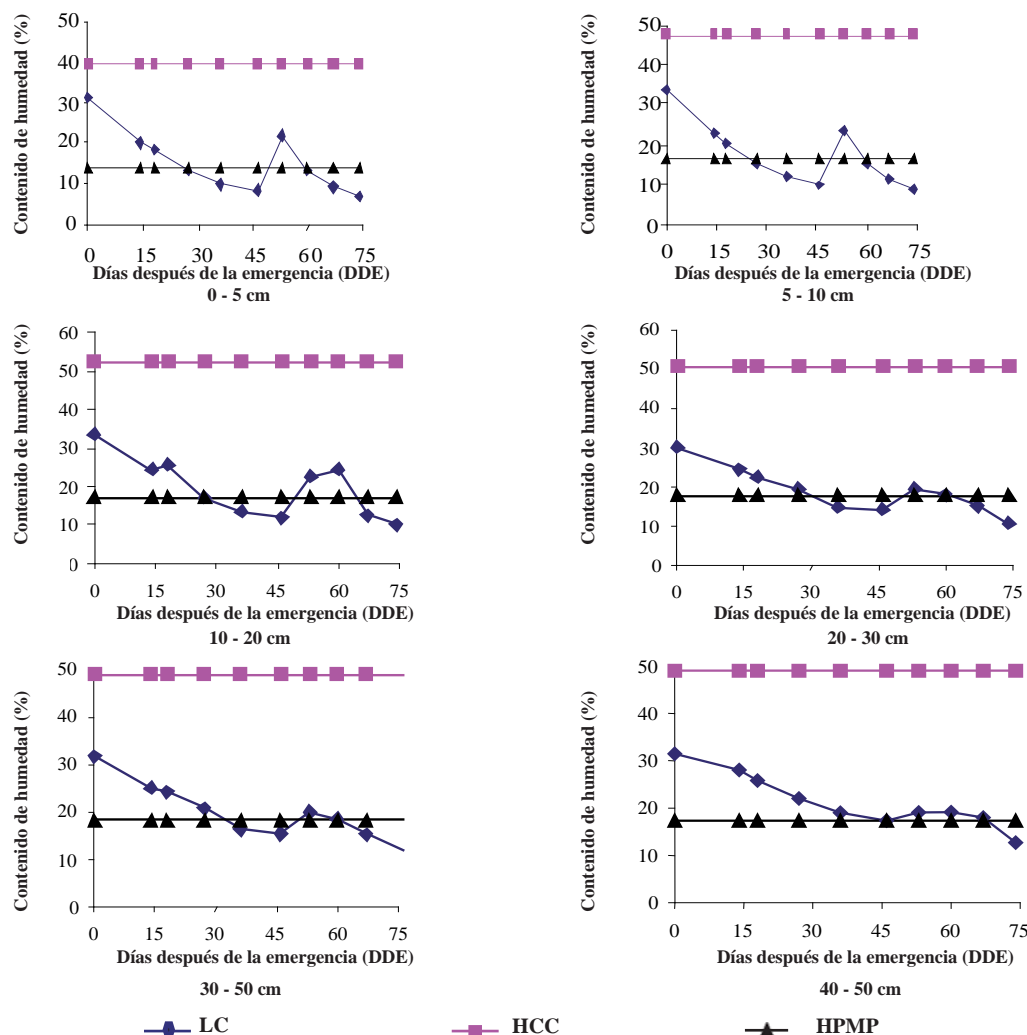


FIGURA 9. Dinámica del contenido de humedad volumétrica (HCC y HPMP) en los diferentes horizontes en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo en labranza convencional (LC).

En general, el contenido de humedad en LM y LC de los horizontes 0-5, 5-10 y 10-20 cm se mantuvo entre HCC y HPMP durante los primeros 18 y 53 DDE. Por otra parte, los horizontes 20-30, 30-40 y 40-50 cm en este contenido se mantuvo a los 27 y 53 DDE por un período más prolongado.

Lo antes indicado sugiere que el agotamiento diferencial del agua en los horizontes entre 0-20 y 20-50 cm puede deberse, entre otros factores, al patrón de crecimiento o exploración del suelo por el sistema radicular.

En un análisis del patrón de desarrollo del sistema radicular en el frijol que saldrá publicado en otro estudio, fue evaluado en LM y LC (data no mostrada) indicando que a los 14, 20, 27 a 46, 53 y 60 DDS había explorado los

horizontes 0-5, 0-5 y 5-10 a 20, 30 y 40 cm, respectivamente. Por otra parte, el cultivo logró alcanzar el final del ciclo de crecimiento y mostró producción de granos, reflejando la capacidad de adaptarse a condiciones de estrés hídrico (Hall, 2004).

Relación entre la producción de materia seca y el consumo de agua

En la Figura 10 se presenta la relación entre la producción de MS total, la lámina de agua faltante durante el CC para LM y LC, así como, los dos sistemas de labranza evaluados de manera conjunta. De la misma forma, se observó que un modelo de regresión cuadrático, que expresa el 80, 69 y 70% la variación de la MS producida en LM, LC y el análisis de la información de forma conjunta. Igualmente,

Adekalu y Okunade (2006) demostraron que en el frijol existe una relación lineal significativa entre producción y lámina de agua utilizada para diferentes sistemas de labranza, además, indican que la eficiencia de utilización del agua faltante es más elevada en LC y labranza reducida que en LM y labranza manual.

En la Figura 11 se presenta el índice de eficiencia de uso de agua en diferentes períodos durante el CC. Éste, se calculó mediante la división de la MS producida en un tiempo determinado entre la lámina de agua faltante en el suelo, similar a lo indicado por Jones (1996).

En general, se observó que el índice fluctuó entre 1,15 y 4,6 en los primeros 36 DDE e incrementó entre 13,2 y 27,3 kg MS.mm⁻¹ agua faltante. Los valores más elevados ocurrieron después de la floración debido a que

la mayor cantidad de MS producida corresponde con la formación del fruto y la mayor eficiencia por unidad de lámina de agua faltante, luego a los 36 DDE se confirma lo indicado por Hall (2004) quien señaló que plantas severamente afectadas por el estrés hídrico perdieron notablemente el ÁF y MS. En relación a las plantas bien regadas, produjeron similar cantidad del grano cuando se les restableció el suministro de agua, indicando que la producción del grano depende en gran parte de la fotosíntesis que ocurre luego de la floración.

Además, Hulugalle y Lal (1986) señalaron eficiencias del uso del agua para frijol sembrado en monocultivo o intercalado entre hileras con maíz (entre 0,5 y 2,1 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ agua) en condiciones de sequía y régimen de humedad favorable, respectivamente.

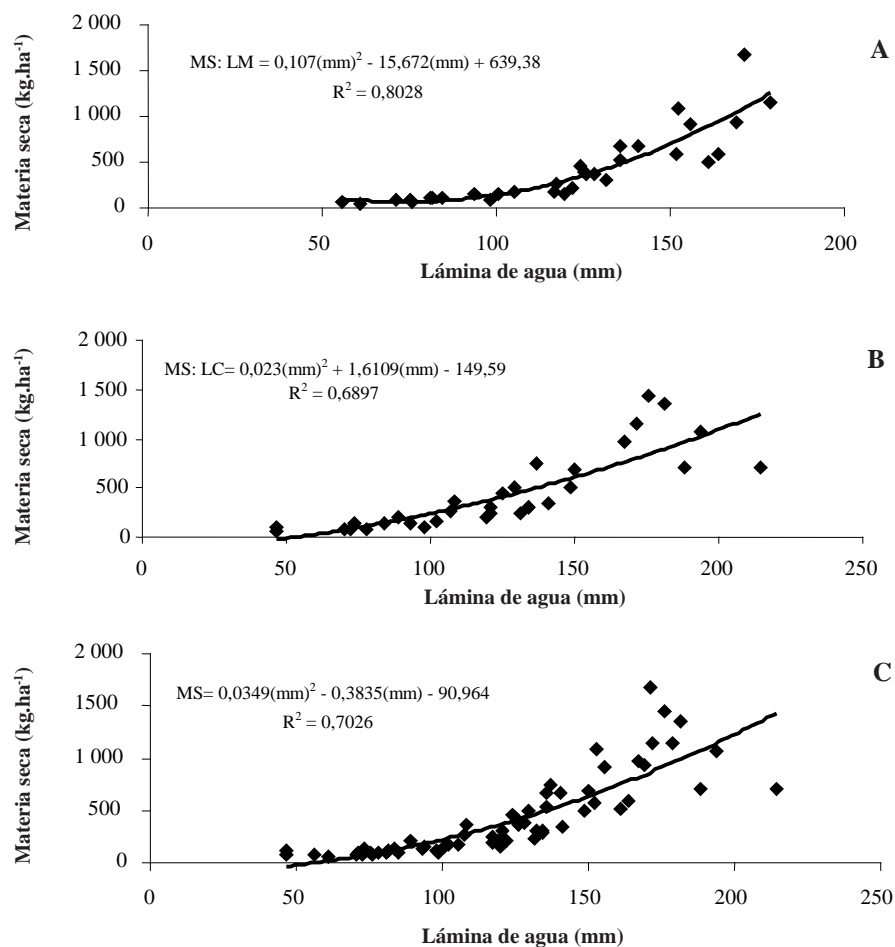


FIGURA 10. Relación entre la lámina de agua faltante y producción de la materia seca (MS) en: A) labranza mínima (LM); B) labranza convencional (LC); C) cuando se considera ambos sistemas de manera conjunta.

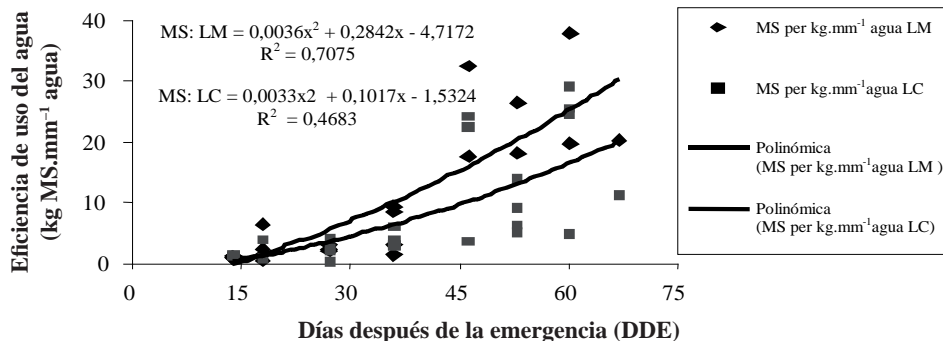


FIGURA 11. Índice de eficiencia de uso de agua en diferentes períodos durante el ciclo del cultivo.

Por su parte, Detar (2009) presentó cifras de $0,93 \text{ kg.m}^{-3}$ el 2005 y $0,75 \text{ kg.m}^{-3}$ en el 2007, para la producción del frijol, que es equivalente a $9,3$ y $7,5 \text{ kg MS.mm}^{-1}$ agua, siendo del mismo orden de magnitud a los valores demostrados.

Así mismo, Ismail y Hall (1993) reportaron eficiencia de uso de agua por frijol cosechada a floración en condiciones de buen suministro de humedad que oscilan entre $3,56$ y $5,38 \text{ g MS.kg}^{-1}$ agua, estos niveles son ligeramente superiores a los obtenidos en este trabajo, donde la floración (46 DDE) fue de $2,26$ y $2,33 \text{ g MS.kg}^{-1}$ agua (datos no mostrados).

En otros estudios de evaluación de sistemas de producción que incluyen el frijol y el maíz sembrados intercalados o como monocultivos, realizado por De Barros *et al.* (2007) quienes demostraron valores de eficiencia de uso de agua en la producción de biomasa total promedio entre años, de $1,43 \text{ g.l}^{-1}$ que corresponde a $1,43 \text{ kg MS.mm}^{-1}$, reflejando la misma magnitud los resultados obtenidos en este estudio en las etapas iniciales del CC.

En la Figura 12 se muestran los valores para: macroporosidad, microporosidad, porosidad total, D_a , infiltración, HCC y HPMP por horizontes en LM y LC. En la macroporosidad no hubo disimilitudes, en el caso de microporosidad se observaron diferencias significativas a los 30-40 cm ($33,7$ y $37,7\%$, respectivamente). En cuanto a la porosidad total, los valores fueron a los 30-40 cm ($45,6$ - $51,2\%$) y 40-50 cm ($45,6$ - $50,2\%$). Para ambos casos fue mayor en LC.

En los horizontes la D_a presentó diferencias significativas entre 0-5 ($1,46$ y $1,33 \text{ g.cm}^{-1}$) y 5-10 cm ($1,56$ y $1,48 \text{ g.cm}^{-1}$), igualmente, la infiltración no evidenció cambios estadísticamente importantes cuando se evaluó

a través de los horizontes entre LM y LC. En los 0-5 y 5-10 cm la infiltración fue más elevada en LC, mientras que entre 10 y 30 cm se elevó en LM y por debajo de ellos, fueron similares en LM y LC.

Finalmente, no se observó diferencias para el HPMP, aunque en la HCC se registraron en los horizontes 0-5 ($39,0$ - $35,3\%$) y 10-20 cm ($35,9$ - $41,8\%$).

CONCLUSIONES

- No se observó efecto del tipo de labranza en el patrón de acumulación y cantidad de MS y solo fue evidente en el ÁF que fue más elevado en LC a partir de los 53 DDE, posiblemente asociado a la escasa disponibilidad de agua durante el CC.
- Una gran proporción (aproximadamente 55%) de la MS total del frijol se acumuló en un período corto, luego de la floración, sugiriendo que para mejorar la producción del cultivo se debe evaluar el impacto de la suplencia de agua y nutrientes en ese período.
- Se evidenció el impacto del tipo de labranza en algunas de las características de los horizontes en el perfil del suelo. El contenido de humedad del horizonte 0-5 cm en el momento de la siembra y a los 46 DDE fue superior en LM que en LC, mientras que en LC se observó una mayor proporción de macroporos a los 30-40 y 40-50 cm y de microporos en el horizonte 30-40 cm en relación a LM.
- La D_a de los horizontes 0-5 y 5-10 cm y el contenido de HCC ($1/3$ de bar) del horizonte 0-5 cm fue más elevado en LM que en LC, mientras que en el horizonte 10-20 cm la HCC fue mayor en LC.

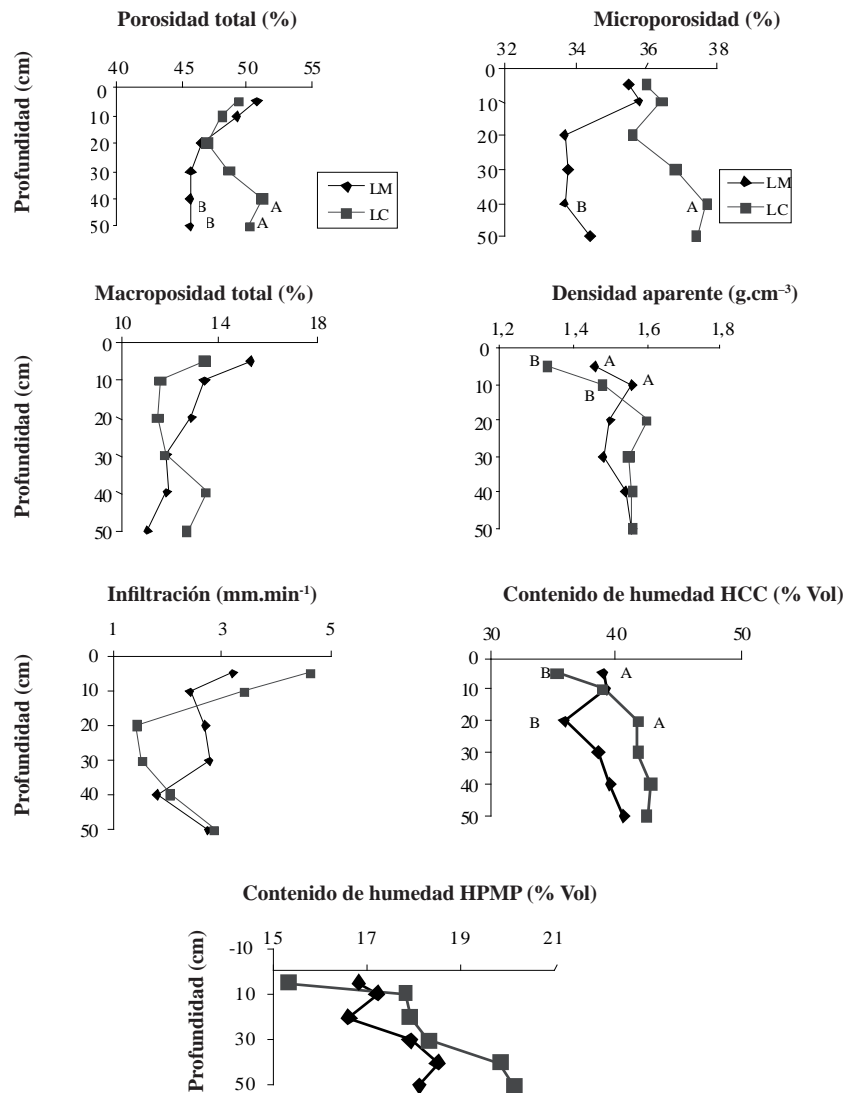


FIGURA 12. Algunas características físicas e hidrofísicas en diferentes horizontes del suelo bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC) en Maracay.

- La producción de MS total se relacionó significativamente con la lámina de agua faltante durante el CC.
- El índice de eficiencia de uso del agua fue bajo en las etapas iniciales del CC, pero el mismo se incrementó luego de la floración y formación del fruto coincidiendo con el período de mayor tasa de acumulación de MS.
- Se recomienda realizar estos estudios en condiciones de riego y en otras localidades con diferentes tipos de suelo y clima donde se siembre frijol.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeoye, K. B. 1982. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil on yield of maize, sorghum and cotton. *Soil and Tillage Res.* 2(3):225-231.
- Adekalu, K. O. and D. A. Okunade. 2006. Effect of irrigation amount and tillage system on yield and water use efficiency of cowpea. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 37(1-2):225-237.
- Alves, E. A., M. V. Folegatti, R. Teixeira, A. Soares and M. J. Cardoso. 2002. Simulation of growth and

- development of irrigated cowpea in Piauí state by CROPGRO model. *Pesq. Agropec. Brasil.* 37(10).
- Boscán, D. 1987. Caraota y frijol. Serie Petróleo y Agricultura. FUSAGRI Ed. N° 11. 95 p.
- Charreau, C. et E. T. R. Nicou. 1971. L'amélioration du profil cultural dans sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Quest-Africaine et ses incidences agronomiques. *L'Agronomie tropicale*, vol XXVI.
- Craufurd, P. Q. 1996. Effect of plant population density on dry matter partitioning and yield in short duration cultivar of cowpea (*Vigna unguiculata*) grown in the tropics. *Journal of Agricultural Science. Cambridge.* 127:89-96.
- Craufurd, P. Q. and T. R. Wheeler. 1999. Effect of drought and plant density on radiation interception, radiation use efficiency and partitioning of dry matter to seeds in cowpea. *Expl. Agric.* 35:309-325.
- Coote, D. R. and C. A. Malcolm. 1989. Effects of conventional and no-till corn grown in rotation on the soil eastern Ontario, *Soil and Tillage Res. Canada.* 14(1):67-84.
- De Barros, I., T. Gaiser, F. Lange and V. Romheld. 2007. Mineral nutrition and water use patterns of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic soil of the tropic semiarid. *Field Crops Res.* 101(1):26-36.
- Detar, W. 2009. Crop Coefficients and Water Use for Cowpea in the San Joaquin Valley of California. *Agricultural Water Management.* 96(1):53-66.
- Enciclopedia Agropecuaria Terranova. 1995. Producción Agrícola 1. Tomo II. Colombia. 128-130 pp.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar and C. A. Jones. 1990. Growth and mineral nutrition of field crops. 1st ed. Marcel Dekker, Inc. EUA.
- Flores, C. M., P. M. Madriz, R. Warnock y A. Trujillo. 2005. Evaluación de altura de plantas y componentes del rendimiento de seis genotipos del género *Vigna* en dos localidades de Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 22: 15 p.
- Gilabert, J., I. López y R. Pérez. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de Suelos para Diagnóstico de Fertilidad). FONAIAP. Serie D. Maracay. N° 26. 164 p.
- González, R. 1993. Efecto de la labranza mínima y prácticas agronómicas asociadas sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en los Llanos altos del estado Monagas. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.
- Gutiérrez, W., C. Medrano, M. Materan, Y. Villalobos, D. Esparza, J. Báez y B. Medina. 2001. Evaluación del rendimiento y nodulación del frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp bajo dos sistemas de labranza en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo, Venezuela. *Fac. Agron. LUZ*, 18:237-246.
- Hall, A. E. 2004. Comparative Ecophysiology of Cowpea, Common Bean, and Peanut. In: H.T. Nguyen y A. Blum (ed.). *Physiology and biotechnology integration for plant breeding.* EE.UU. 271-325 pp.
- Hill, R. L and R. M. Cruse. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two mollisols. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 49(1):270-273.
- Hulugalle, N. R. and R. Lal. 1986. Intercropped Maize and Cowpea Grown in a Tropical Hydromorphic Soil in Western Nigeria. *Agron. J.*, 78:86-90.
- Ismail, A. M. and A.E. Hall. 1993. Inheritance of carbon isotope discrimination and water-use efficiency in Cowpea. *Crop Sci.* 33:498-503.
- Jacquinet, L. 1967. Croissances et alimentations minerales comparees de quatre varietes de niébe. *L'Agronomie Tropicale* N° 6-7:575-640.
- Jones, H. G. 1996. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd ed. Cambridge University Press, EE.UU. 428 p.
- Larson, W. E. 1964. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:119-120.
- Madriz, P. M. 1997. Guía de teoría de leguminosas alimenticias. etapa III. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay.
- Marcano, F. 1988. Algunas experiencias sobre el uso de la mínima labranza en suelos maiceros del estado Portuguesa. I Taller nacional sobre labranza mínima. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay.

- Márquez, R., T. Córdova, L. Castejón, y A. Higuera. 2003. Efecto de la aplicación de cobertura vegetal de *Cenchrus ciliaris* L. y fertilización fosfórica sobre el porcentaje de control de malezas, rendimiento y concentración de fósforo en semillas de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp., Re. Fac. Agron., 20:12 p.
- Matos, M. 1987. Análisis de grupos y regresión lineal múltiple para la evaluación de variedades de frijol (*Vigna unguiculata*). Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 43 p.
- Maurya, P. R. 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and physical properties of and irrigate sandy loam soil in northern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 8:161-170.
- Moscheler, W. W., G. M. Shear, D. C. Martens, G. D. Jones and R. R. Wilmouth. 1972. Comparative yield and fertilizer efficiency of no-till and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, 64:229-231.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir. N 939. Washington. EE.UU.
- Ortega, S. 1993. Situación de la investigación en frijol en el FONAIAP; perspectivas y limitantes. Memorias Taller Nacional: Leguminosas Comestibles. FONAIAP-CENIAP. Estado Lara. 143-151 pp.
- Phillips, R. E., R. L. Blevins, G. W. Thomas, W. W. Frye and S. H. Phillips. 1980. No tillage agriculture. *Science*, 208:1 108-1 113.
- Pla, I. 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnostico de problemas de manejo y conservación de suelos, en condiciones tropicales. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 112 p.
- Singh, T. A., G. W. Thomas, W. W. Moschler and D. C. Martens. 1966. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no tillage and conventional practices. *Agro. J.*, 58:147-148.
- Scavo, K. M. P. 1999. Evaluación de 4 cultivares de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), en suelos de Colinas del Guárico. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 54 p.
- Statistical Analysis System. 1988. SAS/Stat User's guide. Versión 7.0 Statistical analysis system institute. Cary, EUA.
- Terry, A., B. Cassel and G. Wollom. 1981. Effects of soil sample size and included root and wood on bulk density in forested soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:135-144.
- Varco, J. J., W. W. Frye, M. S. Smith and C. T. MacKown. 1989. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:822-827.
- Zaffaroni, E., H. H. De Barros, I. A. M. Nóbrega, J. T. De Lacerda e V. E. De Souza. 1991. Efeito de métodos de preparo do solo na productividades e outras características agronômicas do milho y feijao no nordeste do Brasil. *Rev. Brasileira de Ciência do solo*. Campina, 15:99-104.