

ACUMULACIÓN DE S, Ca, Mg, Fe, Zn Y Mn Y RELACIÓN CON LA MATERIA SECA EN FRIJOL CULTIVADO BAJO LABRANZA MÍNIMA Y CONVENCIONAL EN UN MOLLISOL DE VENEZUELA

ACCUMULATION OF S, Ca, Mg, Fe, Zn AND Mn AND THEIR RELATIONSHIP WITH DRY MATTER PRODUCTION IN COWPEA GROWN UNDER MINIMUM AND CONVENTIONAL TILLAGE IN A MOLLISOL SOIL OF VENEZUELA

Rodolfo Delgado*, Evelyn Cabrera de Bisbal*, Lesce Navarro** y María Paredes***

*Investigadores, **Ingeniero Agrónomo y ***Técnico Asociado a la Investigación. INIA-CENIAP. Aragua. Venezuela.
E-mail: rdelgado@inia.gob.ve; ecabrera@inia.gob.ve; mparedes@inia.gob.ve.

RESUMEN

En Venezuela se requiere información sobre la acumulación de nutrimentos por el frijol, *Vigna unguiculata* L. Walp y su relación con la producción de materia seca (MS) para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes y la cantidad de nutrimentos a aplicar. En este estudio se evaluó la acumulación de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn por la variedad frijol Tuy, sembrada bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC), en un suelo Mollisol del estado Aragua. La concentración de los nutrimentos evaluados fue similar en LM y LC, excepto S que resultó más elevado en LC. El patrón de acumulación de nutrimentos fue semejante en LM y LC, aunque mayor en LC entre 11-32% del S, Zn, Mg y Fe, de 55-59% del Ca y Mn se acumularon en los primeros 43 días después de la germinación (DDG) y 68-89% del Ca y 45-61% del Mn se acumuló entre los 43 y 58 DDG. La mayor absorción de nutrimentos en LC, está asociado con una menor densidad aparente (Da) entre 0 y 10 cm, mejorando el desarrollo radical. En LM la función cuadrática describe mejor la relación entre MS producida y nutrimento absorbido, al contrario mientras que en LC donde la función lineal está más destacada. En LM otro factor pudo afectar la absorción de nutrimentos, que en el caso de LC la producción de MS se podría incrementar mediante el manejo de la fertilización.

Palabras Clave: absorción; frijol; labranza; nutrimentos; *Vigna unguiculata* L. Walp.

SUMMARY

In Venezuela there is a need for information regarding nutrient accumulation by cowpea, *Vigna unguiculata* L. Walp and their relationship with dry matter production (DM), to improve the efficiency of use of fertilizer, and the amount of nutrient to apply. In this study the absorption of S, Zn, Ca, Mg, Fe and Mn by cowpea (Tuy variety), sowed under minimum (MT) and conventional tillage (CT), was evaluated in a Molisol soil of the Aragua State. The concentration of the nutrients evaluated were similar in MT and CT, with the exception of S, which was higher in CT. The pattern of the nutrient accumulation was similar in NT and CT, although the amount of nutrients taken up was higher in CT. Between 11-32% of the S, Zn, Mg and Fe, and between 55-59% of Ca and Mn were accumulated during the first 43 days after germination (DAG), while between 68-89% of the first, and 45-61% of the latter were accumulated between the 43-58 DAG. Probably in CT the higher accumulation of nutrients was associated to a lower soil bulk density in the soil layers between 0-10 cm, which improve the development of the root system. In MT there was a quadratic relationship between DM and the amount of nutrient accumulated, which suggest that some other soil factor could affect the nutrient absorption, while in CT there was a lineal relationship, which suggest that the crop production could be increased by improvement of the fertilizer management.

Key Words: absorption; cowpea; tillage; nutrients; *Vigna unguiculata* L. Walp.

RECIBIDO: diciembre 16, 2009

ACEPTADO: junio 27, 2010

INTRODUCCIÓN

El frijol, *Vigna Unguiculata* L. Walp, constituye un alimento fundamental de la dieta de los venezolanos, sin embargo, en el país sólo se cultiva alrededor de 20 000 ha, siendo la mayor parte sembrada en pequeñas explotaciones orientadas al autoconsumo. El rendimiento nacional promedio es de 570 kg.ha⁻¹ (Marquez *et al.*, 2003). Por lo general, es cultivado en el ciclo norte-verano donde se aprovecha el agua y los nutrimentos almacenados en el suelo luego de la cosecha de los cultivos principales de invierno (maíz).

La importancia del conocimiento del patrón de acumulación de nutrimentos del frijol, señalado por Delgado *et al.* (2009a), indicaron que en estudios de N, P, K y materia seca (MS), ésto podría permitir el diseño de prácticas de manejo para mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes, agua de riego y la determinación de las cantidades de nutrimentos requeridos para incrementar la producción del cultivo. Igualmente, ajustaría las dosis utilizadas para su aplicación en períodos del ciclo del cultivo (CC) en mayor proporción, con la consecuente rebaja de las pérdidas de nutrimentos al reducir el tiempo de acción de factores o procesos del suelo como lixiviación, absorción y desnitrificación.

En Venezuela existe poca información sobre el patrón y cantidad de nutrimentos acumulados del frijol, la mayor parte de los estudios normalmente están orientados hacia la evaluación de variedades y caracterización de materiales genéticos (Flores *et al.*, 2005), prácticas de manejo (densidad de siembra), evaluaciones agronómicas (determinación de producción), el impacto de utilización de frijol en rotación con cereales (maíz) y efectos de la fertilización y coberturas en la concentración de nutrimentos de la semilla (Márquez *et al.*, 2003). Por otra parte, se conoce que el tipo de labranza puede afectar la cantidad de nutrimentos absorbidos y con ello la producción de MS y rendimiento o producción de los cultivos.

No obstante, Varco *et al.* (1989) detectaron diferencias significativas en el patrón de acumulación de N en el cultivo maíz bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC), en esta última ocurre una mayor absorción de nitrógeno (N) hasta la aparición de la inflorescencia femenina, mientras que en LM fue más elevada en la etapa de llenado del grano, aún cuando al final no se evidenciaron diferencias significativas en el N total absorbido entre los dos sistemas de labranza.

En este estudio se evaluó el patrón de acumulación de S, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn en el cultivo de frijol variedad Tuy bajo LM y LC en un suelo Fluventic Haplustoll

de Maracay, estado Aragua, que fue utilizado como base para estimar los requerimientos, así como, las etapas importantes del CC en la cual estos elementos se acumulan en mayor cantidad, permitiendo conocer la mejor época de aplicación de los mismos en forma de fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental y del ensayo: el estudio se realizó en un suelo Fluventic Haplustoll ubicado en el Campo Experimental del INIA-CENIAP, en Maracay, estado Aragua, a 10° 17' N y 67° 37' O, para evaluar la rotación de maíz-frijol, maíz-soya, maíz-rastrajo cultivado en LM y LC. Las principales características del sitio experimental son indicadas por Delgado *et al.* (2009c) y Gámez (2009), presentado en el Cuadro, observándose las diferencias del suelo según el tipo de labranza y de manera más notable la densidad aparente (Da) en el horizonte 0-10 cm de profundidad, la cual fue menor en LC. De este modo, la acumulación de MS y de nutrimentos en los diferentes órganos de la planta (durante el CC del frijol) se realizó en tres de las repeticiones del tratamiento maíz-frijol en LM y LC. Cada parcela presentó un área de 50 m² (5 m * 10 m), donde se sembró el frijol variedad Tuy a una distancia entre hilos de 0,5 m y entre plantas de 0,05 m (densidad de siembra de 400 000 plantas.ha⁻¹). En LC el suelo se preparó mediante tres pases continuos de rastra, mientras que en LM sólo se disturbó una banda o franja entre 5-8 cm del hilo de siembra, para la colocación del fertilizante. La siembra se realizó aproximadamente a 3-4 cm de profundidad.

Evaluación de acumulación y distribución de materia seca y nutrimentos: las evaluaciones de MS se realizaron a los 15, 29, 43, 58 y 73 días después de la germinación (DDG). Para cada muestreo se seleccionaron tres plantas en cada una de las tres repeticiones de LM y LC, separándolas en hojas, tallos, frutos (vainas, granos). La MS total se determinó colocando el material fresco en estufa a 65 °C hasta peso constante. El material vegetal, una vez retirado fue molido y tamizado a 2 mm para el cálculo de la concentración de S, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn. La determinación de S se realizó por digestión en seco mediante el analizador elemental LECO (1998), el Ca, Mg, Fe, Zn y Mn por digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno (Jones, 1991), también, el análisis por absorción atómica. La captación de nutrimentos se expresó sobre la base de la cantidad total (mg) de S, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn absorbido por las tres plantas cosechadas.

CUADRO. Principales características físicas y de fertilidad del suelo en los tratamientos de labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC). Tomado de Delgado *et al.*, 2009b.

Profundidad (cm)	Parámetros de suelo															
	P disponible mg.kg ⁻¹	K disponible mg.kg ⁻¹	Materia orgánica (%)	pH 1:2,5	Da (g.cm ⁻³)	Micro-porosidad (%)	Macro-porosidad (%)	Humedad a capacidad de campo (%)	Humedad en el punto marchites permanente (%)							
	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC	LM	LC						
0-5	31	55	2,97	2,77	6,70	6,68	1,64a	1,62b	37,6	38,2	17,3	19,3	39,0a	35,3b	16,8	15,3
15-10	25	35	2,23	2,00	6,86	6,69	1,74	1,70	42,0	36,6	13,4	14,5	39,2	39,0	17,2	17,8
10-20	17	26	2,11	1,74	7,11	7,00	1,72	1,73	38,4	36,0	14,4	16,5	35,9b	41,8a	16,6	17,9
20-30	14	19	1,94	1,65	7,49	7,30	1,69	1,68	41,1	33,2	15,2	17,0	38,6	41,8	19,9	18,3
30-40	13	11	2,03	0,91	7,58	7,70	1,73	1,68	44,1	34,1	12,6	18,2	39,6	42,8	18,5	19,8
40-50	8	5	1,35	0,40	5,38	7,89	1,67	1,70	42,6	36,8	13,1	16,0	40,7	42,5	18,1	20,1

Análisis estadístico: el análisis de la varianza, prueba de media y análisis de regresión, se realizó mediante el programa estadístico SAS (1998) empleando los procedimientos siguientes: 1) Métodos lineales generales (MLG), que usa el método de mínimos cuadrados para ajustar el modelo lineal general que se emplea para la regresión, varianza y covarianza, entre otros. 2) Promedios, para el análisis descriptivo de las variables estudiadas (ejemplo: la media y desviación estándar). 3) Regresión, se realiza entre algunas de las variables interpretadas. Para la prueba de media se utilizó Tukey ($\alpha = 5\%$); el análisis se realizó como un diseño completamente aleatorizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn durante el ciclo del cultivo: en la Figura 1 se presenta la acumu-

lación total de micronutrientos y en la Figura 2 la acumulación relativa (con relación al máximo obtenido durante el CC) para LM y LC.

La acumulación de micronutrientos resultó superior en LC que en LM durante el CC, aunque fue estadísticamente significativa a los 58 DDG en S, Zn, Mg y Fe. En el caso del S se mostró más elevado en LC a los 15 y 43 DDG. En LC la captación de nutrientes de mayor a menor siguió el orden $Mg > S > Ca > Fe > Mn = Zn$, mientras que en LM se asemejó con la variación de $Ca > S (Mg > Ca > S > Fe > Mn = Zn)$. En los primeros 43 DDG, la acumulación relativa promediada entre LM y LC (Figura 2) fue 32%, 11%, 55%, 25%, 23% y 59% para S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn, respectivamente, mientras que a los 58 DDG alcanzó 95% para S y 100% para los otros micronutrientos. Lo antes indicado denota la absorción de nutrientes luego de la floración y en el período de formación de fruto.

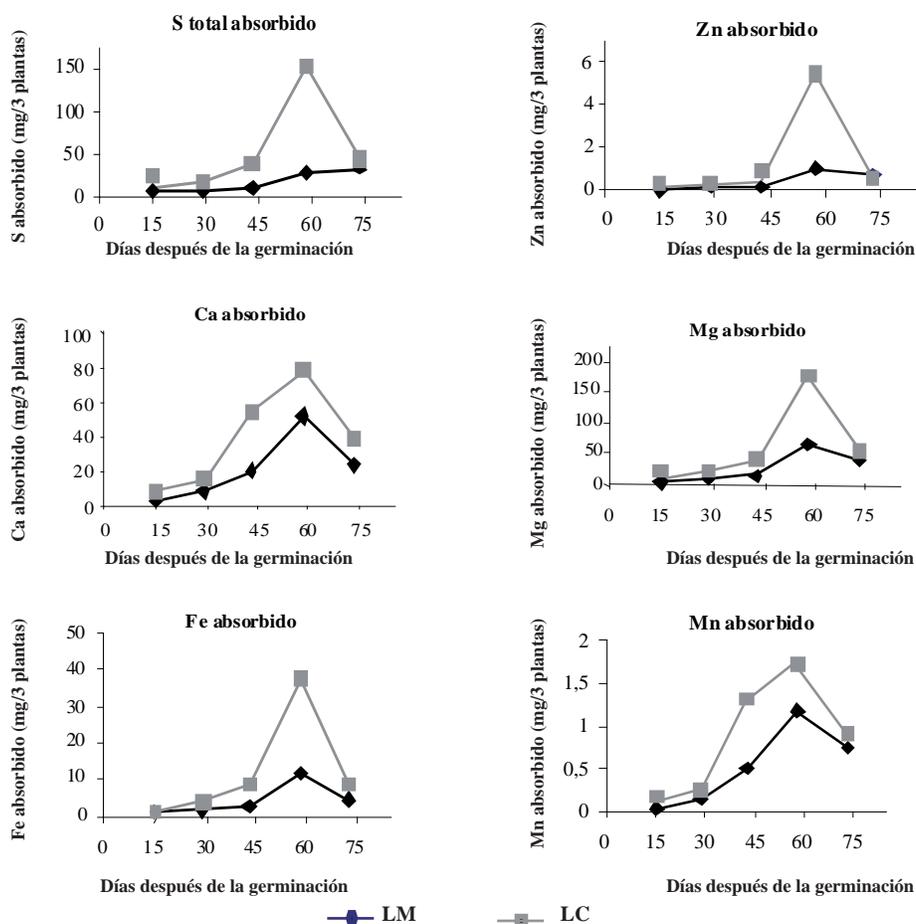


FIGURA 1. Acumulación total de S, Zn, Ca, Mg, Fe, y Mn durante el ciclo del cultivo del frijol Tuy cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

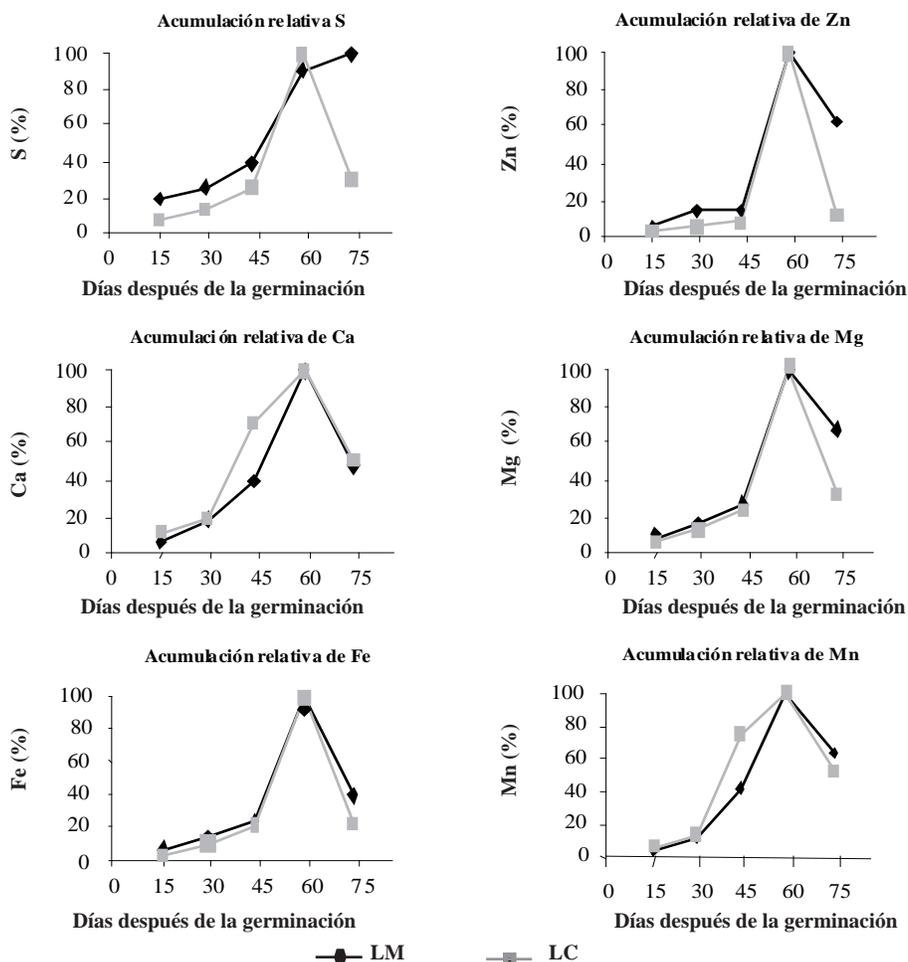


FIGURA 2. Acumulación relativa de S, Zn, Ca, Mg, Fe, y Mn durante el ciclo del cultivo del frijol, cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Por su parte, Jacquinet (1967) en estudios realizados con diferentes variedades de frijol, observó que las de ciclo corto (70-90 d) absorben una gran proporción de S, Ca y Mg luego de los 57 DDS, coincidiendo con la etapa reproductiva. En otras leguminosas de comportamiento similar, Bertsch (2003) señaló para frijol común una elevada absorción de S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn, seguido de la floración en el proceso o etapa de llenado del grano.

En cada uno de los sistemas de labranza evaluados, la cantidad de micronutrientes en tallos y hojas son aproximadamente similares hasta los 43 DDG, siendo más elevados en tallos (incluye órganos florales y frutales iniciales), seguido del fruto, luego en las hojas (Figura 3). A los 58 DDG, en LC la cantidad de nutrientes

absorbidos, a excepción de Ca y Fe, fueron significativamente más elevados en tallos, mientras que en LM sólo la cantidad absorbida de S fue mayor en éste, que en las hojas.

La acumulación más elevada de nutrientes totales a los 43 DDG coincide con la mayor acumulación de MS total en ese período y almacenaje de nutrientes en tallos y frutos, luego de los 43 DDG concuerda con un depósito superior de MS en esos órganos, como lo indicaron Delgado *et al.* (2009a). Los resultados de Jacquinet (1967) demostró que la mayor cantidad de MS total se acumuló en el período reproductivo del frutos >tallos >hojas. Además, entre 42-55% del S, 32-83% del Mg y 21-27% del Ca absorbido ocurrió entre 57-70 d en las variedades de ciclo corto evaluadas, período en el cual se acumuló aproximadamente el 30% de MS total.

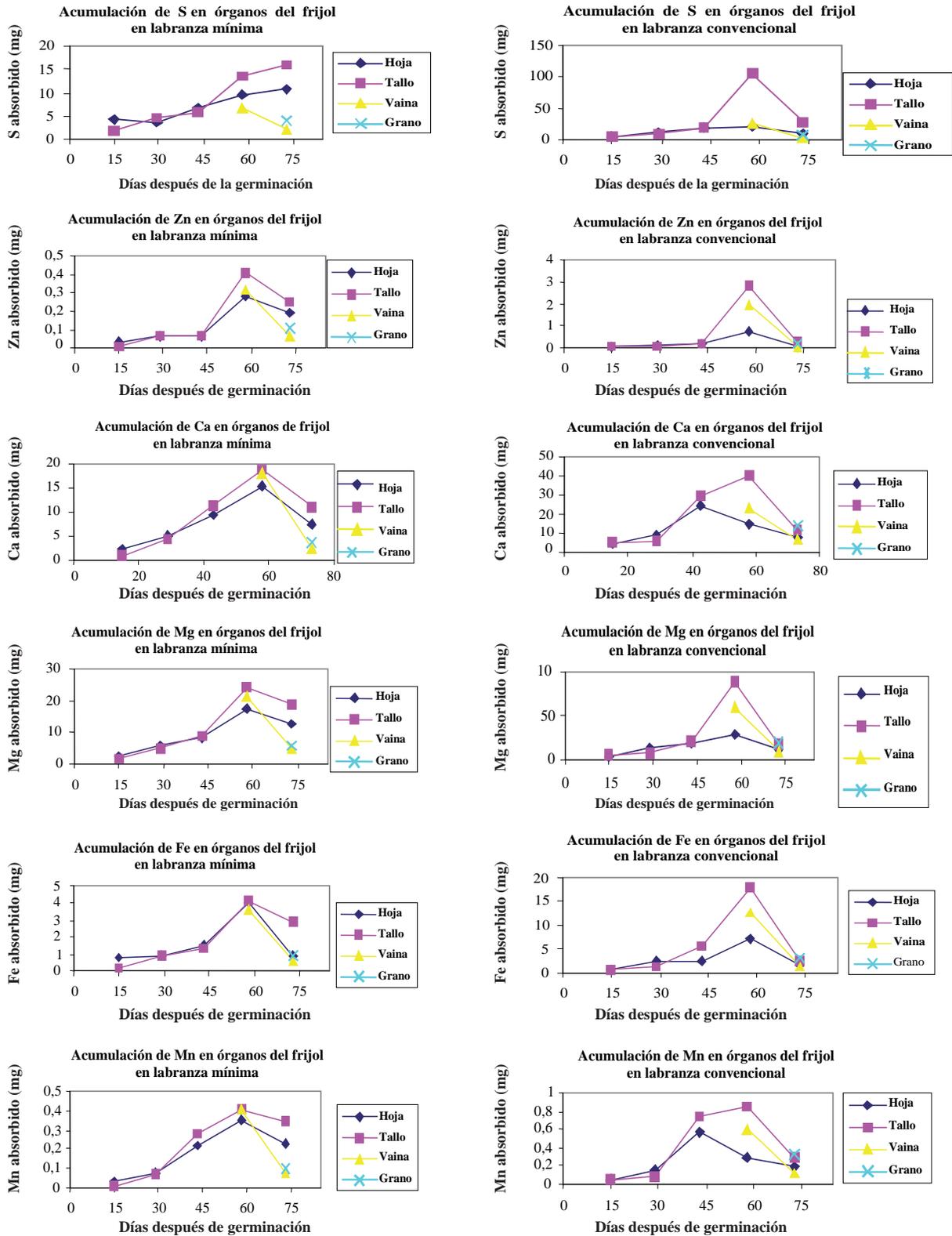


FIGURA 3. Acumulación de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn en diferentes órganos del frijol en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Así mismo, Jacquinet (1967) observó que la cantidad de S en los tallos fue superior que en las hojas, para el Ca la situación se invirtió durante todo el CC. En una variedad el Mg resultó mayor en tallos y en la otra mayor en hojas.

Concentración de micronutrientes durante el ciclo del cultivo: en la Figura 4 se presenta la concentración de los nutrientes promediados para LM y LC. Para Zn, Ca, Mg, Fe y Mn durante el CC fue similar, excepto a los 43 y 58 DDG en S y Zn, siendo significativamente más elevada en LC y a los 58 DDG en Ca, Fe y Mn para LM, LC y LM, respectivamente. Para Mg no se detectó diferencia significativa entre LM y LC en ningún muestreo. Así mismo, en S, Zn, Mg y Fe decreció desde 15 hasta 43 DDG, luego se incrementó. Al contrario, en Ca y Mn se observó el máximo de concentraciones a los 43 DDG, seguidamente disminuyó.

Por otra parte, en S fue más elevada en LC durante el CC, aunque sólo de manera significativa a los 43 y 58 DDG.

Aún cuando, estos valores con LM fueron inferiores a los de LC, estuvieron por debajo del punto crítico (35 mg.kg^{-1}), según Fageria *et al.* (2006).

De igual manera, en Mg (expresada en g.kg^{-1} MS) estuvo en la misma proporción a las indicadas por Fageria *et al.* (1990), quienes reportaron variación de Mg entre 2,8 y $4,5 \text{ g.kg}^{-1}$ para niveles de P aplicado. Sin embargo, la proporción de Ca resultó inferior dado que alcanzó valores que fluctúan entre 9,6 y $12,9 \text{ mg.kg}^{-1}$.

No obstante, Fageria *et al.* (1990) realizaron estudios evaluativos en la MS aérea con la aplicación de diferentes niveles de P al suelo, resultando que la concentración de Fe fluctuó entre 100 y 200 mg.kg^{-1} , valores que fueron inferiores a los obtenidos en esta investigación, aunque estuvieron en el mismo orden de magnitud. De igual forma, para Zn y Mn (10 y 68 mg.kg^{-1}).

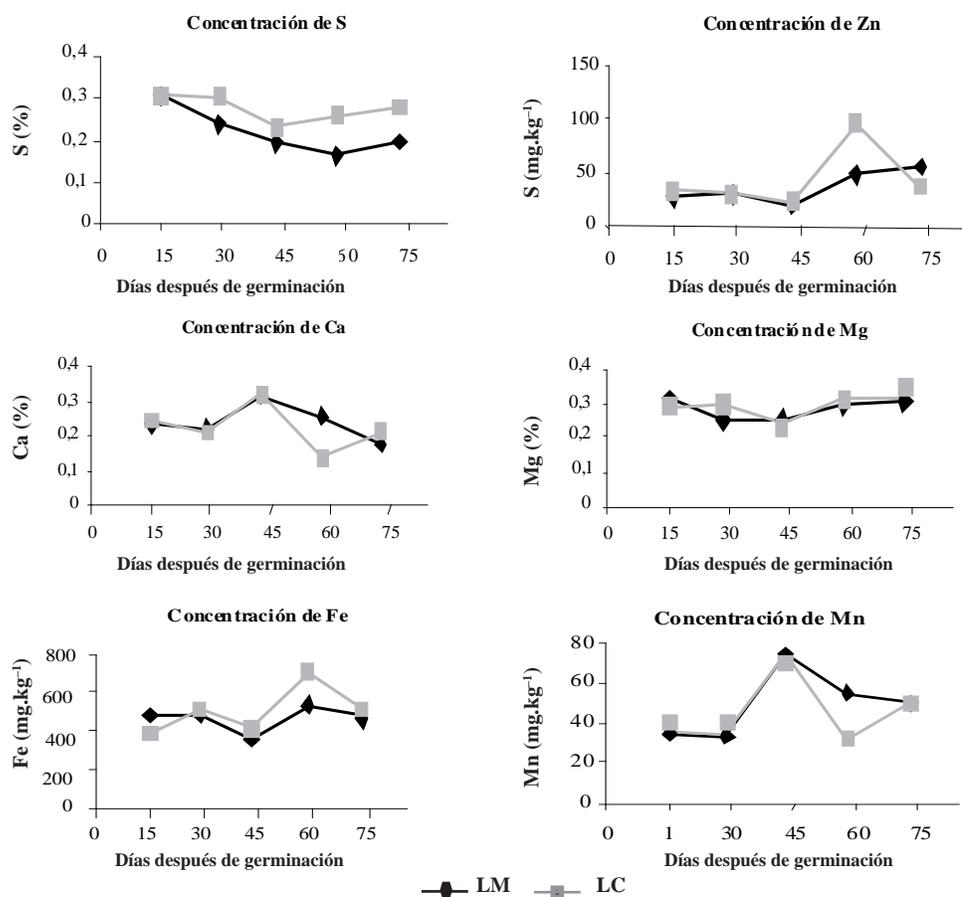


FIGURA 4. Concentración promedio de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Zn del frijol sembrado en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

Además, los niveles de Fe obtenidos (entre 11 y 100 mg.kg⁻¹) resultaron superiores a los reportados como deficientes para varios cultivos. Los niveles de Mn (entre 10 y 68 mg.kg⁻¹) y de Zn fueron superiores a los señalados como limitantes para varios cultivos.

Por lo general, las concentraciones de Zn inferiores a 20 mg.kg⁻¹ pueden generar deficiencias en los cultivos (Jones, 1991).

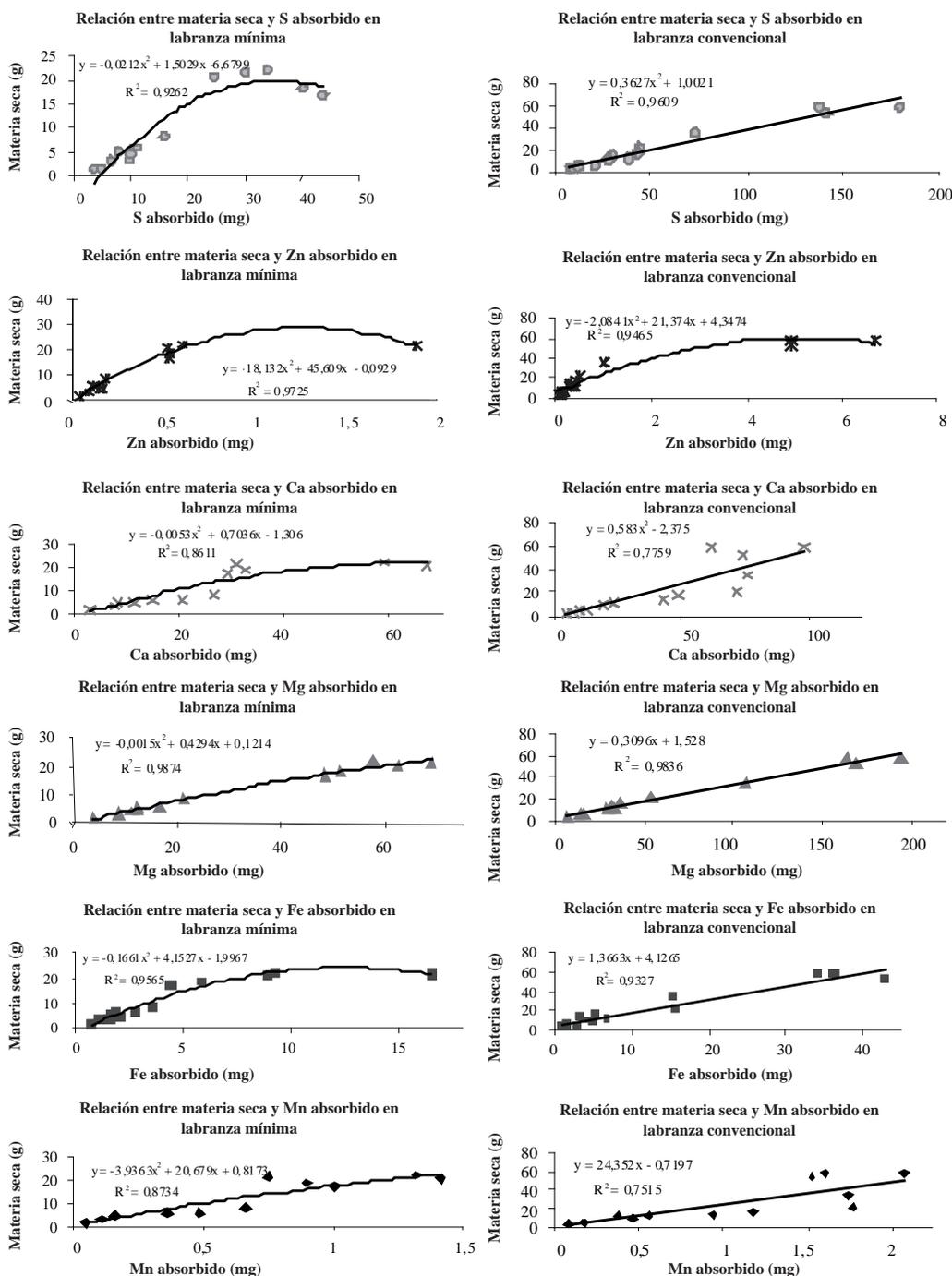


FIGURA 5. Relación entre la producción de materia seca y la cantidad de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn absorbido por frijol cultivado en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

La más baja concentración y cantidad de nutrimentos absorbido en LM, posiblemente esté relacionado con el menor desarrollo radical, debido a una elevada Da, sugerido por Delgado *et al.* (2009a), afectando el volumen de suelo explorado. Esta menor retención pudo alterar la síntesis de proteínas o enzimas.

En este sentido, Fageria *et al.* (2006) señalan que la deficiencia de S afecta la síntesis de aminoácidos importantes en las proteínas.

Relación entre producción de materia seca y nutrimentos absorbidos: en la Figura 5 se muestra la relación entre la MS producida y la cantidad total de nutrimentos absorbidos para S, Zn, Fe, Mn, Mg y Ca en LM y LC. En LM con la excepción de Mg y Mn, el modelo cuadrático se ajusta mejor a la relación entre MS producida y la cantidad de nutrimento absorbido.

En LC con la excepción de la relación entre MS producida y Zn absorbido, no reflejaron diferencias notables entre el modelo lineal y el cuadrático. Como se indicó previamente, la cantidad de nutrimento absorbido en LM fue inferior al de LC, sugiriendo que en LM pudo presentar algún factor que limitó la absorción de los nutrimentos desde el suelo.

Otro elemento que impidió la producción de MS como previamente afirman Delgado *et al.* (2009a). En LM la Da fue mayor en los horizontes de 0-5 y 5-10 cm, restringiendo el desarrollo radical y el volumen de suelo explorado, así como, la absorción de nutrimentos.

La mayor absorción de nutrimentos en LC, las significativas relaciones lineales entre MS y la cantidad de nutrimentos absorbidos, sugieren que con este sistema de labranza se podría ampliar la producción de MS y con ello, la producción del grano, pudiéndose lograr mediante la aplicación de fertilizantes, aunque se tendría que explorar hasta dónde, deja de ser el factor limitante.

CONCLUSIONES

- El patrón de acumulación de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Zn fue similar en LC y LM; sin embargo, la cantidad absoluta de nutrimentos absorbidos fue mayor en LC, especialmente en la etapa reproductiva donde el cultivo absorbe una elevada proporción de la cantidad total.
- La más baja Da en los horizontes 0-10 cm del perfil del suelo en LC permite al sistema radical explorar un volumen mayor de suelo, contrario a lo que ocurre

en LM, donde la Da del suelo es más elevada en esos horizontes, generando una menor absorción de los nutrimentos evaluados.

- Entre 68-89% del total absorbido de S, Zn, Mg y Fe, y entre 45-41% del total de Ca y Mn son obtenidos entre 43-58 DDG correspondiente a la etapa reproductiva (floración, formación y llenado del grano), mientras que el resto acontece en los primeros 43 DDG o etapa vegetativa.
- Este aspecto destaca la importancia de la evaluación de épocas y formas de aplicación de los fertilizantes en este cultivo para garantizar la suplencia y disponibilidad de los nutrimentos en el período de crecimiento de mayor requerimiento.
- Debido a que este cultivo se siembra principalmente en el período de norte-verano, donde la suplencia de agua en el suelo es limitante, se podría evaluar la aplicación de fertilizantes foliares.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1^{era} ed. San José, C.R. ACCS. 307 p.
- Delgado, R., E. Cabrera de Bisbal, B. Ortega y L. Velásquez. 2009a. Acumulación de materia seca, N, P y K en frijol cultivado bajo labranza mínima y convencional en un Mollisol de Venezuela. 59(4):401-411.
- Delgado, R., E. Cabrera de Bisbal, F. Gamez y L. Navarro. 2009b. Patrón de acumulación de materia seca y nutrimentos en frijol. (En línea) INIA Hoy # 5. Mayo-Agosto. Disponible en: <http://www.inia.gob.ve/images/stories/docman/IH05rdelgado>
- Delgado, R., L. Castro, E. Cabrera de Bisbal, M. de J. Mujica, S. Caniche, L. Navarro e I. Noguera. 2008c. Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo Fluventic Hapustoll de textura franco-arenosa de Maracay, Venezuela. *Agronomía Trop.* 58:245-255.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar and R. B. Clark. 2006. *Physiology of crop production.* Food Production Press. NY. USA. 345 p.

- Fageria, N. K., V. C. Baligar y C. A. Jones. 1990. Growth and mineral nutrition of field crops. 1^{era} edition. Marcel Dekker, Inc. NY. USA.
- Flores, C. M., P. M. Madriz, R. Warnock de Parra y A. Trujillo de Leal. 2005. Evaluación de altura de plantas y componentes del rendimiento de seis genotipos del genero *Vigna* en dos localidades de Venezuela. Rev. Fac. Agron. 22(4):354-368.
- Gámez, F. 2009. Efecto del tipo de labranza sobre el crecimiento del frijol Tuy (*Vigna Unguiculata* (L.) WALP) en un suelo de Maracay. Tesis de grado. FAGRO-UCV. Maracay, estado Aragua. Venezuela. 29 p.
- Jacquinet, L. 1967. Croissances et alimentations minerales comparees de quatre varietes de niebe. L'Agronomie Tropicale N° 6-7:575-640.
- Jones, J. B. 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. **In:** J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, y R.M. Welch (eds). Micronutrients in Agriculture. Second edition. SSSA. Madison, WI., USA. 477-521 pp.
- LECO. 1998. LECO CNS 2000. Elemental Analyzer: Instrumentation for Characterization of Organic / Inorganic materials adn microstructural Analysis. LECO corporation.
- Márquez, R., T. Córdova, L. Castejon 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. Rev. Fac. Agron. 20(4):443-452.
- Statistical Analysis System. 1988. SAS/ Stat User's guide. Version 7.0 Statistical analysis system Institute. Cary, NC. USA.
- 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.