



Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía Tropical

Agronomía Trop. / Vol. 60 / N°2 / Abril-Junio 2010/ISSN 0002-192X

AGRONOMÍA
TROPICAL
Agronomía Trop

Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Maracay, Venezuela

www.agrotrop@inia.gob.ve



AUTORIDADES INIA

DR. YVÁN GIL PINTO
PRESIDENTE

DR. ORLANDO JOSÉ MORENO
GERENTE GENERAL

DR. LUÍS C. DICKSON URDANETA
GERENTE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

DR. JONATHAN A. COHELLO ARCIA
GERENTE DE PRODUCCIÓN SOCIAL

FUNDADORES

Luis Medina (Dir.), Bruno Mazzani†, W. S. Iljin, Rafael Pontis Videla, Jesús Silva Calvo, Gino Malagutti, Guisepe Ravello, Luis A. Salas F., S. Horovitz, P. Obregón y Dora M. de Zerpa.

COORDINACIÓN EDITORIAL REVISTA AGRONOMÍA TROPICAL

Tatiana Pugh Moreno
EDITORA JEFE

Alecia Bolívar Castillo
EDITORA ASISTENTE

María Escalona Pérez
EDITORA TÉCNICA

Ana Griselda Bolívar Ulloa
SECRETARIA

Carmen Solórzano Acevedo
DIAGRAMACIÓN

Oneida Mengo Patiño
REVISIÓN TÉCNICA

Carlos Hidalgo Díaz
REVISIÓN TÉCNICA

EDITORES REGIONALES

Iraida Rodríguez Pérez, INIA-Anzoátegui
Producción Animal

Margelys Salazar de Barrios, INIA-Barinas
Geólogo Recursos Naturales

Delys Pérez, INIA-CENIAP
Economía Agrícola

Luis Vivas Carmona, INIA-Guárico
Entomología

Aleida Delgado Urbano, INIA-Lara
Economía Agrícola

Adolfo Cañizares Chacín, INIA-Monagas
Fruticultura

Douglas Altuve, INIA-Sucre
Biología Marina

Iris Silva Alarcón, INIA-Táchira
Producción Vegetal

Juan Vergara López, INIA-Zulia
Nutrición Animal

TABLA DE CONTENIDO

Artículos:	Pág.
RODRÍGUEZ, A., M. A. PULIDO M., J. C. REY B., D. LOBO L., H. ARAQUE y C. RIVERO. Efecto del pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo sobre propiedades del suelo..... Effect of trampling in pig production system on soil physical properties.	119
ACEVEDO, M., E. REYES, W. CASTRILLO, O. TORRES, C. MARÍN, R. ÁLVAREZ, O. MORENO y EDGAR TORRES†. Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI..... Phenotypic stability in irrigated rice in Venezuela using the models AMMI and Lin-Binns.	131
AGUILAR-RIVERA, N., G. GALINDO MENDOZA, C. CONTRERAS SERVIN y J. FORTANELLI MARTÍNEZ. Zonificación productiva cañera en Huasteca Potosina, México..... Productive zoning cañera in Huasteca Potosina, Mexico.	139
BORGES, J. A. y J. URDANETA. Efecto de <i>Fusarium</i> sp. en la germinación, fenología y supervivencia de plántulas de <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit..... Effect of <i>Fusarium</i> sp. in the germination, fenology and survival in <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) the Wit seedling.	155
DELGADO, R., E. CABRERA DE BISBAL, L. NAVARRO y M. PAREDES. 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 their relationship with dry matter production in cowpea grown under minimum and conventional tillage in a Mollisol soil of Venezuela.	161
BRACHO, B., O. ARNAUDE y B. LOZADA. Fenología de cultivares locales de frijol y arveja del municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira, Venezuela, basada en grados día..... Phenology of local cultivars of peas and common bean in the Rafael Urdaneta municipality, Táchira State, Venezuela base on degree days.	171
DELGADO, R., E. CABRERA DE BISBAL, F. GAMEZ y L. NAVARRO. Efecto del tipo de labranza sobre el suministro del agua y el crecimiento del frijol Tuy en un suelo Mollison de Venezuela..... Effect of the type of farming on the provision of the water and the growth of kidney bean tuyin a ground Mollisol of Venezuela.	177
SANTANA M., G. F., R. VELÁSQUEZ S. y J. MATA. Efecto de la fuente de carbono sobre la organogénesis y embriogénesis somática en cacao. Análisis citogenético..... Carbon source effect on cacao organogenesis and somatic embryogenesis. Citogenetic analysis.	193

Artículos:	Pág.
PIÑA-DUMOULÍN, G., A. OCHOA y S. MAGAÑA-LEMUS. Caracterización físico-química de frutas frescas de cultivos no tradicionales en Venezuela. II. La Pitanga..... Physical-chemistry characterization of fresh fruits of no traditional cultivations in Venezuela. II. The pitanga.	203

Notas Técnicas:

ZAMBRANO, A., C. ROMERO, Á. GÓMEZ, G. RAMOS, C. LACRUZ, M. DEL R. BRUNETTO, G. MÁXIMO, L. GUTIÉRREZ y Y. DELGADO. Evaluación química de precursores de aroma y sabor de cacao Criollo Merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas..... Chemical evaluation of aroma and flavor of precursors of the Criollo Merideño cocoa during fermentation in two edafoclimatic conditions.	213
--	------------

Instrucciones a los Autores.

EFEECTO DEL PISOTEO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CERDOS A CAMPO SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO

EFFECT OF TRAMPLING IN PIG PRODUCTION SYSTEMS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

Adriana Rodríguez M.*, Mansonia A. Pulido M.*, Juan C. Rey B.**,
Deyanira Lobo L.*, Humberto Araque* y Carmen Rivero*

*Profesores. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía.

**Investigador. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Maracay-Venezuela.

E-mail: acrmate@gmail.com, pulidom@agr.ucv.ve, jcrey@inia.gob.ve, lobod@agr.ucv.ve,
araqueh@agr.ucv.ve, criver@ewinet.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la tendencia de los cambios producidos por el pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo (CC) sobre las propiedades de un suelo Mollisol de Venezuela. El muestreo se basó en un diseño factorial 2x3 a dos niveles: potreros con cerdos (PCC), potreros sin cerdos (PSC) y otro factor a tres niveles (0-5, 5-10 y 10-20 cm). En cada potrero se seleccionaron cuatro puntos al azar con base a un análisis previo de variabilidad del área, en cada punto se determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), el contenido de carbono orgánico (CO) del suelo, evaluándose la condición y estabilidad estructural al humedecimiento, impacto de gotas y movimiento del agua. Los resultados mostraron diferencias significativas por efecto de la presencia de cerdos y profundidad para las variables densidad aparente (D_a), poros con radio $>15\mu\text{m}$, resistencia mecánica a la penetración (RMP) y CO, mientras que el pH y la CE evidenciaron algunas diferencias por efecto de la presencia o ausencia de cerdos. Esto permite afirmar que el pisoteo de los cerdos ejerce un efecto modificador sobre las propiedades del suelo evaluado, en este caso, mayor evidencia de cambios negativos, tales como el aumento de la D_a , la proporción de poros con radio $<15\mu\text{m}$, la disminución de la porosidad total y la tasa de infiltración.

Palabras Clave: densidad aparente; pisoteo de cerdos; porosidad; profundidad del suelo; propiedades del suelo; tasa de infiltración.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the tendency of changes produced by the trampling in production systems from pigs to field (PF) on the properties of a Mollisol ground of Venezuela. The sampling was based with pigson a factorial design 2x3, a factor of two levels: pastures (PWP) and pig paddocks without (PPW) and soil depth atf three levels (0-5, 5-10 y 10-20 cm). In each plot four points were selected at random according to previous variability analysis. At each point was determined pH, electrical conductivity (EC) and organic carbon (OC) content of the soil, and assessing structural condition, structural stability to wet sieving, drop impact, and water movement. The results showed significant differences between treatment for the variables bulk density (BD), pores with radio $<15\mu\text{m}$, mechanical resistance to the penetration (MRP) and OC, while for pH and EC only significant differencesby effect of the presence or absence of pigs. This suggest that pigs trampling have an modifier effect on soil properties evaluated, in this case further evidence of negative changes such as, increase of BD and pores with radio $<15\mu\text{m}$ and the diminution of the total porosity and infiltration rate.

Key Words: bulk density; pigs trampling; porosity; soil's depth; soil properties; infiltration rate.

RECIBIDO: agosto 11, 2009

ACEPTADO: noviembre 11, 2010

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción alternativos de cría de cerdos a cama profunda y cerdos a campo (CC) descritos por González (2006), reúnen una serie de consideraciones que los convierten en una opción factible para reducir los problemas ambientales causados por los residuos sólidos y líquidos, producto de lavado de los corrales y la alta producción de excretas de cerdos por metro cuadrado (m²) en los sistemas de confinamiento. La producción de CC es escasamente contaminante al ambiente debido a que las deyecciones se distribuyen en el suelo y se aprovechan como fertilizante (Anzola y Carmenza, 2006). Sin embargo, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son modificadas, afectando de forma general los procesos relacionados con la hidrología, el ciclo de nutrientes y la producción vegetal del pastizal (Echavarría *et al.*, 2007).

Por otra parte, Baldizán (1997) señala que el pisoteo, la deposición de excretas sólidas y orina, son los primeros efectos del animal sobre el suelo. Se ha establecido que conforme se incrementa la carga animal y el período de estancia del ganado en el potrero, el pisoteo de animales produce la destrucción paulatina de los agregados del suelo e incrementos de la densidad aparente (Da), originando problemas de compactación que afectan negativamente la infiltración, retención de humedad e incremento en los riesgos de erosión (Echavarría *et al.*, 2007).

Igualmente, Ausilio *et al.* (2007) evaluaron el efecto de producción de CC sobre algunas propiedades del suelo en un Argiudol vértico localizado en Argentina, encontrando que la compactación relativa del suelo, luego de 9 meses de producción, aumentó en los primeros 8 cm de profundidad en el tratamiento con carga de cerdos de 8 000 kg.ha⁻¹, manteniéndose en muestreos posteriores, alcanzando valores de compactación elevados, atribuido a la presión transmitida en la interfase animal-suelo.

En otras especies de animales como ovinos y caprinos las características son más o menos similares a los cerdos (peso promedio, tamaño y forma de la pezuña), también pueden ejercer cambios en las propiedades del suelo. Taboada (2007), señala que el pastoreo directo con este tipo de ganado doméstico, ejerce dos grandes efectos sobre los suelos: la defoliación causada por la ingesta de forraje por los animales y el pisoteo causado por el tránsito de los mismos. Ambos efectos generan importantes cambios en estas propiedades, como lo mencionan Ramírez *et al.* (2007), quienes realizaron un ensayo con un sistema de producción de caprinos

en un Inceptisol en Colombia, donde se encontró que el pisoteo caprino incrementó en un 17% la Da, lo que generó problemas de compactación y cambios negativos en la productividad del pasto.

Por otra parte, Echavarría *et al.* (2007) evaluaron un sistema de producción de caprinos y ovinos bajo pastoreo rotacional continuo, en un suelo franco arenoso de México, cuyos resultados indicaron que el pastoreo rotacional influyó positivamente en las características físicas del suelo, al no incrementar los valores de Da en comparación con el pastoreo continuo.

En Venezuela, Ordóñez (2002) evaluó un sistema de maíz (*Zea mays* L.) bajo labranza conservacionista con ganado ovino, en un Entisol, mostrando que después de varias semanas de pastoreo, se produjeron cambios desfavorables en las propiedades físicas del suelo.

A diferencia de otros países, en Venezuela la producción de CC es un sistema menos desarrollado y no se cuenta con estudios sobre el efecto que causa este sistema de producción en el suelo. Sin embargo, Mora (2004) realizó un estudio en una parcela ubicada en la misma área de evaluación contemplada en el presente trabajo, reportando que 18 d después de la introducción al potrero de cerdos con peso promedio de 60 kg y capacidad de carga de cuatro animales por 144 m², los valores de Da no presentaron diferencias significativas, lo cual fue atribuido al corto tiempo de permanencia de los animales en el campo.

Por la razón expuesta, se planteó evaluar el efecto del pisoteo de CC sobre las propiedades de un Mollisol con predominio de clase textural franco - franco limoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo clasificado como Typic Haplustoll, ubicado en el Campo Experimental de la Sección de Manejo de Pastizales, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Campus Maracay (10°16'52" latitud N y 67°35'48" latitud O). El clima se corresponde con bosque seco tropical según Holdridge (1967), con un promedio anual de precipitación de 930 mm y temperatura de 26,7 °C (INIA, 2007). El área del ensayo está ubicada en la cuenca del río Güey al Norte del Lago de Valencia, asociada a la formación Las Brisas, que presenta una dominancia de esquistos y gneises cuarzo-feldespático-micáceos (Márquez, 1989).

Uso y manejo del suelo bajo estudio

El área total está dividida en dos potreros con manejos diferentes: uno con cerdos a campo (PCC) y el otro sin cerdos (PSC), con una superficie de 1,8 y 1,2 ha, respectivamente; establecidos principalmente con una mezcla de gramíneas Swazi (*Digitaria swazilandensis*) y Angleton (*Dichanthium aristatum*). En el PCC los animales entraron en dos oportunidades: a) En la primera: cerdos en etapas de crecimiento y engorde, con peso inicial de 20 a 105 kg, híbridos de razas mejoradas, utilizando 1 cerdo/150 m², equivalente a una carga animal de 66,66 cerdos/ha. b) En la segunda: se introdujeron cerdas con un peso inicial de 120 kg, llegando al servicio a los 150 kg; durante la gestación aumentaron de peso hasta alcanzar un día antes del parto 220 kg y terminado el período de lactancia pesaron al destete 170 kg. Estos cambios sucedieron en un lapso de 174 d promedio, utilizando cerdas primerizas (1 cerdo/600 m²) de la línea genética Camborough 22 (Landrace x Yorkshire) equivalente a una carga animal de 16,66 cerdos/ha⁻¹. Los cerdos permanecieron las 24 h del día en el campo, suministrándoles alimento balanceado. Para el momento de la evaluación los potreros tenían un año en descanso.

Diseño del experimento

El diseño del experimento fue aleatorizado con arreglo de tratamiento factorial 2x3, un factor a dos niveles: PCC y PSC y el otro factor a tres niveles: 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad.

Muestreo de suelo

Se realizó un análisis de variabilidad previo al área de estudio, que permitió detectar la existencia de homogeneidad en profundidad, color de los horizontes y variabilidad media en clase textural, resultando que las diferencias en textura, definieron los puntos y profundidad de muestreo. Se dividió cada potrero en dos partes iguales, presentándose la menor variabilidad de suelos en dirección NO - SE y la mayor en NE - SO. El potrero se fraccionó en cuatro franjas para luego determinar al azar la posición de los puntos a muestrear, es decir, un punto por franja. En éstos se realizaron excavaciones de 20 cm de profundidad y se tomaron tres muestras a: 0-5, 5-10 y 10-20 cm (0-5 y 5-10 cm corresponden al horizonte Ap y 10-20 cm al A1). Éstas fueron definidas con base al espesor de las capas presentes en el suelo y a resultados obtenidos en los estudios realizados por Ausilio *et al.* (2007), con CC y Ramírez *et al.* (2007), Echavarría *et al.* (2007) y Ordóñez (2002) con ovinos y caprinos, quienes demostraron los efectos del pisoteo animal sobre el suelo en los primeros 8-15 cm de profundidad.

En cada punto se tomaron muestras de suelo no disturbadas y disturbadas, realizando evaluaciones a nivel de campo. Las no disturbadas fueron efectuadas con el toma muestra tipo Uhland y cilindros de aproximadamente 5 cm de diámetro por 5 cm de altura, con tres repeticiones por capa en cada punto de muestreo; las mismas se mantuvieron a humedad de campo hasta el momento del análisis. Las disturbadas se tomaron con un palín, se secaron al aire y se pasaron por un set de tamices de 2 y 4 mm, con la obtención de dos fracciones: <2 mm y 2-4 mm.

En las muestras no disturbadas se determinó: Da con el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986), porosidad total y distribución de tamaño de poros por el método de la mesa de tensión de Danielson y Sutherland (1986), modificado por Pla (1983) y en el caso de las disturbadas la distribución de tamaño de partículas por el método del hidrómetro modificado (Gee y Bauder, 1986) y propiedades químicas: pH y conductividad eléctrica (CE) en una suspensión de suelo: agua de 1:2,5 y carbono orgánico (CO) mediante el método de Walkley y Black modificado (Heanes, 1984).

Finalmente, las evaluaciones realizadas en campo fueron: resistencia mecánica a la penetración (RMP), tomando tres lecturas por punto hasta los 20 cm de profundidad, utilizando un penetrómetro de impacto de punta cónica con un área basal de 0,8 cm², diseñado por Nacci y Pla (1992); con la toma de muestras de humedad correspondientes a cada medición y la tasa de infiltración mediante el método del doble anillo de Bouwer (1986) modificado (Pla, 1983).

Con las muestras disturbadas secas al aire y pasadas por mallas de 2 y 4 mm de abertura, se evaluó la estabilidad de los agregados tamizados en húmedo por el método de Yoder modificado (Pla, 1983), igualmente, frente al impacto de las gotas de lluvia (Nacci y Pla, 1991).

Análisis de datos

Los análisis de los datos realizados con el paquete estadístico SAS v 9.0 (2002), incluyeron un análisis descriptivo donde se comprobaron los supuestos de la varianza, transformando la variable, agregados estables al agua (AEA) por raíz cuadrada para ajustar la normalidad, un análisis de varianza por vía paramétrica para el modelo factorial 2x3. A las variables que arrojaron diferencias significativas se les hizo la prueba de medias de Duncan. Finalmente, para establecer asociaciones entre las variables evaluadas se procedió a un análisis de correlación de Pearson (Chacín, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de tamaño de partículas y propiedades químicas del suelo evaluado

En los suelos se establecieron los tratamientos que presentaron un predominio de partículas tamaño limo y arena muy fina (2-100 μm) con más de 83% en promedio, clasificado como un suelo con textura franco limoso - franco (Cuadro 1). La existencia de una mayor proporción de estas partículas, le confiere a este suelo una baja estabilidad estructural y por ende una óptima susceptibilidad a procesos de degradación como sellado, encostrado y compactación por la baja cohesión que poseen estas partículas (Pla, 1978).

El contenido de CO presentó diferencias significativas con respecto a la presencia o ausencia de cerdos ($P \leq 0,05$) y altamente significativa en la profundidad ($P \leq 0,01$), encontrándose el mayor contenido de CO en la capa superficial de 0-5 cm de profundidad (Cuadro 2), clasificado como moderado en función de la clase textural (Gilabert *et al.*, 1990), mientras que en las capas subsuperficiales los valores fueron bajos. La presencia de cerdos incrementó un 22% de CO en el suelo, respecto al sin cerdos, podría atribuirse al cambio de manejo al

aporte continuo de excretas de los cerdos directamente al suelo, constituyendo una fuente importante de materia orgánica (MO), según Anzola y Carmenza (2006).

En cuanto al pH y la CE del suelo hubo diferencias significativas, con relación a la presencia o ausencia de cerdos ($P \leq 0,05$), pero no hubo diferencias con respecto a profundidad (Cuadro 2). Para el PCC los valores de pH en todas las profundidades se encontraron dentro del rango de la neutralidad; mientras que PSC, el valor de pH para la capa superficial de 0-5 cm fue moderadamente ácido, aumentando en profundidad al pH ligeramente ácido.

El aumento del pH, estimado en un 10% para el PCC, fue asociado a la continua incorporación de excretas de cerdos sobre el suelo (Mora *et al.*, 2000; Rodríguez, 2002).

En general, la CE en los dos potreros evaluados fue baja. Sin embargo, se encontró diferencias significativas en cuanto a la presencia o ausencia de cerdos, los valores mayores de CE se presentaron en el PCC aumentando en un 108%, debido principalmente a la deposición de excretas. Así mismo, Taboada (2007), señala que en general, la presencia del animal en el campo causa aumentos de salinidad de los horizontes superiores del suelo.

CUADRO 1. Distribución de tamaño de partículas y clasificación textural del suelo bajo estudio.

	Prof. (cm)	Distribución de tamaño de partículas (μm)						Clase textural	
		< 2	2-50	50-100	100-250	250-500	500 -1 000		1 000 -2000
%									
Con cerdos	0-5	8 \pm 0	54 \pm 9	28 \pm 11	5 \pm 2	2 \pm 1	1 \pm 0,3	1 \pm 0,6	FL
	5-10	9 \pm 2	52 \pm 6	31 \pm 8	5 \pm 1	2 \pm 0,6	1 \pm 0,3	1 \pm 0,6	FL
	10-20	10 \pm 1	49 \pm 8	33 \pm 7	4 \pm 2	2 \pm 1	1 \pm 0,3	1 \pm 0,3	F
Sin cerdos	0-5	9 \pm 2	49 \pm 9	34 \pm 13	4 \pm 2,2	2 \pm 1,0	1 \pm 0,3	1 \pm 0,2	F
	5-10	9 \pm 2	51 \pm 8	30 \pm 9	5 \pm 1,0	3 \pm 0,5	1 \pm 0,3	2 \pm 0,3	FL
	10-20	10 \pm 4	56 \pm 11	28 \pm 13	3 \pm 0,3	2 \pm 0,1	1 \pm 0,1	1 \pm 0,2	FL

FL = Franco limoso; F = Franco.

CUADRO 2. Características químicas evaluadas en el suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
Carbono orgánico (g.kg ⁻¹)	0-5	27,24 ± 3,20	25,14 ± 3,99	26,1 a
	5-10	21,39 ± 2,53	15,91 ± 1,98	18,6 b
	10-20	17,62 ± 3,41	13,0 ± 4,95	15,3 b
	Promedio por tratamiento	22,0 A	18,0 B	
pH	0-5	6,60 ± 0,32	5,98 ± 0,13	6,40
	5-10	6,58 ± 0,39	6,03 ± 0,26	6,30
	10-20	6,70 ± 0,36	6,10 ± 0,23	6,28
	Promedio por tratamiento	6,62 A	6,03 B	
Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	0-5	0,32 ± 0,10	0,18 ± 0,10	0,25
	5-10	0,26 ± 0,14	0,11 ± 0,05	0,18
	10-20	0,18 ± 0,08	0,08 ± 0,02	0,13
	Promedio por tratamiento	0,25 A	0,12 B	

Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

Se evidencia el incremento de los niveles de CE, a pesar de no alcanzar valores altos. Se aprecia a largo plazo que éstos podrían llegar a causar efectos negativos en el suelo, si no se maneja adecuadamente a los cerdos con respecto a la disminución de la carga animal y su rotación dentro de los potreros, entre otros.

Propiedades físicas del suelo evaluado

Condición estructural

Las diferencias observadas para la Da fueron altamente significativas ($P \leq 0,01$) tanto para la presencia o no de cerdos como para la profundidad (Cuadro 3). Se consideró una tendencia general del suelo en ambos potreros a presentar valores menores en la capa superficial (0-5 cm) y un aumento de la Da en las capas subsuperficiales. Los valores de la Da en ambos potreros son altos para la clase textural presente en cada capa (Pla, 1983), sin embargo, se encontraron diferencias significativas en cuanto a la presencia o ausencia de cerdos. En el PCC el suelo cuenta con mayor Da, lo que indica que el pisoteo de los animales incrementó el estado de compactación en las capas superficiales del suelo evaluado, resultados

similares fueron reseñados por Echavarría *et al.* (2007); Ausilio *et al.* (2007); Ramírez *et al.* (2007).

La porosidad total mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las distintas profundidades (Cuadro 3), los valores observados no son limitantes porque ocupan más del 50% del volumen del suelo. Los mayores valores de porosidad total, se encuentran en la capa superficial del suelo (0-5 cm), estos presentaron un descenso no significativo en profundidad. Los cambios observados están asociados al incremento de la Da ($r = 0,60^{**}$).

Los poros con radio $>15 \mu\text{m}$ no mostraron diferencias significativas en ninguno de los factores evaluados (Cuadro 3), aunque sus valores disminuyeron con la profundidad y están cercanos al límite crítico del 10% del volumen del suelo, por debajo de las limitaciones para el desarrollo de las raíces de los cultivos (Pla, 1983), lo que indica limitaciones por aireación a mayor profundidad. Este comportamiento de porosidad con radio $>15 \mu\text{m}$ está relacionado con el aumento de la Da ($r = -0,78^{**}$) y con la subsecuente disminución de la porosidad total ($r = 0,69^{**}$).

CUADRO 3. Índices estructurales del suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	0 - 5	1,49 ± 0,15	1,33 ± 0,13	1,40 b
	5 - 10	1,60 ± 0,09	1,52 ± 0,05	1,55 a
	10 - 20	1,64 ± 0,09	1,49 ± 0,06	1,56 a
	Promedio por tratamiento	1,57 A	1,44 B	
Porosidad total (%)	0 - 5	60,4 ± 4,0	60,1 ± 5,1	60,2 a
	5 - 10	55,1 ± 2,6	53,2 ± 1,0	54,1 b
	10 - 20	55,0 ± 2,2	52,0 ± 2,7	53,4 b
	Promedio por tratamiento	56,8	55,1	
Poros con radio > 15µm (%)	0 - 5	12,2 ± 4,2	14,9 ± 4,7	13,5
	5 - 10	10,5 ± 3,0	10,4 ± 2,9	10,4
	10 - 20	10,7 ± 1,8	10,1 ± 2,2	10,4
	Promedio por tratamiento	11,1	11,8	
Poros con radio < 15 µm (%)	0 - 5	48,2 ± 3,1	45,2 ± 4,5	46,7 a
	5 - 10	44,6 ± 0,4	42,8 ± 3,1	43,6 b
	10 - 20	44,3 ± 1,2	41,9 ± 1,5	43,0 b
	Promedio por tratamiento	45,7 A	43,2 B	
Resistencia mecánica a la penetración (k.Pa)	0 - 5	2,9 ± 1,6	5,0 ± 0,1	4,5 b
	5 - 10	6,9 ± 3,7	11,3 ± 2,9	9,1 a
	10 - 20	8,2 ± 2,2	12,8 ± 2,6	10,5 a
	Promedio por tratamiento	6,0 A	10,1 B	
Contenido de humedad para RMP (%)	0 - 5	4,25 ± 0,96	3,25 ± 0,96	3,75
	5 - 10	5,75 ± 0,50	4,75 ± 0,96	5,25
	10 - 20	5,25 ± 0,50	4,5 ± 2,38	4,87
	Promedio por tratamiento	5,08	4,16	

Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

Los poros con radio <15 µm revelaron diferencias ($P \leq 0,05$) para los factores evaluados, presencia de cerdos y profundidad. Estos ocupan la mayor proporción del espacio poroso del suelo abarcando más de 41% en promedio, además se evidenció un aumento del 6% en el PCC respecto al PSC. Su predominio se vincula al aumento de la Da y a los contenidos de partículas tamaño limo ($r = 0,48^*$).

En general, en este estudio el efecto del pisoteo animal produjo un aumento de la Da generando problemas de compactación del suelo, afectando la porosidad total y la distribución de poros.

Resultados similares son presentados por Taboada (2007) y Bhandral *et al.* (2007), quienes mencionan que los cambios generados por el tránsito y el pisoteo de los

animales son consecuencia del reordenamiento espacial de los sólidos, además, los poros del suelo dependen de la intensidad del pisoteo (asociada a la carga y especie animal), de la cobertura vegetal, clima y manejo.

Con respecto a la RMP se encontró diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para la presencia o ausencia de cerdos y profundidad, por otra parte, los valores obtenidos no fueron limitantes debido a que no superaron el nivel crítico de la RMP a partir del cual se restringiría el crecimiento de las raíces (Bravo, 1995). Se observó que la RMP es mayor en el PCC en comparación con el otro, esto podría estar relacionado al menor contenido de humedad presente en el tratamiento sin cerdos, a pesar de no haber encontrado asociación entre dichas variables.

Se aprecia que a medida que se profundiza, se incrementa la RMP del suelo, relacionado significativamente con la

porosidad total ($r = -0,65^{**}$) y el porcentaje de porosidad con radio $< 15 \mu\text{m}$ ($r = -0,67^{**}$); este comportamiento se le puede atribuir al aumento de la Da a pesar de no haber encontrado asociación entre estas variables, se considera que el uso de un mayor número de réplicas podría evidenciar esta asociación.

Estabilidad estructural

Los AEA mostraron diferencias significativas sólo para las distintas profundidades (Cuadro 4). En general, el suelo tiene una alta estabilidad estructural al humedecimiento en ambos potreros, ya que hay un predominio de agregados de diámetro $> 2 \text{ mm}$; sin embargo, los valores disminuyeron con la profundidad, siendo más evidente en el PCC, situación que refleja el aumento de la proporción de AEA con diámetro $< 0,25 \text{ mm}$.

CUADRO 4. Agregados estables al humedecimiento del suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
AEA > 2 mm	0 - 5	89,0 ± 7,7	86,3 ± 11,7	87,64a
	5 - 10	78,2 ± 12,3	62,9 ± 34,3	70,55ab
	10 - 20	42,9 ± 26,3	61,8 ± 12,3	52,37b
Promedio por tratamiento		70,04	70,34	
AEA 2 - 1 mm	0 - 5	0,7 ± 0,6	2,1 ± 2,5	1,39b
	5 - 10	2,7 ± 2,6	7,8 ± 9,2	5,25ab
	10 - 20	8,7 ± 5,0	4,8 ± 3,18	6,73a
Promedio por tratamiento		4,04	4,88	
AEA 2 - 0,5 mm	0 - 5	0,9 ± 1,2	1,7 ± 2,0	1,30b
	5 - 10	4,9 ± 5,4	5,3 ± 5,9	5,06ab
	10 - 20	9,2 ± 4,7	4,3 ± 1,7	6,78a
Promedio por tratamiento		4,99	3,77	
AEA 0,5 - 0,25 mm	0 - 5	1,1 ± 1,3	1,2 ± 1,8	1,13
	5 - 10	0,5 ± 0,5	2,2 ± 3,7	1,35
	10 - 20	2,7 ± 3,4	2,4 ± 3,2	2,53
Promedio por tratamiento		1,41	1,93	
AEA < 0,25 mm	0 - 5	8,3 ± 4,7	8,8 ± 5,5	8,52b
	5 - 10	13,7 ± 4,6	21,8 ± 17,2	17,77b
	10 - 20	36,5 ± 16,9	26,6 ± 14,0	31,56a
Promedio por tratamiento		19,50	19,06	

AEA= Agregados estables al agua. Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

El predominio de agregados con diámetro > 2 mm en las condiciones evaluadas indican que los mismos presentan resistencia a la deformación, en forma y tamaño, frente al humedecimiento; sin corresponder a la alta proporción de partículas tamaño limo y arena muy fina, que confieren susceptibilidad a la alta separabilidad y por ende, a la baja estabilidad de agregados superficiales.

Sin embargo, la alta proporción de AEA encontrada, se le atribuye a los años que tienen los potreros establecidos con gramíneas Swazi y Angleton, confiriéndole una contribución continua de residuos vegetales, tanto de material aéreo como de las raíces, lo cual constituye uno de los factores en la formación y conservación de los suelos, según Osechas (2006).

A pesar de lo mencionado, se puede resaltar que los AEA > 2 mm de diámetro, presentan una clara tendencia a disminuir en profundidad asociada al aumento de la Da ($r = -0,49^*$) y a la disminución del CO. Los AEA $< 0,25$ mm presentaron una relación directamente proporcional con la Da ($r = 0,51^*$) y una asociación negativa con la porosidad total ($r = -0,435^*$) y con los poros con radio

$> 15 \mu\text{m}$ ($r = -0,425^*$), características que están presentes en los suelos por la distribución de tamaño de partículas existentes.

Para medir la estabilidad de los agregados frente al impacto de gotas, se tomó en cuenta la evolución de la conductividad hidráulica del sello formado (KCS) cuando el suelo está desprotegido y cuando se previene la formación de sello (KSS), usando cobertura para impedir su formación.

En las Figuras 1 y 2 se observa la KCS superficial para ambos potreros con valores entre 8 y 5 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, considerados de moderados a bajos, de acuerdo a Pla (1983) lo que indica que el suelo tiende a formar sello superficial frente al impacto de las gotas de lluvia, disminuyendo la capacidad de infiltración. Sin embargo, cuando los AEA son protegidos, los valores de la KSS son altos, evidenciando que cuando el suelo está desprotegido, o no tiene cobertura vegetal, los agregados tienden a ser destruidos fácilmente por la acción de la fuerza externa de la lluvia, formando sellado superficial y disminuyendo la capacidad de infiltración del mismo.

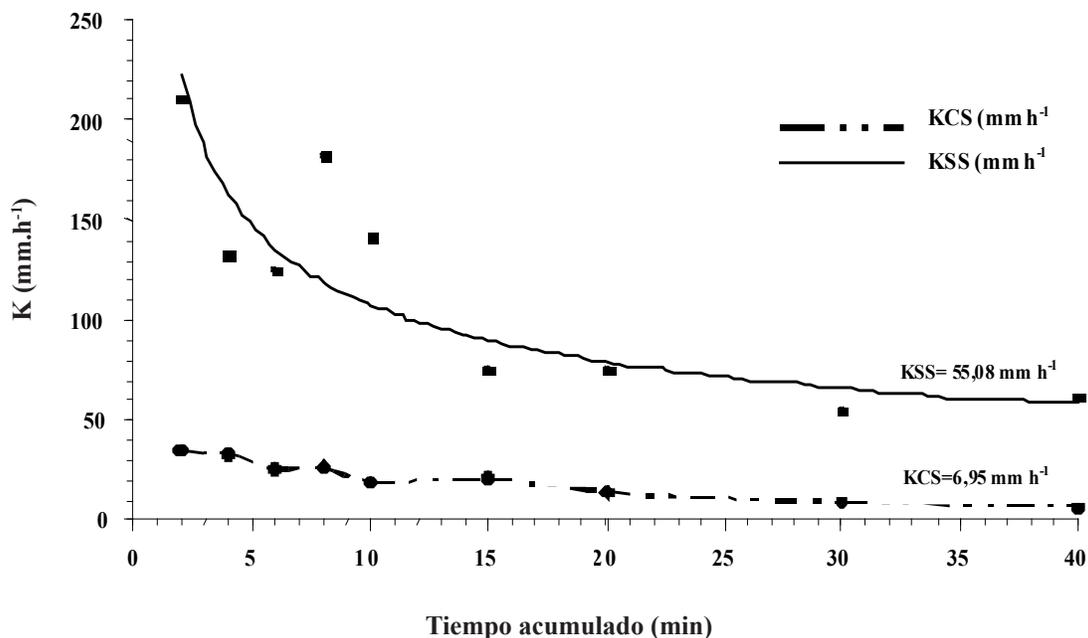


FIGURA 1. Evolución de la conductividad hidráulica con sello (KCS) y sin sello (KSS) superficial para el suelo en el potrero con cerdos a campo.

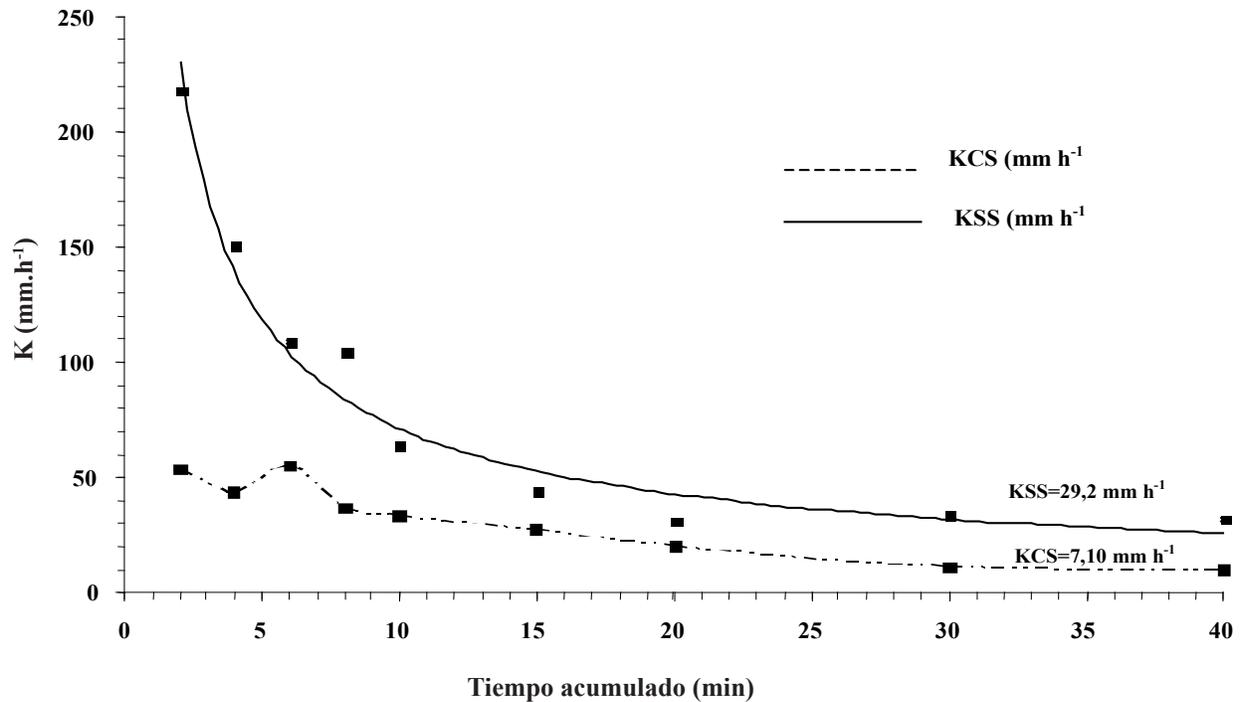


FIGURA 2. Evolución de la conductividad hidráulica con sello (KCS) y sin sello (KSS) superficial para el suelo en el potrero sin cerdos a campo.

Cabe señalar, que a pesar de tener una tendencia de alta estabilidad de agregados al humedecimiento, cuando los mismos son sometidos al impacto de las gotas de lluvia, se notan claramente su inestabilidad frente a esa fuerza externa, atribuible principalmente al predominio de partículas tamaño entre 2 y 100 μm , debido a que los tamaños de partículas requieren menor energía para separarse (Poesen, 1986), traducido en una rápida formación de sello superficial y sus subsecuentes efectos.

Esa discrepancia puede deberse a la calidad de la MO presente en el suelo, confiriéndole a los agregados, enlaces débiles no resistentes al impacto de las gotas de lluvia; estos suelos se encuentran bajo pasto y posiblemente existen enlazantes de tipo temporal que se destruyen con el impacto de las gotas.

Al respecto, Rivas *et al.* (2009) señalan una mayor proporción de sustancias no húmicas. Según Pulido M. *et al.* (2009) y Fortun y Fortun (1989), no siempre los contenidos de MO tienen relación con la estabilidad de los agregados, pudiendo depender más del tipo o calidad de la MO, agentes enlazados y a la disposición de la misma con respecto a las partículas minerales.

Penetración de agua en el suelo

Con relación a la infiltración se puede observar que para el PCC hay una menor tasa, presentando limitaciones con respecto al PSC (Figura 3). Los valores para el PCC estuvieron por debajo de 5 mm.h^{-1} , según Pla (1983), acarrear problemas de penetración de agua en el suelo y consecuentemente de anegamiento en las condiciones de relieve plano. De igual manera, se evidencia que la infiltración básica se alcanza en menor tiempo en el PCC que en el PSC.

Este comportamiento podría estar asociado a la formación de sello superficial, la D_a y la distribución de poros para la capa superficial, debido a que en el PCC se presentan cambios desfavorables para estas propiedades, observándose valores absolutos.

Igualmente, influenciado por las actividades de los cerdos en superficie, se mostró de manera cualitativa, menor cobertura superficial, quedando expuesto el suelo a los procesos de degradación.

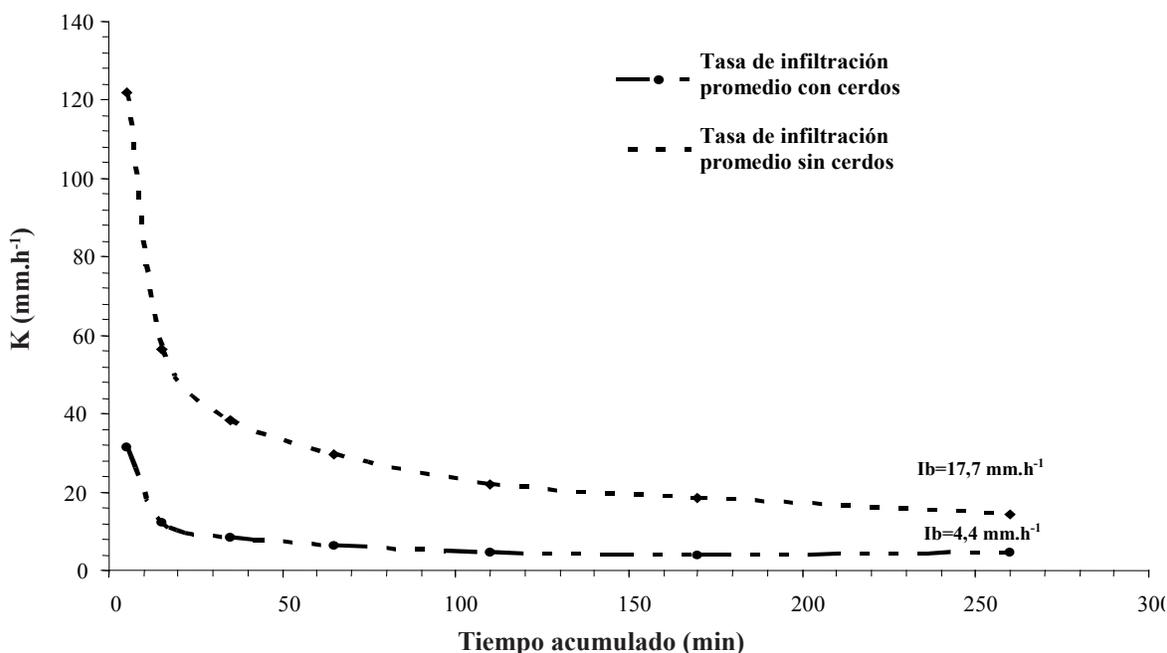


FIGURA 3. Evolución de la infiltración en el suelo de los potreros con y sin cerdos a campo.

En general, se puede afirmar que el pisoteo de los cerdos afectó de manera negativa las propiedades estructurales e hidráulicas del suelo evaluado, atribuyéndole estos efectos a la acción mecánica de la pezuña animal, la presión que los animales ejercen sobre el suelo y las características intrínsecas que le confieren susceptibilidad a los procesos de degradación física, como al predominio de partículas tamaño limo y arena muy fina.

CONCLUSIONES

- El suelo mostró una alta susceptibilidad del deterioro estructural de forma natural; adicionalmente, se apreció un efecto detrimental promovido por la introducción de los CC.
- Se encontraron cambios desfavorables en las propiedades físicas del suelo con la incorporación de cerdos, evidenciándose un aumento en la D_a (9%) y de los poros con radio <15 mm (6%), originando problemas de compactación (disminución del 75%). Esto sugiere un mayor estudio de la carga animal apropiada para la utilización de CC y el monitoreo continuo de las propiedades de suelo bajo este tipo de manejo.

AGRADECIMIENTO

Al apoyo financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) a través del proyecto de investigación N° PG-01-00-7143-2008, titulado “Impacto del Manejo de Sistemas de Producción de Cerdos a Campo sobre el Suelo”.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzola, H. J. y F. Carmenza. 2006. Porcicultura ecológica, orgánica y sostenible (en línea). ICA, Grupo Transferencia de Tecnología. Bogotá. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Publicaciones/AreaPecuaria/Documentos/Caratula%20porcicultura.pdf>, 15 p. [Consultado 30 oct. 2008]
- Ausilio, A., P. Besson, D. Durán, F. Bauza y G. Mena. 2007. Efecto de la producción porcina a campo sobre algunas propiedades del suelo (en línea). Revista Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario Argentina. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/23/8AM23.htm>. [Consultado 8 nov. 2008]

- Baldizán, A. 1997. Manejo de pequeños rumiantes a pastoreo. II jornadas de actualización en medicina y producción de rumiantes. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Veterinaria, Maracay, 1-13 pp.
- Bhandral, R., S. Saggarr, N. S. Bolan and M. J. Hedley. 2007. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. *Soil and Tillage Research*, 94: 482-492.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. **In:** A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA. Agronomy Monograph. Madison, Wisconsin, USA, n° 9, 363-375 pp.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. **In:** A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA, Agronomy Monograph. Madison, Wisconsin, USA, n° 9, 825-843 pp.
- Bravo, C. 1995. Producción de maíz y efecto de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos de sabana del estado Guárico. **In:** Taller sobre prácticas de labranza en los sistemas de producción con maíz en los Llanos Occidentales. Memoria, Venezuela, 73-89 pp.
- Chacín, F. 2000. Diseño y análisis de experimentos I. Ediciones del Vicerrectorado Académico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 387 p.
- Danielson, R. E. and P. L. Sutherland. 1986. Porosity. **In:** A. Klute, (Ed). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA, Agronomy Monograph. Madison, Wisc. EUA. n° 9, 443-461 pp.
- Echavarría, C. F., P. A. Serna y V. R. Bañuelos. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. *Téc. Pecu. México*, 45(2):177-194.
- Fortun, C. y A. Fortun. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48:185-204.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. **In:** Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy series. ASA. Madison, Wisc., EUA, n° 9, 383-411 pp.
- Gilbert de B., J., I. López de R. y R. Pérez de R. 1990. Análisis de Suelos para el diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay. INIA. 164 p. (Serie D. n° 26).
- González, C. 2006. Potencialidad del cerdo criollo y la producción alternativa de cerdos en Venezuela (en línea). Instituto de producción animal. FAGRO-UCV. Disponible en: <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/conferencias/cerdo-criollo.pdf>. [Consultado 8 nov. 2008]
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic – C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Com. Soil Sci. Plant. Anal.* 15(10):1 191-1 213.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. San José, CR, Trop. Sci. Cent. 206 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 2007. Datos de la Estación Climática del CENIAP – INIA. Recopilación de datos, desde 1960 hasta la actualidad. Maracay, estado Aragua. Venezuela.
- Márquez, O. 1989. Caracterización mineralógica y génesis de suelos de dos ambientes geoquímicos en la cuenca del Río Güey. Tesis de maestría en Ciencias del Suelo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 135 p.
- Mora, F. 2004. Aceptabilidad de gramíneas y leguminosas por porcinos a pastoreo. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 101 p.
- Mora, A., I. R. Armendáriz, R. Belmar y J. Ly. 2000. Algunos aspectos de la producción y manejo de cerdos en exterior (en línea). Sistema de Información Agrícola Nacional. Revista computadorizada de producción alternativa de cerdos. Venezuela. 7(2). Disponible en: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev72/72artres.htm>. [Consultado 18 nov. 2008]

- Nacci, S. y I. Pla. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Maracay, Venezuela. 40 p. (Serie B, n° 17).
- Nacci, S. e I. Pla. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Trop.* 42(1-2):115-132.
- Ordóñez, M. 2002. Evaluación del sistema maíz (*Zea mays* L) bajo labranza conservacionista – ganado ovino, en la relación con la ganancia de peso del animal y las propiedades físicas de un suelo de sabana. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 55 p.
- Osechas, D. 2006. La relación suelo – planta – animal dentro del ecosistema pastizal (en línea). *Mundo Pecuario*. Universidad de los Andes. NURR. Departamento de Ciencias Agrarias. Trujillo. Venezuela. 2(3):63-68. Disponible en: <http://oai.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/mundopecuario/vol2num3/articulo4.pdf> [Consultado 20 febrero 2009]
- Pla, I. 1978. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela. Trabajo de Ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 312 p.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. *Rev. Alcance* n° 32. 91 p.
- Poesen, J. 1986. Surface sealing on loose sediments: the role of texture, slope and position of Stones in the top layer. **In:** Callebaut F. D. Gabriels y M. De Boodt (Eds.), *Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting*. Proceedings of Symposium, Gent, Belgium, 1985. 354-362 pp.
- Pulido, M., D. Lobo, Z. Lozano. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y tipos de materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia* 43(3):221-230.
- Ramírez, R., M. Marín, J. Ossa y J. Pérez. 2007. Efecto del pisoteo caprino en las propiedades físicas de un suelo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (en línea). 13 p. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/esgeocien/documentosrramirez/efecto_del_pisoteo_caprino_en_las_propiedades_fisicas_de_un_suelo_de_la_universidad_nacional_de_Colombia_sede_Medellin.pdf. [Consultado 25 nov. 2008]
- Rivas A., M. A., H. Arias, C. Rivero, M. Pulido, J. C. Rey, D. Lobo y Z. Lozano. 2009. Evaluación del impacto del manejo de sistema de producción de cerdos a campo sobre la materia orgánica de un suelo. **In:** XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Memoria. Versión en CD-ROM. 4 p.
- Rodríguez, C. 2002. Residuos Ganaderos (en línea). Cursos de Introducción a la Producción Animal. UNRC-FAV. Argentina. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf [Consultado 30 oct. 2008]
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT. Procedures guide. Software release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, EE.UU.
- Taboada, M. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. **In:** 4° Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. UBA. Fac. Agro. Argentina. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/suelos_ganaderos/49-efectos_pisoteo.pdf. [Consultado 30 oct. 2008]

ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE ARROZ DE RIEGO EN VENEZUELA UTILIZANDO LOS MODELOS LIN-BINNS Y AMMI

PHENOTYPIC STABILITY IN IRRIGATED RICE IN VENEZUELA USING THE MODELS AMMI AND LIN-BINNS

Marco Acevedo*, Edicta Reyes**, William Castrillo*, Orlando Torres***, Carlos Marín****, Rosa Álvarez**, Orlando Moreno** y Edgar Torres†

*Investigadores. INIA. CIAE-Guárico. E-mail: macevedo@inia.gob.ve, wcastrillo@inia.gob.ve

**Investigadores. CIAE-Portuguesa. E-mail: ereyes@inia.gob.ve, omoreno@inia.gob.ve, ralvarez@inia.gob.ve

***Investigador. CIAE-Barinas. E-mail: otorres@inia.gob.ve.

****Técnico Asociado a la Investigación (TAI). CENIAP. Maracay. E-mail: cmarin@inia.gob.ve

†Investigador. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) FLAR. Cali Colombia.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de interacción genotipo ambiente (GxA), su magnitud en el rendimiento en granos (t.ha⁻¹), evaluar la adaptabilidad y estabilidad (A y E) fenotípica de genotipos de arroz, *Oryza sativa* L., utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI (Additive main effects and mutiplicative interactions); se evaluaron 15 genotipos (cuatro testigos) en cinco ambientes (locales) en las principales zonas productoras de arroz en Venezuela, durante el ciclo de riego 2006-2007. Los efectos de ambientes, genotipos e interacción GxA explicaron 40,58% (P<0,01), 8,09% (P<0,01) y 15,04% (P<0,05) de la suma del cuadrado total, respectivamente. Hubo coincidencia por ambos métodos en la identificación del genotipo (FD03B01) como el de mayor adaptabilidad. Sin embargo, el modelo AMMI identificó a los genotipos PN01B034, PN001B037, L-1 como los más estables a través de ambientes por su baja interacción GxA y adaptabilidad intermedia. Los testigos, FEDEARROZ 50 y CIMARRÓN fueron los más adaptados por presentar mayor rendimiento, mientras que VENEZUELA 21 y CIMARRÓN resultaron estables. Con respecto a los ambientes, la localidad Sabanetica y Araure (estado Portuguesa) son las que contribuyen a la interacción GxA considerándose las más inestables, caso contrario ocurre con Torunos (estado Barinas). El modelo AMMI permitió un análisis más detallado de la interacción GxA, facilitando la recomendación de genotipos adaptados y estables; además la interpretación gráfica favoreció el análisis estadístico.

Palabras Clave: adaptabilidad; AMMI; estabilidad; genotipo ambiente; Lin y Binns; *Oryza sativa* L.

SUMMARY

To determine the presence of interaction genotype environment (GxE) and its magnitude in grains yield (t.ha⁻¹) and to evaluate the adaptability and stability (A y S) phenotypic of rice cultivars *Oryza sativa* L. using the models Lin-Binns and AMMI (Additive main effects and mutiplicative interactions) 15 cultivars were evaluated in five local environments in the main areas rice producer in Venezuela during 2006-2007 dry season. GxE interaction for yield was analyzed using the models Lin and Binns and additive main effects and multiplicative interactions (AMMI). The effects of environments, genotypes and GXE interaction explained 40.58% (P<0.01), 8.09% (P<0.01) and 15.04% (P<0.05) of the total sum of squares, respectively. According with the AMMI model the genotypes PN01B034, PN001B037 and L-1 had absolute values near to zero of the CP1 indicating low interaction GxE, in consequence they were considered stable over environments. In the other hand, Lin and Binns model indicated that FD03B01 was the most adapted genotype. The commercial varieties with higher yields were FEDEARROZ 50 and CIMARRÓN, additionally, VENEZUELA 21 and CIMARRÓN were stables. In relation to environments, Sabanetica and Araure (Portuguesa State) contributes to the interaction GxE; for that reason both are considered the most unstable. In the other hand, Torunos (Barinas State) presented major stability. The model AMMI allowed a detailed analysis of the interaction GxE, facilitating the selection of the most productive genotypes and with better stability; also, it was possible to do an easier graphic interpretation of the statistical analysis.

Key Words: adaptability; AMMI; stability; genotype by environments; Lin and Binns; *Oryza sativa* L.

RECIBIDO: agosto 19, 2009

ACEPTADO: junio 30, 2010

INTRODUCCIÓN

En la fase final de los programas de mejoramiento genético los genotipos con alto potencial de rendimiento de grano y buenas características agronómicas deben ser evaluados en un conjunto de ambientes (localidades y años) en las principales zonas de producción del cultivo. El comportamiento diferencial de los genotipos en los diversos ambientes es debido a la interacción genotipo ambiente (GxA), dificultándose la selección de los que están ampliamente adaptados como los más estables. Por otro lado, la presencia de GxA afecta las estimativas de la varianza genética y por ende sobreestima la ganancia genética esperada por selección, afectando negativamente el éxito de los programas de mejoramientos (Duarte y Vencovsky, 1999).

Según, Allard (1971) señala que el primer trabajo sobre variación genética fue realizado por el biólogo Johannsen, quien demostró que la variación fenotípica observable resulta de la acción conjunta de la variación genética y ambiental. Por otra parte, Cruz (2005) indica que al evaluar un conjunto de genotipos en varios ambientes, se debe considerar un efecto adicional en la expresión del fenotipo que viene dado por la interacción GxA. Así mismo, Ramalho *et al.* (2000) explican que el efecto ambiental siempre se presenta como un factor de incertidumbre en las estimativas de los parámetros genéticos. Una forma de disminuir su efecto, determinar su magnitud, así como, medir su impacto sobre la selección y recomendación de las variedades, es a través de la utilización de diseños biométricos apropiados y repetidos en diferentes ambientes.

En este sentido, cuando el fitomejorador detecta interacción GxA para asegurar el éxito de su recomendación, requiere hacer un estudio más detallado referente a la adaptabilidad y estabilidad (A y E) fenotípica de los genotipos, principalmente para el rendimiento de granos, por ser éste de gran importancia económica. Cruz y Regazzi (2001) definen adaptabilidad como la capacidad de las variedades para aprovechar ventajosamente el estímulo ambiental, mientras que la estabilidad está referida a la capacidad que tienen de mostrar un comportamiento altamente previsible de acuerdo con el ambiente.

Por otra parte, en la literatura existen varios modelos estadísticos propuestos que permiten interpretar la interacción GxA, estos estudios ofrecen información sobre el comportamiento de cada genotipo ante los cambios ambientales. Crossa *et al.* (1990), señalan que los análisis

de regresión lineal presentan algunas limitaciones como fallas en la linealidad que dificultan explorar ventajosamente la interacción GxA.

El modelo de Lin y Binns (1988) es utilizado principalmente para evaluar estabilidad cuando se carece de una estructura experimental, para mantener el mismo ensayo o los testigos en las evaluaciones realizadas. Por lo tanto, Lin *et al.* (1986) consideran que la respuesta genotípica en los diferentes ambientes es multivariada más que univariada, entonces será este modelo el que permita describir e interpretar mejor los efectos de la interacción GxA.

En este sentido, el modelo AMMI (Additive main effects and multiplicative interactions) fue uno de los modelos más empleados, considerándose que los efectos de los genotipos y los ambientes son aditivos y lineales, permitiendo el estudio por procedimientos de análisis de varianza convencional; mientras que la interacción GxA tiene efectos multiplicativos que pueden ser explicados a través del análisis de componentes principales, Gauch (1988) citado por Bernardo (2002).

Así mismo, Zobel *et al.* (1988) indican que el modelo AMMI permite un análisis más detallado de la interacción GxA que garantiza la selección de genotipos más productivos, proporcionando estimados más precisos de respuesta genotípica, generando una mejor interpretación gráfica de los resultados del análisis estadístico.

De igual forma, existen diversos trabajos publicados en la literatura sobre A y E en varios cultivos utilizando diferentes metodologías, en caña de azúcar (Alejos *et al.*, 2006; Rea y Souza, 2002), soja (Silva y Duarte, 2006; Morais *et al.*, 2003), maíz (Marín *et al.*, 2004), algodón (Hoogerheide *et al.*, 2007; González *et al.*, 2007) y en arroz (Morais *et al.*, 2008; Atroch *et al.*, 2000). En Venezuela no existen trabajos publicados sobre A y E en arroz, en consecuencia, el objetivo del estudio fue determinar la magnitud de la interacción GxA, así como evaluar de manera preliminar la A y E de 15 genotipos de arroz utilizando datos experimentales de rendimiento en granos ($t \cdot ha^{-1}$) en cinco localidades de las principales zonas productoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

El conjunto de datos analizados provienen de los Ensayos Regionales Uniformes (ERU's) realizados en el ciclo de riego 2006-2007 en cinco localidades (Bancos de San Pedro y Parcela 178, ambas del sistema de riego río

Guárico (SRR-Guárico); Araure y Sabanetica en Portuguesa y Toruno en Barinas) de las zonas de producción de arroz en Venezuela. Se evaluaron 15 genotipos, cuatro de ellos fueron testigo (VENEZUELA 21, CIMARRÓN, FEDEARROZ 50 y FONAIAP 1).

Los ensayos fueron instalados en diseño de bloque completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 20 m² siendo cosechada un área efectiva de 12 m², luego de excluidos los bordes para reducir efecto de bordura. El manejo agronómico de los ensayos fue similar al comercial en cada localidad. La variable estudiada fue rendimiento en granos paddy expresado en tonelada por hectárea (t.ha⁻¹), ajustado al 12% de humedad en cada parcela.

Análisis estadísticos

Fueron realizados los análisis de varianza individual por localidades para cada ensayo, el modelo lineal del análisis de varianza en diseño de bloques completos al azar para evaluar genotipos en varios ambientes (locales) es presentado en la ecuación 1:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + b(a)_{k(j)} + a_j + (ga)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad \text{ecuación 1}$$

siendo Y_{ijk} el valor fenotípico del genotipo i , evaluado en k repeticiones y j ambientes; mientras μ , g_i , a_j , $(ga)_{ij}$, representan la media general, efecto de genotipos, de ambientes e interacción GxA, respectivamente; $b(a)_{k(j)}$ es el efecto de repetición dentro de ambiente; y ε_{ijk} el error experimental asociado a la ijk -ésima observación.

La descomposición del valor fenotípico (Y_{ijk}) como el expresado en la ecuación uno, no provee mayor información sobre el modelo de comportamiento de un genotipo en los diferentes ambientes, sólo permite cuantificar la magnitud de la interacción GxA, es por ello que el análisis de A y E permite examinar el desempeño de un genotipo relativo a otro para diferentes ambientes.

Los métodos de A y E utilizados fueron: (a) Lin y Binns (1988) y (b) AMMI (Zobel *et al.*, 1988; Bernardo, 2002).

(a) Método de Lin y Binns

El estadístico de A y E P_i fue obtenido mediante la ecuación 2,

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2a} \quad \text{ecuación 2}$$

Este índice de superioridad (P_i) se calcula a partir de la suma de cuadrados de las diferencias entre el genotipo de interés (Y_{ij}) con respecto al genotipo de máximo rendimiento de cada ambiente (M_j), “ a ” está referido al número de ambientes considerado; y P_i representa el cuadrado medio del efecto conjunto de genotipos e interacción GxA y por ser calculado con referencia a la máxima respuesta, determina la adaptabilidad en sentido general.

El genotipo estable es aquel que presenta el menor índice P_i , además, los mismos autores proponen un segundo índice asociado únicamente a la interacción GxA, cuando el cuadrado medio (P_i) es menor al cuadrado medio del error conjunto, indica que existe paralelismo entre la respuesta máxima y el genotipo particular, lo que facilita al fitomejorador la toma de decisión, ya que selecciona con base al índice de superioridad únicamente; caso contrario debe examinar la adaptabilidad de cada genotipo en cada ambiente.

(b) Método AMMI

Este modelo considera como efectos aditivos principales el genotipo y ambiente mediante el análisis de varianza y la interacción GxA como efecto multiplicativo por medio de un análisis multivariado de componentes principales (CP), según (Crossa *et al.*, 1990). Bernardo (2002), explica que el análisis de CP transforma los datos originales en combinaciones lineales, siendo no correlacionadas entre sí y agrega que el primer CP debe explicar un alto porcentaje de la variación de los datos para ser útil, en otras palabras los primeros ejes de los CP deben capturar la mayor varianza de la interacción GxA; caso contrario, el análisis pierde eficiencia en agrupar ambientes dentro de subgrupos homogéneos.

El modelo que describe la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j del análisis AMMI de Zobel *et al.* (1988) y actualizado por Bernardo (2002), es presentado en la ecuación 3,

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum (\text{IPCA}_i^g)(\text{IPCA}_j^a) + d_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad \text{ecuación 3}$$

Basándose en un modelo tradicional de análisis de varianza conjunta, donde μ represente la media general g_i , el efecto genotípico a_j , el efecto del ambiente y ε_{ij} error experimental, la interacción GxA es expresado IPCA_i^g que representa el “score” del componente principal del genotipo i para el eje n ; IPCA_j^a es el CP del ambiente j para el eje n ; n representa el número de ejes usados en un análisis particular cuyo número mínimo es $[(g-1)(a-1)]$; d_{ij} es el efecto

residual de la interacción GxA que no es explicado por el análisis de componentes principales.

Un “score” del CP se indica en igual término que la variable estudiada. El análisis AMMI es un estimador mejorado del comportamiento de un genotipo en un ambiente, permitiendo calcular un efecto particular de la interacción GxA para todos los genotipos considerados. El genotipo con el menor valor absoluto es calificado como el más estable.

A partir del primer componente principal, caso sea significativo y representativo ($\geq 70\%$) de la interacción, se considera que concentra la mayor varianza en GxA, siendo posible generar un gráfico (Biplot o doble representación) con la variable medida (rendimiento de granos), que representa las similitudes (grupos homogéneos) de genotipos y de ambientes. El ajuste del modelo fue implementado por medio del sistema estadístico de predicción MATMODEL version 3.0 (Gauch, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza conjunta (Cuadro 1), mostró diferencias significativas ($P < 0,01$) para ambientes y genotipos, indicando que existe variación significativa del ambiente para proporcionar alteraciones en las medias de los genotipos, registrando el 40,58% de la suma de cuadrados totales, mientras que la significancia de genotipo demuestra la diferencia genética entre los genotipos evaluados. Esta fuente de variación representó el 8,09% de la suma de cuadrados totales.

CUADRO 1. Análisis de varianza conjunta para 15 genotipos y cinco ambientes, ciclo de riego 2006-2007.

Fuente de variación	GL	CM	P>F
Ambientes (A)	4	45,87	0,000
Bloques/locales	10	3,07	0,000
Genotipos (G)	14	2,61	0,001
Interacción (genotipo x locales)	56	1,21	0,032
Error experimental	140	0,65	
Total	224	2,01	
Media		5,28 t.ha ⁻¹	
CV		15,21%	

La interacción GxA resultó significativa ($P < 0,05$), representando el 15,04% de la suma de cuadrados totales, indicando que el comportamiento relativo de los genotipos fue influenciado distintamente por las localidades consideradas, hecho que dificulta la recomendación de un material para todos los ambientes estudiados.

Por tal motivo, no es pertinente basar la elegibilidad de nuevos genotipos sobre el análisis de media del desempeño de los materiales tomando el análisis conjunto de varianza, ya que se podría incurrir en errores, esto es posible cuando la interacción GxA no existe.

Los resultados antes presentados justifican el análisis de A y E fenotípica propuesto en este estudio.

De manera general, la media para rendimiento en granos paddy fue de 5,28 (t.ha⁻¹) similar a la media nacional, mientras que el coeficiente de variación resultó aceptable 15,21%, considerando que la característica en estudio es de tipo cuantitativa, altamente influenciada por el ambiente.

En el Cuadro 2 se muestran las medias por localidades y por genotipo, el coeficiente de variación genética (CVg%) y el desempeño por material tomando en cuenta la media general y la media superior, así como los estimados del estadístico (P_i) utilizando la metodología de Lin y Binns (1988).

En la localidad Sabanetica, estado Portuguesa, fue donde los genotipos expresaron mejor su desempeño y predominó las condiciones ambientales favorables al cultivo, con rendimiento medio de granos 17,5% superior a la media general de los experimentos. Lo contrario ocurrió en la localidad de Torunos, estado Barinas, cuya media fue inferior en 24,8% a la media general, esto podría ser debido al manejo usado en la zona en condiciones de secano. Las localidades ubicadas en el SRR-Guárico presentaron rendimientos promedios al 10,18% superior a la media general.

En otro orden de ideas, el análisis de los genotipos refleja que el PN04I032 posee mayor variación genética, caso contrario al PN00A022A, ésto debido a que el rendimiento promedio por localidad fue similar en todos los ambientes. Los materiales utilizados como testigos presentan variación genética similar, destacando que las variedades FEDEARROZ 50 y CIMARRÓN alcanzan mayor rendimiento de granos.

CUADRO 2. Índice de superioridad (P_i) de Lin y Binns para los 15 genotipos y cinco localidades, ciclo de riego 2006-2007.

Genotipo	Rendimiento (t.ha ⁻¹) localidad					Rendimiento promedio	% CVg	% testigo	% media	P_i (Lin y Binns)
	1	2	3	4	5					
FD03B01	4,27	5,88	7,12	5,88	7,08	6,05	19,3	109,8	114,4	0,3
L-1	4,44	5,96	5,33	6,10	7,01	5,77	16,6	104,8	109,2	4,8
PN01B034	3,90	5,24	5,93	6,82	6,83	5,74	21,4	104,3	108,7	3,6
FEDEARROZ 50	4,05	4,63	5,22	6,15	7,48	5,51	24,5	100,0	104,2	4,4
CIMARRON	3,59	5,49	5,80	5,84	6,77	5,50	21,3	99,9	104,1	3,3
PN001B037	3,66	4,39	6,48	5,52	6,56	5,32	24,0	96,7	100,7	3,8
L-347	4,61	4,16	5,91	5,70	6,20	5,32	16,6	96,5	100,6	5,8
PN04I032	4,39	2,87	5,43	6,24	7,61	5,31	33,9	96,4	100,5	6,4
PN00B022	4,47	3,99	4,75	6,34	6,97	5,30	24,2	96,3	100,4	6,0
CF-205	3,94	4,46	5,77	5,91	6,23	5,26	19,0	95,6	99,6	4,5
PN00A016C	4,18	5,02	5,75	5,74	4,33	5,00	14,9	90,9	94,7	6,4
VENEZUELA 21S	3,36	4,10	5,65	5,88	5,93	4,98	23,7	90,5	94,3	4,1
FONAIAP 1	3,45	3,69	5,94	5,31	6,37	4,95	26,6	89,9	93,7	4,5
PN00A018A	3,53	3,92	4,50	6,55	5,96	4,89	26,7	88,8	92,6	5,3
PN00A022A	3,70	3,98	4,41	5,01	4,63	4,35	11,9	78,9	82,3	7,4

1, 2, 3, 4 y 5 se refieren a las localidades Torunos en Barinas, Araure en Portuguesa, Parcela 178 del SRR-Guárico, Bancos de San Pedro del SRR-Guárico y Sabanetica en Portuguesa, respectivamente.

El estadístico (P_i) de Lin y Binns mostró a la línea FD03B01 ($P_i = 0,3$) como la más estable y adaptada, seguido del testigo CIMARRÓN ($P_i = 3,3$).

De acuerdo con esta metodología, cuando menor es el valor del estadístico (P_i) menor será el desvío con relación a la productividad máxima en cada ambiente, entonces, se puede concluir que la mayor A y E estará asociada a mayor productividad. La línea FD03B01 logra una media de rendimiento de 114% con respecto a la media general y 110% sobre el mejor testigo.

Por su parte, Carvalho *et al.* (1995) señalan que la adaptabilidad a condiciones desfavorables con fines de selección es importante, ya que se considera que una variedad es más adaptable en la medida que sea más productiva, en el caso de la línea FD03B01 presentó alta productividad en ambientes favorables. Por otro lado, el material PN00A022A mostró el mayor valor del estadístico (P_i), indicando su inestabilidad y poca adaptabilidad fenotípica asociada a una menor media en todos los ambientes considerados.

La metodología de Lin y Binns (1988) es de fácil aplicación e interpretación, existiendo la posibilidad de una aceptable discriminación entre los genotipos y siempre asocia mayor A y E con mayor rendimiento, su utilización es ventajosa pero se requiere la acumulación de muchos resultados antes de concluir con base a este análisis.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para la variable estabilidad, según la metodología AMMI, el mismo detectó diferencias significativas ($P < 0,01$) para los componentes principales CP1 y CP2, solo el primer eje del análisis de los componentes representa el 70,37% de la suma de cuadrados de la fuente de variación "test", dado que el residual dejado por el modelo resultó no significativo, estos resultados indicaron que el modelo explica con precisión la interacción GxA de cada genotipo y de los cinco ambientes (locales) considerados. Además, solo el CP1 explica la mayor variación atribuida a la interacción GxA, permitiendo analizar de una manera más fácil este complejo, fenómeno en caracteres cuantitativos que ayuda a mejorar la eficiencia del proceso de selección y recomendación de cultivares por parte del fitomejorador.

CUADRO 3. Análisis de varianza AMMI para componentes principales de 15 genotipos y cinco ambientes, ciclo de riego 2006-2007.

Fuente de variación	GL	SC	CM	P>F
“Test”	74	288,12	3,89	0,000
CP 1	19	202,74	10,61	0,000
CP 2	17	43,64	2,57	0,000
Residual	38	41,74	1,09	0,273
Bloq/(ambientes)	10	30,69	3,06	0,000
Error exp.	140	133,31	0,95	
Total	224	452,11		

El estudio de la interacción realizado con el modelo AMMI se completó con el empleo del “biplot” presentando en la Figura, donde se muestra el rendimiento promedio de granos paddy ($t \cdot ha^{-1}$) de los 15 genotipos de arroz y de los cinco ambientes (locales) en función de los vectores propios del CPI.

Se pudo observar que los genotipos que presentaron los valores absolutos más bajos cercano a cero del CPI fueron L-347, seguido de PN01B034, VENEZUELA 21, CF-205 y PN00B037, indicando que dichos materiales demostraron baja interacción GxA y como tal, pueden ser considerados los más estables a través de ambientes (Bernardo, 2002; Morais *et al.*, 2008; Atroch *et al.*, 2000; Alejos *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2002).

Por otro lado, los materiales que mostraron mayor adaptabilidad fueron FD03B01, L-1 y PN01B034. En este sentido, los valores relativos de A y E obtenidos, permiten recomendar a los dos últimos indicados, para una amplia gama de ambientes similares a los considerados en este trabajo, mientras que FD03B01 resultó para limitadas localidades, principalmente aquellas ubicadas en el SRR-Guárico.

Es aceptable señalar que los valores relativos presentados para A y E de cada genotipo, va a depender fundamentalmente de la representatividad de los ambientes disponibles y del número de localidades evaluadas. Bernardo (2002), agrega que no solo basta la representatividad de las localidades, sino, que algunos de ellos se deben sembrar en diferentes épocas para dar recomendaciones más objetivas.

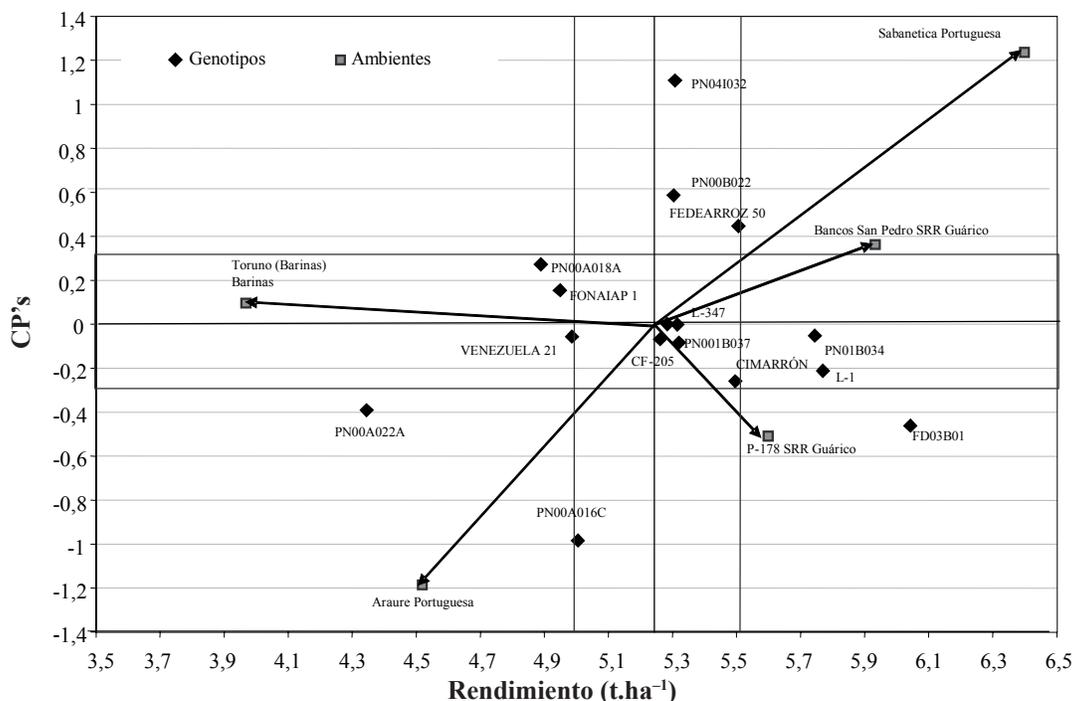


FIGURA. Doble representación (Biplot) de 15 genotipos de arroz en cinco ambientes en Venezuela en los años 2006-2007, según el modelo AMMI.

El genotipo FD03B01 presentó interacción GxA negativa con los ambientes Sabanetica (Portuguesa), Bancos de San Pedro (SRR-Guárico) y Toruno (Barinas) e interacción positiva con los ambientes P-178 (SRR-Guárico) y Araure (Portuguesa). Análisis similar puede ser deducido para los genotipos PN01B034, L-347 y CF-205.

Los genotipos más rendidores (mayores incluso al límite superior establecido en el intervalo de confianza al 95%) en orden decreciente fueron FD03B01, L-1, PN01B034, siendo el primero más inestable y los dos últimos estables.

Así mismo, los genotipos que mostraron rendimientos superiores al promedio, pero inferior al límite superior del intervalo de confianza, fueron FEDEARROZ 50, PN04I032 y PN00B022, por cuanto presentaron alta inestabilidad. El material PN00A022 de menor rendimiento en granos y alta inestabilidad, evidenciando interacción GxA positiva con Araure (Portuguesa) y P-178 (SRRG).

Entre los testigos el mayor rendimiento de granos se obtuvo con FEDEARROZ 50 seguido de CIMARRÓN, VENEZUELA 21 y FONAIAP 1, siendo el más estable VENEZUELA 21, seguido de CIMARRÓN y FONAIAP 1.

El modelo AMMI también permite estudiar y agrupar los ambientes, en este sentido, la interpretación fue similar a la dada en los genotipos y los menores valores absolutos estimados del CP1 contribuyen en menor medida a la interacción entre GxA, caso contrario, ocurre con los que presentan valores altos.

Se puede observar que la localidad Toruno (Barinas) es la que menos contribuye a la interacción de GxA, pero fue donde hubo menor posibilidad al discriminar los genotipos. Al contrario, en la localidad Sabanetica (Portuguesa) el vector presentó mayor magnitud y los genotipos expresaron mejor su potencial genético al igual que su discriminación, pero influye marcadamente la interacción de GxA, así mismo, en la localidad Araure (Portuguesa). Por tal motivo, son consideradas las más inestables, además, ambas clasifican los genotipos de manera inversa.

Según expresaron Yan *et al.* (2000) y Crossa *et al.* (1990) los ambientes cuyos vectores presentan un ángulo menor de 90° tienden a clasificar a los genotipos de manera similar, como se pudo comprobar en las localidades Sabanetica (Portuguesa) y Bancos de San Pedro (Guárico).

Por otro lado, los ambientes cuyo vectores presentan un ángulo cercano a los 90° como Sabanetica (Portuguesa) y la Parcela 178 (Guárico), no mantienen relación en la forma de ordenar los genotipos; los de ángulos cercano a 180°, caso Sabanetica y Araure, ambas de Portuguesa, ordenan los genotipos de manera inversa afectando la recomendación y selección del fitomejorador.

CONCLUSIONES

Con base a los análisis de estabilidad y adaptabilidad fenotípica, se puede concluir:

- Ambos modelos (Lin-Binns y AMMI) coinciden y permiten recomendar al genotipo FD03B01 por presentar mayor adaptabilidad principalmente en las localidades del SRR-Guárico
- El modelo AMMI permite recomendar a los genotipo PN01B034, L-1 y PN00B037 como los de mayor estabilidad fenotípica, con adaptabilidad intermedia.
- El modelo AMMI a través de la figura de doble representación "biplot" permite una eficiente interpretación del efecto interacción GxA, facilitando la toma de decisiones (recomendación) de genotipo al fitomejorador.

AGRADECIMIENTO

El equipo de mejoradores del INIA, agradece la colaboración por la conducción de los experimentos a los TAI. Lcdo. Paulo Abreu, TSU. Reinaldo Méndez, Ing. Edith Hernández, TSU. Neida Ramos, Per. Edgar Rodríguez, Ing. Juan Figueroa (Asoportuguesa) y TSU. Carlos Lozada (Danac)

BIBLIOGRAFÍA

- Alejos, G., P. Monasterio and R. Rea. 2006. Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy state, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(3):370-384.
- Allard, R. W. 1971. *Princípios do melhoramento genético das plantas.* São Paulo: Edgard Blüchner. 381 p.
- Atroch, A. L., A. A. Soares P. e M. Ramalho. 2000. *Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de*

- sequeiro testada no estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. 24(3):541-548.
- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Woodburg: Stemma Press, 147-169 pp.
- Carvalho, P., J. Da Costa, J. Dos Santos e E. Pereira. 1995. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesq. Agropec. Brasil*. 30:207-213.
- Crossa, J., H. G. Gauch Jr. and R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30(3):493-500.
- Cruz, C. D. 2005. Princípios de genética quantitativa. Universidade Federal de Viçosa. Ed. UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 394 p.
- Cruz, C. D. e A. J. Regazzi. 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidade Federal de Viçosa. Ed. UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil 2da ed. 390 p.
- Duarte, J. B. e R. Vencovsky 1999. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise "AMMI". Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 60 p. (Série monografias, 9).
- Gauch, H. G. 2007. MATMODEL Version 3.0. Open source software for AMMI and related analyses. *Crop and Soil Sciences* (en línea). Cornell University, Ithaca, NY 14853. Disponible en <http://www.css.cornell.edu/staff/gauch/matmodel.html>.
- González, T., E. Monteverde, C. Marin, P. y M. Madriz. 2007. Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de Algodón. *Interciencia*. 32(5):344-348.
- Hoogerheide, E. S., C. F. Farias, R. Vencovsky e E. Freire. 2007. Estabilidade fenotípica de genótipos de algodoeiro no estado do Mato Grosso. *Pesq. Agropec. Brasilia*. 42(5):695-698.
- Lin, C. S., M. R. Binns and L. P. Lefkovich. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Sci*. 26:894-900.
- Lin, C. S. and M. R. Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 68:193-198.
- Marín, C., F. San Vicente y V. Segovia. 2004. Métodos recientes para el análisis de la interacción genotipo-ambiente en pruebas regionales de cultivares de maíz (*Zea mays* L.). **In:** VI Jornadas científicas del maíz. Maracay. Venezuela. Fasc. 1: 6 p.
- Morais, L. K., J. B. Pinheiro, M. F. Moura, A. V. Aguiar, J. B. Duarte, A. M. Carbonell, M. I. Zucchi e N. F. Moura. 2003. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura utilizando a metodologia AMMI. *Bioscience. Journal*, Uberlândia. 19(1):7-14.
- Morais, L. K., R. M. Da Silva, A. F. Chiorato, L. E. Azzini, O. V. Villela, P. B. Gallo, M. Sakai, C. R. Basto e V. M. Malavolta. 2008. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Biociências*. 14(1):9-16.
- Ramalho, M. A., J. B. Santos e C. A. Pinto. 2000. Genética na agropecuária. Lavras: Ed. UFLA. 404 p.
- Rea, R. and O. Sousa de. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central- western region of Venezuela. *Interciencia*. 27(11):620-624.
- Rodríguez, J. E., J. S. Castellano, H. E. Villaseñor, J. D. Molina y A. M. Garza. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de Temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.
- Statistical Analysis System (SAS). Institute, INC. 2002-2003. Release 9.1.3 Service Pack 2. Cary, NC, USA.
- Silva, W. C. e J. B. Duarte. 2006. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. *Pesq. Agropec. Brasilia*. 41(1):23-30.
- Vencovsky, R. e P. Barriga. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 496 p.
- Yan, W. L., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 40(3):597-605.
- Zobel, R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 80(3):388-393.

ZONIFICACIÓN PRODUCTIVA CAÑERA EN HUASTECA POTOSINA, MÉXICO

PRODUCTIVE ZONING CAÑERA IN HUASTECA POTOSINA, MEXICO

Noé Aguilar-Rivera*, Guadalupe Galindo Mendoza*, Carlos Contreras Servin* y Javier Fortanelli Martínez*

*Profesores. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Sierra Leona # 550, Col. Lomas 2a. Sección. C.P. 78210. San Luis Potosí S.L.P. México. E-mail: noe.aguilar@uaslp.mx

RESUMEN

Los sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota (PR) son herramientas de utilidad en el manejo y modernización de la zonificación agroecológica de la producción de caña de azúcar, *Saccharum officinarum*. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la distribución espacial al caracterizar el nivel de productividad del cultivo, en la región Huasteca Potosina, en San Luis Potosí, México, mediante técnicas de percepción remota. Se emplearon datos de Índice Normalizado de Vegetación (INDV), suelo y agrometeorológicos para evaluar la productividad mediante el software cartográfico ILWIS 3.3 y ESRI ArcGis versión 9.2. El INDV permitió identificar y evaluar el estado del cultivo. Los resultados indican que la zona cañera es óptima para obtener altos rendimientos, pero estos fueron marginales. Cada zona tiene una combinación similar de potencial, limitaciones para el desarrollo del cultivo y determina el foco de atención para futuras recomendaciones en las zonas cañeras. Estas áreas dentro de Huasteca Potosina requieren sistemáticas acciones de planeación, arreglos institucionales e iniciativas gubernamentales para incrementar su rentabilidad y productividad.

Palabras Clave: álgebra de mapas; INDV; percepción remota; *Saccharum officinarum*; SIG; zonificación.

SUMMARY

The geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) are the most important tools to implement high efficient management of modernization and agro-ecological zoning of sugarcane, *Saccharum officinarum*, production. The objective of this research was to evaluate the spatial distribution and characterize the level of productivity of sugarcane crop in Huasteca Potosina area in San Luis de Potosí, Mexico, through remote sensing techniques. Normalized difference vegetation index (NDVI), weather and soil databases and the management systems under which the crop is grown were used to evaluate inherent productivity. ILWIS 3.3 and ESRI ArcGis 9.2. software were used for cartographic synthesis. NDVI was successfully used for sugarcane condition assessment: canopy cover, vigour and area identification. The results indicate that the sugarcane zone is precisely located for good crop yields, however were detect marginal yields. Each zone has a similar combination of constraints and potentials for land use and serves as a focus for the targeting of recommendations designed to improve the existing sugarcane land use situation. The sugarcane areas at Huasteca Potosina requires a systematic effort towards the planning of land use activities in the most appropriate way, apart from several other institutional and policy programmed initiatives to improvement the profitably and productivity.

Key Words: GIS; map algebra; NDVI; remote sensing; *Saccharum officinarum*; zoning.

RECIBIDO: enero 10, 2010

ACEPTADO: septiembre 27, 2010

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, es una planta perenne en forma de tallo que es cultivada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (actualmente se cultiva en 105 países) entre las latitudes 37° N y 31° S, principalmente, por su capacidad para almacenar grandes cantidades de sacarosa (10-18%) en los internodos, dependiendo de la variedad y de las condiciones agroclimáticas como factores limitantes para su crecimiento, además de la etapa de desarrollo (planta, soca o resoca), suelo, fertilización, clima, temperatura, plagas, malezas, enfermedades y la disponibilidad de agua, tienen relación directa en la productividad del cultivo (rendimiento de campo y agroindustrial); pero de estos factores el más importante es la disponibilidad de agua (Abdel-Rahman, 2008; Inman-Bamber, 2005).

La agroindustria de la caña de azúcar en México, por tradición, es un sector productivo en continua crisis económica, tecnológica, ambiental y social, funcionando sobre la base de subsidios estatales al comercializar un solo producto (la sacarosa o azúcar de mesa) como resultado de operaciones unitarias de proceso en una factoría denominada “Ingenio Azucarero” que procesa una única materia

prima (caña de azúcar) procedente de un monocultivo. Por otra parte, se tiene como sector productivo alternativo, la producción de panela o piloncillo y/o pilón en una instalación denominada “Trapiche”.

Los productores de caña de azúcar de ambos sistemas productivos, continúan buscando formas de reducir costos, aumentar la productividad y los rendimientos, pero en general, son pocas las herramientas de agricultura de precisión (AP) que se están aplicando para este fin.

El cultivo de la materia prima para ambos procesos, crearon toda una tradición productiva en 15 estados de la República, donde se cultiva y se procesa la caña en 57 ingenios y numerosos trapiches, es decir, la agroindustria de la caña de azúcar se localiza distribuida en: Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, a su vez, integran seis regiones cañeras administrativas con diversidad de indicadores productivos (Figura 1), destacándose por su alto rendimiento de campo promedio anual las regiones: Puebla, Morelos y Chiapas; además de Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí por su alta superficie cultivable (Cuadro 1).



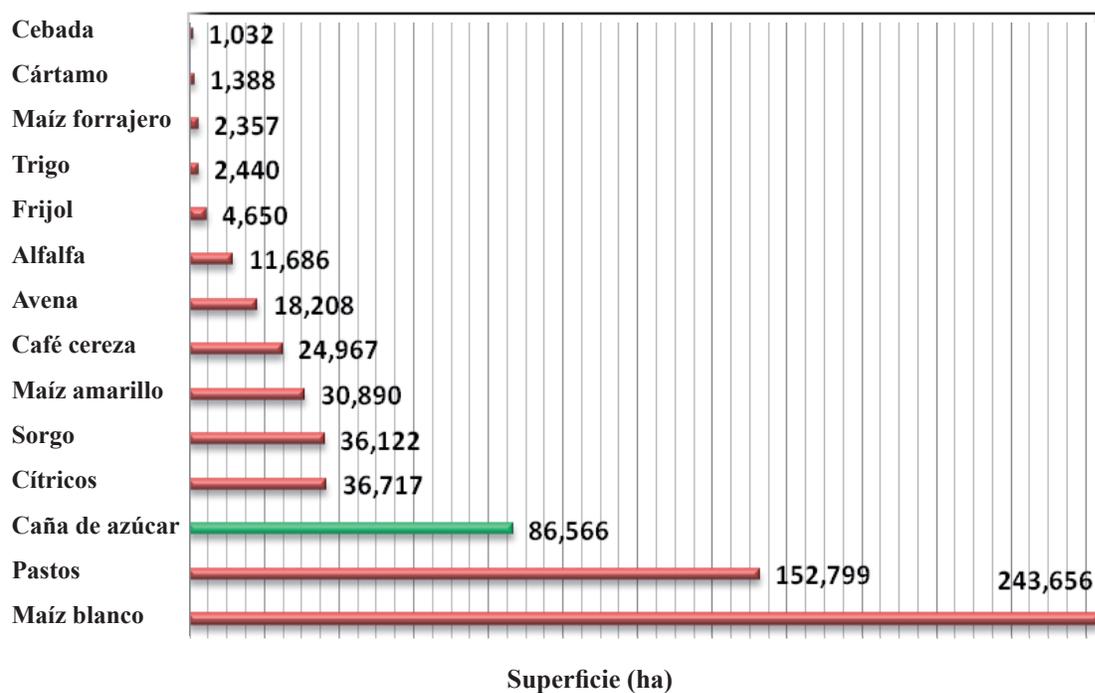
FIGURA 1. Regiones productoras de caña de azúcar (PRONAC, 2007).

CUADRO 1. Productividad de la industria azucarera nacional (CNPR, 2009).

Estado productor	Superficie cosechada (ha)	Producción de azúcar (t)	Costo de producción EE.UUS/t caña
Nacional	663,057	4 962,495	28,8
Veracruz	267,606	1 857,269	30,5
San Luís Potosí	68,669	428,663	34,4
Jalisco	4,314	655,252	15,5
Oaxaca	40,818	251,929	17,8
Tamaulipas	31,045	227,603	36,2
Tabasco	28,768	157,145	26,7
Chiapas	28,534	279,391	16,6
Nayarit	26,839	200,925	26,7
Quintana Roo	22,226	110,535	33,4
Sinaloa	21,527	164,786	34,3
Puebla	15,451	201,574	50,8
Morelos	13,496	178,181	14,3
Michoacán	12,331	111,162	30,7
Colima	12,233	97,052	26,8
Campeche	9,582	44,270	37,8

En el estado de San Luís Potosí, específicamente en la región Huasteca Potosina, la caña de azúcar para los ingenios azucareros registra la mayor tasa media anual de crecimiento con 3,1% en el período 1998-2008 (SIAP, 2009). Esta zona se ubica hacia la parte oriental del estado, entre los 19°51' y 21°34' latitud N y 15°54' y 116°56' longitud O, en la región de Barlovento de la Sierra Madre Oriental. Se define como límite boreal de las selvas mexicanas que presenta la línea divisoria entre Aridoamérica y Mesoamérica. Conforman dos subcuencas hidrográficas (ríos Valles y Moctezuma). Estas características físicas permitieron el desarrollo de actividades agropecuarias, sobre todo la caña de azúcar (Galindo, 2006), constituyendo el principal cultivo perenne y agroindustrial, luego del maíz blanco para consumo humano y los pastos para el ganado (Figura 2).

Sin embargo, a nivel nacional presenta una productividad de media a baja, así lo señalan los indicadores del sector azucarero (Figura 3). Se produce en los municipios de Alaquines, Aquismón, Cárdenas, Ciudad Del Maíz, Tancanhuitz, Ciudad Valles, Coxcatlán, Huehuetlán, Rayón, San Antonio, San Martín Chalchicuautla, Santa Catarina, San Vicente Tancuayalab Tamasopo, Tamazunchale, Tampacán, Tampamolón Corona, Tamuín, Tanlajás, Tanquián de Escobedo, Axtla De Terrazas, Xilitla, Matlapa y El Naranjo (ASERCA, 2004).


FIGURA 2. Inventario de cultivos en Huasteca Potosina (INEGI, 2007).

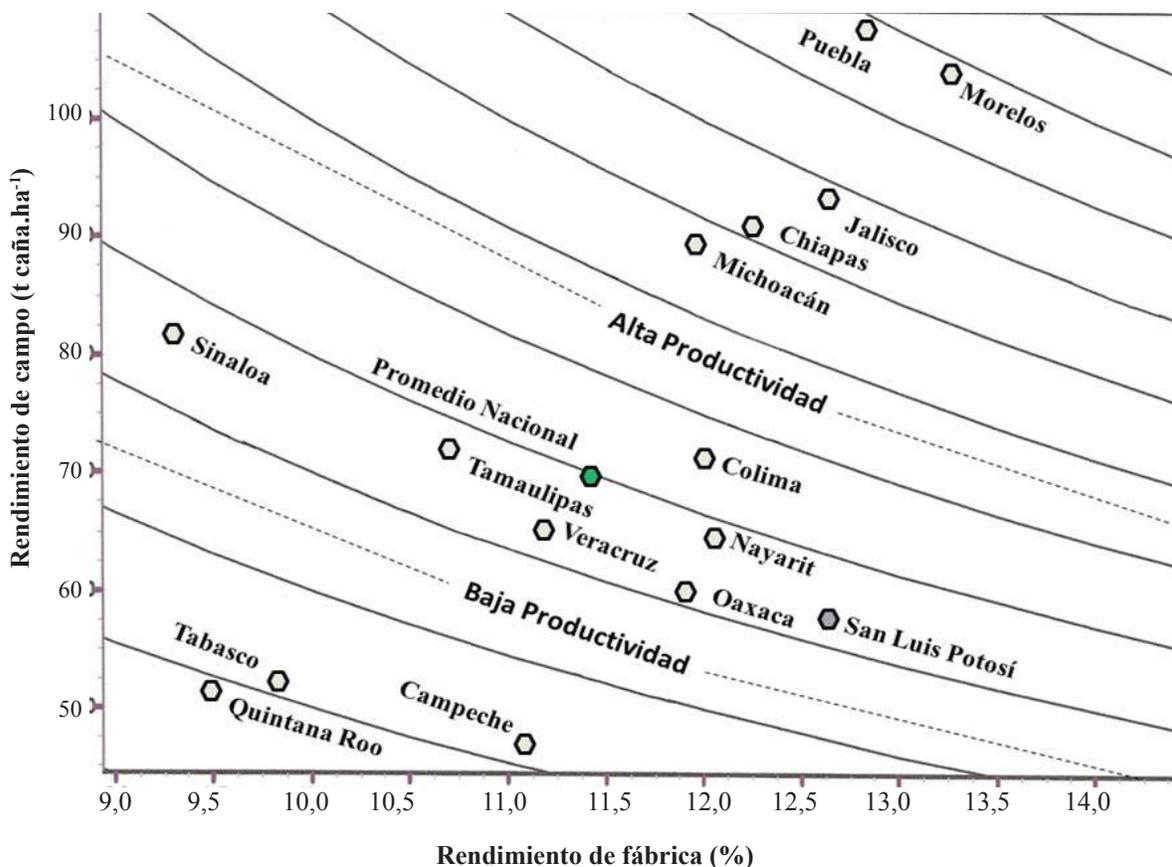


FIGURA 3. Diagrama de productividad de los estados cañeros en México (elaborado con datos del Manual Azucarero Mexicano 2010 y la Metodología de Luna *et al.*, 1995).

Estas regiones cañeras se localizan en zonas de piedemonte y llanura donde existen dos tipos de productores primarios: 1) Para azúcar de mesa (industria azucarera) quienes tienen convenios con la industria del azúcar, representada por cuatro ingenios del estado: Alianza Popular y Plan de Ayala (Grupo Santos), San Miguel El Naranjo (Grupo Beta San Miguel) y Plan de San Luis (SAGARPA-FEESA), dedicados a la fabricación de azúcar crudo y como principal subproducto generan melazas; 2) Los libres o independientes sin contratos fijos en la entrega de caña para ingenios y trapiches. En los Cuadros 2 y 3 se presentan algunos indicadores operativos.

Ambos tipos de productores (12 567 ha, 7,6% del total nacional) integran una superficie total de caña de azúcar de 86 566,64 ha, distribuidas en 12 910 unidades productivas de las cuales 8 387 abastecen el rubro al ingenio azucarero, 2 212 para trapiche, 2 844 para ambos con una producción de 4 415,191 t de caña de azúcar con

destino a los ingenios, 38 274,81 t a la producción de piloncillo; 5 305,63 t se destinan a la producción de semilla de caña y 5 948,14 t a otros usos (CNPR, 2009; SIAP, 2009; Coazucar, 2008).

En Huasteca Potosina como en todas las regiones cañeras de México, el sector primario de la industria azucarera se caracteriza por ser la base material de la producción; ésta se evalúa en términos de superficie, tonelaje y costos. Sin embargo, ante los bajos indicadores de producción y rentabilidad de esta zona a nivel nacional, afectando esto negativamente los ingresos de los productores, se requiere analizar los factores limitantes y los geoeconómicos del cultivo, mediante metodologías que permitan establecer la relación a nivel espacial y temporal entre las variables que caractericen los niveles de productividad en Huasteca Potosina permitiendo así, establecer zonificaciones y/o notificaciones para determinar futuras recomendaciones para la supervivencia de la agroindustria en esta región.

CUADRO 2. Indicadores productivos de los ingenios azucareros de Huasteca Potosina (Manual Azucarero Mexicano, 2010).

Factor de Productividad	San Miguel El Naranjo	Plan de San Luis	Alianza Popular	Plan de Ayala
Caña molida (t)	Aceptable	Regular	Regular	Regular
Rendimiento de campo (t caña.ha ⁻¹)	Mínimo	Bajo	Bajo	Bajo
Azúcar producida (t)	Bueno	Bueno	Bueno	Aceptable
Rendimiento agroindustrial (t azúcar.ha ⁻¹)	Mínimo	Bajo	Bajo	Bajo
Rendimiento de fábrica (%)	Bueno	Aceptable	Aceptable	Regular
Sacarosa en caña (%)	Excelente	Excelente	Bueno	Aceptable
Pérdidas totales de sacarosa (%)	Mínimo	Mínimo	Regular	Regular
Consumo de petróleo (l.t azúcar)	Excelente	Regular	Bueno	Regular
Eficiencia de fábrica (%)	Mínimo	Mínimo	Regular	Mínimo
Tiempos perdidos (%)	Regular	Aceptable	Regular	Bueno

CUADRO 3. Indicadores productivos en ingenios azucareros (Ahumada, 2009).

Factor de productividad	Excelente	Bueno	Aceptable	Regular	Mínimo	Bajo
Caña molida (t)	> 11 500	1,2 a 11 499	1 a 1 199	0,8 a 0,999Mt	0,6 a 0,799Mt	< de 0,6
Rendimiento de campo (t caña.ha ⁻¹)	> 100	90 a 99,9	80 a 89,9	70 a 79,9	60 a 69,9	< de 60
Azúcar producida (t)	> de 150	100 a 150	80 a 100	60 a 80	40 a 60	< de 40
Rend. Agroindustrial (t azúcar.ha ⁻¹)	> de 12,5	11,1 a 12,49	9,5 a 11	8,5 a 9,49	7,5 a 8,5	< de 7,5
Rendimiento de fábrica (%)	> de 12,5	12,01 a 12,49	11,51 a 12	11,01 a 11,50	10,01 a 11	< de 10
Sacarosa en caña (%)	> de 14,5	14 a 14,49	13,5 a 13,99	13 a 13,49	12 a 12,99	< de 12
Pérdidas totales de sacarosa (%)	< de 2	2 a 2,20	2,21 a 2,40	2,4 a 2,7	2,7 a 2,99	> de 2,9
Consumo de petróleo (l.t azúcar)	< de 10	10 a 50	50 a 75	75,1 a 100	100,1 a 200	> de 200
Eficiencia de fábrica (%)	> de 85	84 a 84,99	83 a 83,99	82 a 82,99	80,1 a 81,99	< de 80
Tiempos perdidos (%)	< de 5	5,1 a 8	8,1 a 10	10,1 a 12	12,1 a 15	> 15

Zonificación de la producción de caña de azúcar

La determinación del potencial productivo para las zonas cañeras de México y los estudios de regionalización, zonificación y notificación, entre otros, se encuentran limitados por la baja disponibilidad de información

estadística y cartográfica con relación al medio físico y potencialidades de las diversas regiones productoras de caña, esta información temporal y espacial fue tradicionalmente limitada y con actualización irregular. Además, en los trabajos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI) fue difícil obtener

otra fuente de información que proporcionara datos o material de documentos confiables y útil en la toma de decisiones en planeación y gestión de actividades productivas (Aguilar *et al.* 2009; Salgado *et al.*, 2008; Medina *et al.*, 1997; Acuña, 1993).

De acuerdo con Jiménez *et al.* (2004), Cengicaña (2004) y FAO (1996), el objetivo de una zonificación de cultivos es identificar áreas potencialmente aptas, las cuales surgen de la sobreposición espacial de información de variables, tales como: suelos, clima, cultivos y otras clasificadas en intervalos. La sobreposición simultánea genera combinaciones únicas que se manifiestan en una extensión espacial a través de un mapa y una base de datos resultantes que orientan la investigación y el desarrollo de la agricultura de precisión en una región determinada a escala, predio o unidad productiva, debido a la longevidad del cultivo, el bajo costo de adquisición de imágenes, su cobertura espacial y la posibilidad de generar los índices de sus bandas espectrales (Abdel-Rahman, 2008; Zhang, 2005).

Ante esta situación, las técnicas de percepción remota (PR) con imágenes satelitales (Lansat, SPOT, NOAA, entre otros), los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de geoposicionamiento (GPS), son herramientas útiles para: identificación y monitoreo de grandes áreas agrícolas; estimación de la producción, detección de enfermedades y estrés; mapeo de zonas productivas, direccionamiento del muestreo y observación en campo; basados en la variabilidad espacial del suelo, clima y parámetros de campo de los diversos cultivos (Salgado *et al.*, 2008; Ueno *et al.*, 2005; Epiphanyo, 1996; Aguila y Zuluete, 1993; Rudorff, 1990).

En cuanto a la PR posibilita una visión sinóptica de las zonas agrícolas y el seguimiento temporal de las fases de crecimiento para las grandes áreas agrícolas, demostrando un gran potencial para su uso en la cultura de la caña de azúcar y permite fortalecer una zonificación del cultivo, no obstante, algunos trabajos se desarrollaron prevaleciendo la falta de estudios sobre el comportamiento espectral (Abdel-Rahman, 2008; Simões Dos Santos, 2005, 2003).

Los estudios agroclimáticos y agroecológicos llevan a cabo la identificación, zonificación y clasificación de áreas de cultivo de caña de azúcar dentro de diferentes tipos de análisis como: la interpolación espacial, el álgebra y sobreposición de mapas, necesarios para estimar la productividad del cultivo (t tallos. ha^{-1}) y para propósitos de manejo (Jiménez *et al.*, 2004; Schmidt *et al.*, 2001; Narciso y Schmidt, 1999; Lee, 1990).

El Índice Normalizado de Vegetación (INDV) mide la reflectividad del espectro electromagnético calculado a partir de la reflectancia en el rojo (R) y el infrarrojo cercano (NIR): $INDV = (NIR - R) / (NIR + R)$ da una medida de la cobertura vegetal y su vigorosidad, producto de la clorofila de las hojas; se considera un buen estimador de la biomasa, empleado en todo el mundo resultando el índice verde más consistente para monitoreo de vegetación en los ambientes y situaciones más diversos; se utiliza ampliamente para evaluar a escala regional la productividad de los cultivos, teniendo correlación con el contenido de humedad de la planta, pudiéndose aplicar incluso en la agricultura de precisión para el control de los cultivos, las observaciones espectrales del follaje pueden usarse para monitorear las variaciones del crecimiento y subsecuentemente como indicadores del estrés, el cual está sometido el cultivo e indirectamente asociado a la productividad del mismo (Xavier *et al.*, 2006; Xavier *et al.*, 2004; Benefetti y Rossini, 1993). En este sentido, Pontes *et al.* (2005) indicaron que existe correlación entre el INDV y la productividad del cultivo de caña de azúcar, así mismo, la diferenciación de su potencial.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la distribución espacial al caracterizar el nivel de productividad del cultivo de la caña de azúcar en Huasteca Potosina mediante técnicas de PR y SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio, está basado en el muestro de puntos ubicados en la zona cañera de Huasteca Potosina y la interpretación visual de espacio mapas derivados de imágenes Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) 2 645, 2 745 y 2 744 (órbita/punto) con resolución espacial de 30 x 30 m, las cuales fueron corregidas geográficamente empleando el Datum norteamericano de 1927 y la proyección Transversal de Mercator (UTM zona 14 Norte). Para el procesamiento digital de las imágenes fue empleado el software ILWIS 3.3 (Integrated Land and Water Information System, ITC, ILWIS System). Estas imágenes fueron utilizadas en primer lugar, para establecer los límites en la zona agrícola de caña de azúcar (polígonos digitales) y de otros usos del suelo; en segundo lugar, para determinar la respuesta espectral de la caña de azúcar relacionada con la productividad (INDV bandas 3 y 4). Posteriormente, se calcularon las capas temáticas de niveles de producción: alto, medio, bajo y muy bajo, para coincidir con la clasificación adoptada para la zonas azucareras de México.

Posterior a esta clasificación, se llevó a cabo un análisis de cada capa por nivel productivo, tomando en cuenta los requerimientos climáticos y edáficos necesarios para el desarrollo del cultivo en el software ArcMap ESRI ArcGis 9.2., de acuerdo a la metodología de Jiménez *et al.* (2004), Cengicaña (2004) y Rudoff (1985) mediante el uso de la superposición de mapas de datos meteorológicos y edáficos (temperaturas, régimen de lluvias, Índice de Severidad a la Sequía de Palmer, climas, suelos, altitud, pendiente y tenencia de la tierra) en

formato digital, desarrollados según la metodología de Hernández (2006) y Galindo (2005), lograron una base de datos mediante el uso del algoritmo Cross (álgebra de mapas), generándose las posibles combinaciones entre categorías de ambos mapas y la superficie que registran tales operaciones relacionadas con la productividad del cultivo de caña de azúcar (Figura 4). La información generada fue validada con trabajos de campo, empleando un equipo GPS Garmin modelo GPSmap 60CSx.

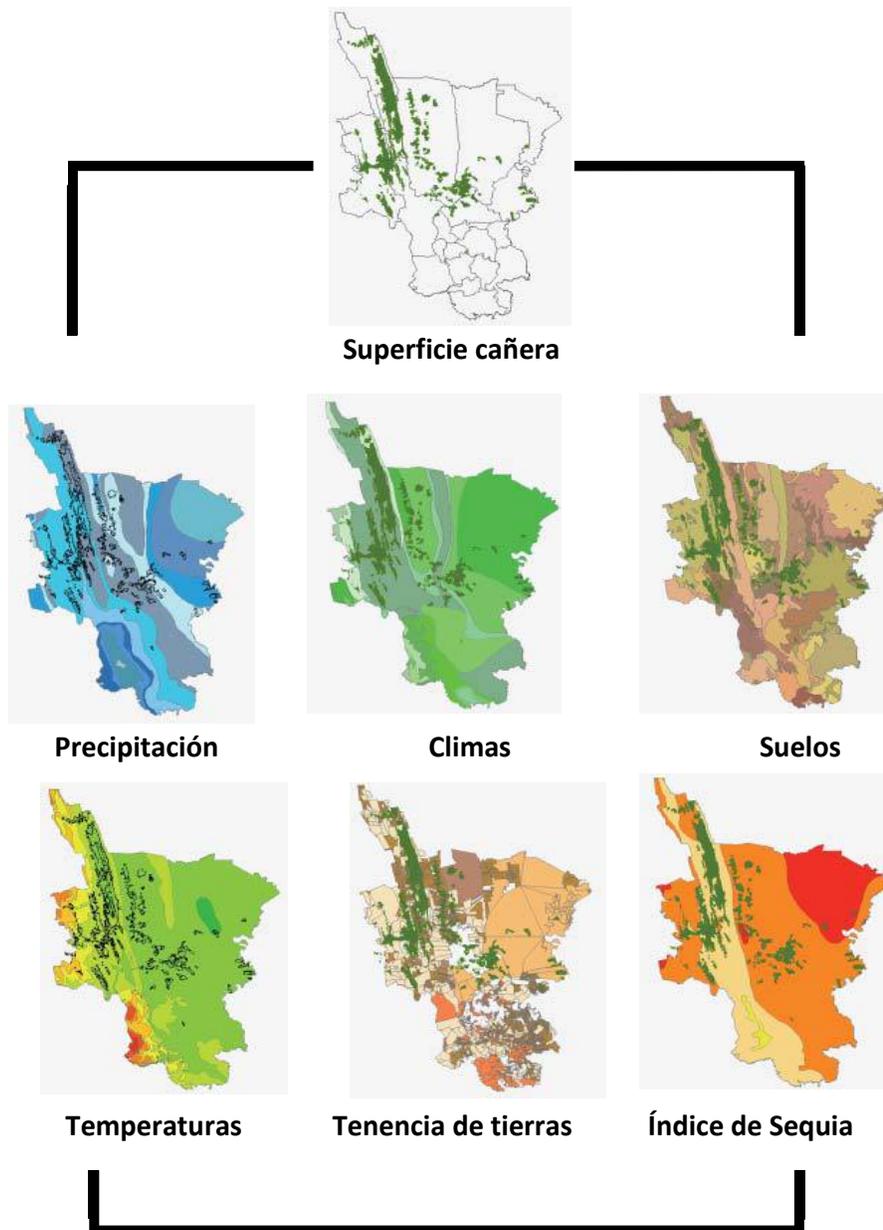


FIGURA 4. Mapas temáticos empleados en la evaluación de la productividad cañera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial de este tipo de cobertura en la región de Huasteca Potosina, permitió que la identificación de los predios con caña de azúcar fueran visiblemente aceptable. Además, en dicha región se observó poca diversidad de usos del suelo por ganadería y otros cultivos con la consecuente reducción de los tipos de cobertura para la zona bajo estudio que posibilitó la

obtención de un resultado de identificación verídico y confiable (Figura 5).

Se procedió a la delimitación del perfil del INDV que se estableció *a priori*, de acuerdo a su valor, para la separación de los cañaverales y la distribución espacial correspondiente por superficie y niveles de productividad en las diferentes características espectrales de las zonas productoras de caña de azúcar (Figura 6 y 7).

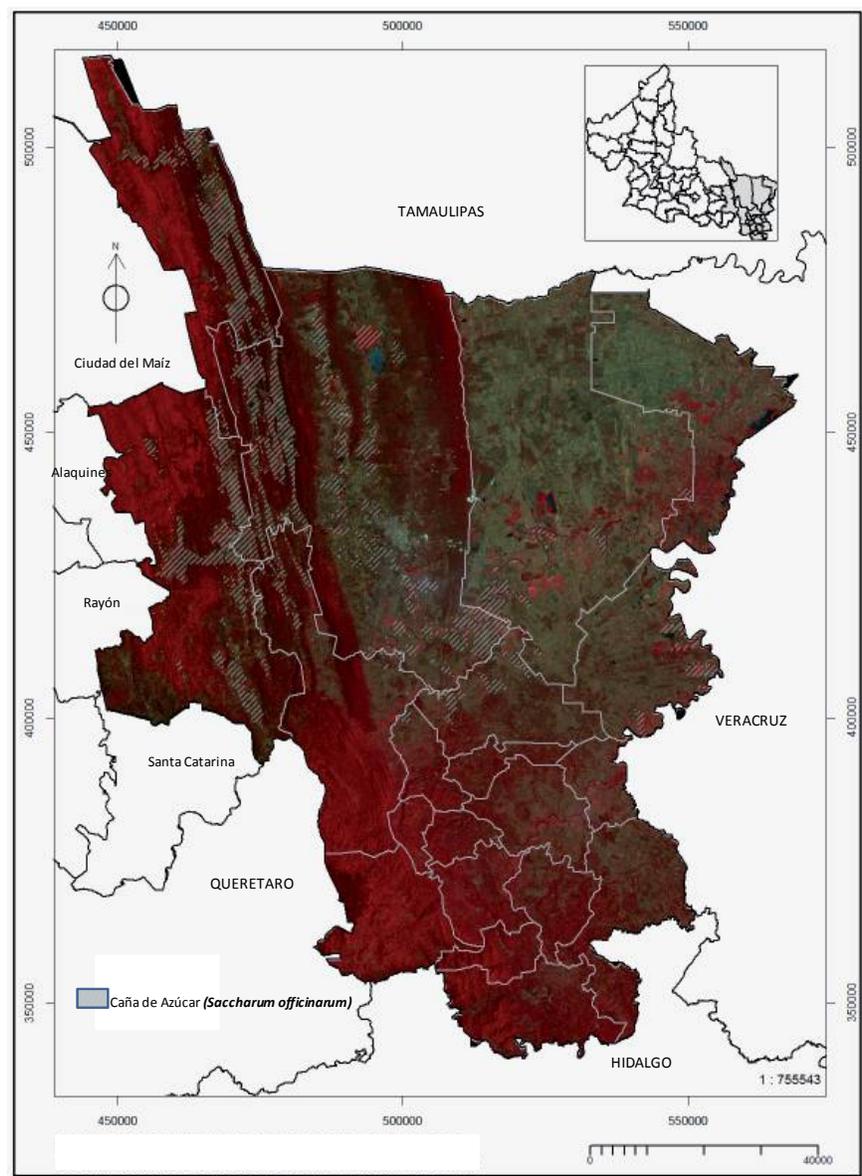


FIGURA 5. Imagen de satélite LANDSAT 7 ETM + compuesto falso color 432 RGB y máscara del cultivo de caña de azúcar dentro de Huasteca Potosina.

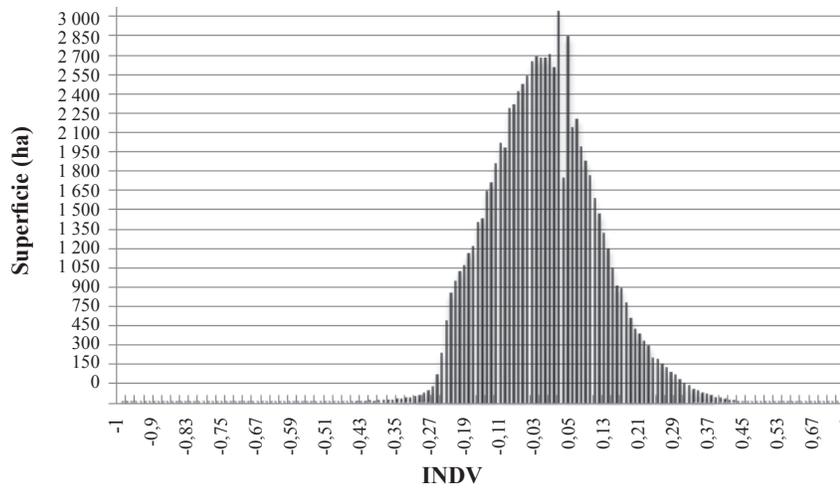


FIGURA 6. Índice Normalizado de Vegetación en la zona productora de caña de azúcar en Huasteca Potosina (valor mínimo -0,98; valor máximo 0,69; desviación estándar 0,12; media -0,04; mediana -0,05).

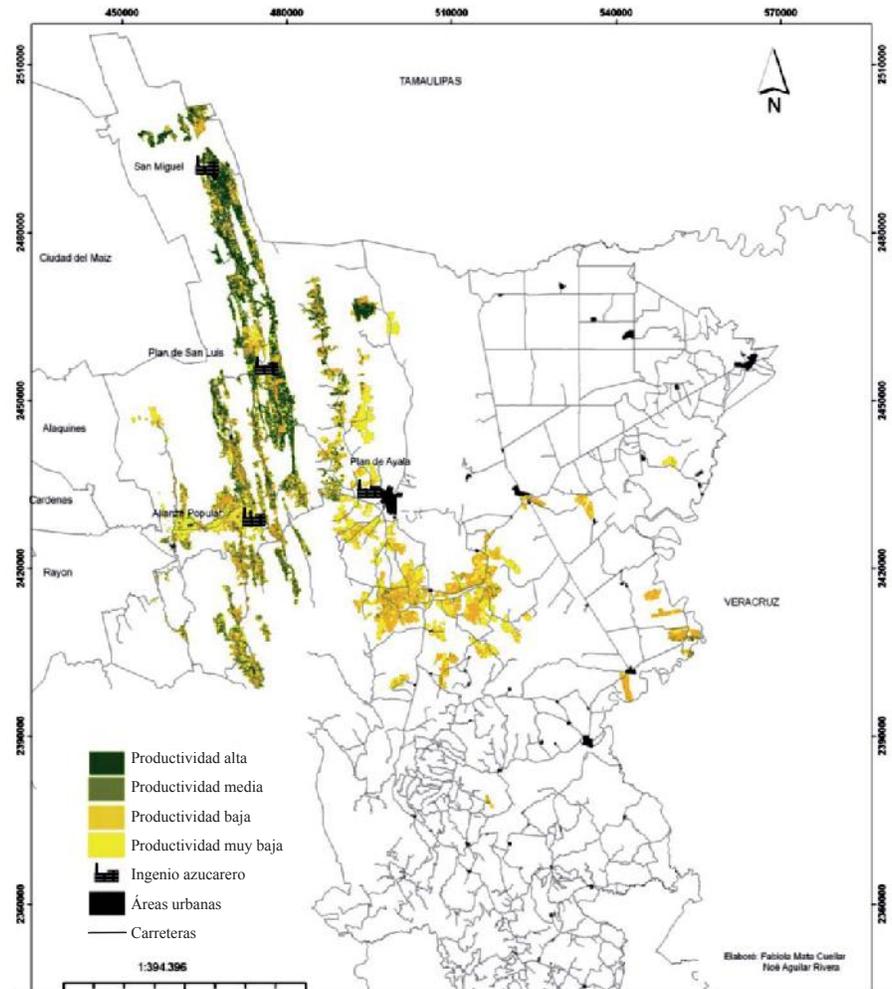


FIGURA 7. Zonificación productiva del cultivo de caña de azúcar dentro de Huasteca Potosina.

Así mismo, en la Figura 7 se observa que al Norte donde se localizan los ingenios San Miguel, El Naranjo y Plan de San Luis (municipios El Naranjo y Ciudad Valles) predominan los cañaverales con nivel de productividad alta y media. Al Este, Centro y Sur en la zona de abasto de los ingenios Plan de Ayala y Alianza Popular (municipios Tamasopo, Tamuin, Aquismon, San Vicente y Tanlajas) prevalecen zonas con productividad media a muy baja. Por lo tanto, el nivel bajo de productividad presentó mayor distribución espacial y superficie (Cuadro 4), en contraposición a los cañaverales con niveles altos y medios, dado a que en la vegetación se encontró un alto estrés hídrico tendiendo a absorber menos radiación solar, aumentando su reflectancia en el rango visible y absorbiendo más la radiación en la porción del infrarrojo cercano (Amaral *et al.*, 2007).

CUADRO 4. Clasificación de la zona cañera en Huasteca Potosina.

Productividad	Área (ha)	% Total
Alta (> 70 t.ha ⁻¹)	6 014,07	7,98
Media (60 a 70 t.ha ⁻¹)	22 838,35	30,32
Baja (50 a 60 t.ha ⁻¹)	33 264,72	44,16
Muy baja (< 50 t.ha ⁻¹)	13 211,69	17,54
Total	75 328,83	100,00

En contraste a lo señalado por los autores que mencionan que para un dosel verde y totalmente desarrollado de caña de azúcar se registran datos de INDV entre 0,7 y 0,8 (Rahma, 2002). Los valores de INDV de Huasteca Potosina en la fecha de toma de la imagen equivalen a un cultivo seco de baja productividad y altamente estresados (Almeida *et al.*, 2006); esto se relaciona con lo indicado por Jiménez (2004), donde menciona que el factor climático y la distribución de la precipitación pluvial junto al edafológico limitan la productividad de la caña de azúcar y determinan zonas de alta, media o baja productividad ya que térmicamente no afecta el desarrollo del cultivo.

De modo que, para Huasteca Potosina las variaciones en el rendimiento potencial del cultivo de caña con relación al INDV como indicador inicial de productividad, están relacionadas directamente con la edafología y consecuentemente con las condiciones hídricas (Da Silva y

Alexandre, 2005); según Fauconnier (1975) estableció que a cada lugar corresponde un rendimiento máximo dependiente de las condiciones climáticas en el mismo año. A la media de esas condiciones climáticas, corresponde una media de rendimiento máximo o potencial específico.

Por consiguiente, el INDV como herramienta de diagnóstico, debe acompañarse de datos climáticos y edafológicos en un mapa de celdas agroecológicas con características climáticas y edáficas definidas (Salgado *et al.*, 2010; Begue, 2008; Ueno *et al.*, 2005).

Seguidamente, al sobreponer en la clasificación productiva generada por el análisis de INDV, nuevas capas de información edafológica y climática de aptitud específica para el cultivo de caña, permitió obtener nuevos mapas temáticos (Cuadro 5) que determinaron en primer lugar las características espaciales de la totalidad de la zona cañera de Huasteca Potosina y en segundo lugar la estimación de superficies de cada zona en relación a la productividad por INDV (Cuadros 6 al 9).

CUADRO 5. Nivel de aptitud al cultivo de caña (Fauconnier, 1975).

Variable	Nivel de aptitud al cultivo de caña			
	Alta	Media	Baja	No apta
Temperatura anual (°C)	22-32	20/22-32/35	18-20	<18
Precipitación media anual (mm)	>1,500	1,250-1,500	1,250-1,000	<1,000
Pendiente (%)	0-8	8-16	16-30	>30
Altitud (m.s.n.m.)	Hasta 400	400-850	850-1 300	>1 300
Índice de Severidad de la Sequía de Palmer	Leve	Moderada	Fuerte a muy fuerte	Severa
Rendimiento esperado (t.ha ⁻¹)	>80	80-55	55-40	<40

La información generada establece que el clima dominante es (A) Cm (semi-cálido, húmedo con temperatura media anual de 18 a 20 °C) para las zonas de alta (46,7%), media (60,53%) y baja productividad (53,8%) y Aw1 (muy cálido, subhúmedo con temperatura media mayor de 18 °C) para la de baja (25%) y Am (cálido, húmedo con temperatura media anual de 18 a 22 °C) para la de muy baja productividad (51%).

CUADRO 6. Condiciones meteorológicas predominantes de la zona cañera de Huasteca Potosina.

Clima		Lluvia		Temperatura máxima		Temperatura media		Temperatura mínima		Índice de Severidad de la Sequía de Palmer	
Tipo	ha	Isoyetas	ha	°C	ha	°C	ha	°C	ha	Tipo	ha
(A)Cm	40 775,3	<900	212 s	18-20	0,12	18-20	187,9	12-14	213,95	Fuerte	36 103
(A)Cw1	2 794,4	900-1000	944,9	24-26	209,6	20-22	503,6	14-16	1 065,3	Intenso	37 871
(A)Cw2	7 675,8	1 000-1100	4 215,9	26-28	482,8	22-24	3 284,5	16-18	45 207	Severo	1 212
Am	7 111,2	1 100-1200	10 568,9	28-30	23 477	>24	41 649	>18	28 699		
Aw0	4 090,81	1 200-1500	27 220,7	30-32	50 637						
Aw1	16 348,5	1 500-1800	31 997,2	>32	379,8						
Aw2	3 390,32	1 800-2000	12,39								

CUADRO 7. Condiciones edafológicas predominantes de la zona cañera de Huasteca Potosina.

Pendiente		Altitud		Suelo	
Tipo	ha	m.s.n.m.	ha	Tipo	ha
0-5%	65 361,03	0-100	19 699,28	Cambisoles	3 427,75
5-10%	5 641,45	100-200	6 689 45	Rendzinas	6 135,71
10-20%	2 874,44	200-300	30 352 06	Phaeozems	2 675,06
20-25%	615,91	300-400	12 421 59	Litsoles	9 384,28
25-30%	2 346,98	400-500	3 504 05	Castanozem	250,27
30-40%	274,25	500-600	1 156 43	Regosoles	4 778,65
40-50%	142,14	600-1000	887 09	Vertisoles	48 532,16
>50%	71,16	1 000-1 200	519 62	Otros	3,39

CUADRO 8. Condiciones meteorológicas por zonificación productiva en Huasteca Potosina.

Nivel de Productividad	Clima	Lluvia (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura mínima (°C)	Índice de Severidad de la Sequía de Palmer
Alta	(A)Cm Aw1	1 100-1 800	28-32	22-26	16-20	Fuerte
Media	(A)Cm Aw1 (A)Cw2	1 000-1 800	28-32	22-24	16-18	Fuerte a muy fuerte
Baja	(A)Cm Aw1	1 000-1 800	28-32	22-26	16-20	Fuerte a muy fuerte
Muy baja	(A)Cm Aw1	1 100-1 800	30-32	22-26	16-20	Fuerte a muy fuerte

CUADRO 9. Condiciones edafológicas por zonificación productiva en Huasteca Potosina.

Nivel de productividad	Tipo de suelo	Pendiente (%)	Altitud (m.s.n.m.)
Alta	Vertisoles	0-10	300
Media	Vertisoles	0-15	400
Baja	Vertisoles	0-15	200-500
	Litisoles		
Muy baja	Vertisoles	0-10	400

La zona de Huasteca Potosina presenta temperaturas elevadas mayores a 28 °C que predomina durante una parte del año, la mínima con un valor promedio de 22 °C favorable para el normal desarrollo de la planta. Para la edafología predomina el suelo Vp/3 (vertisol pélico) común para todas las zonas (51,7% alta, 51,2% media, 49,9% baja y 56,1% muy baja), con el predominio de pendientes de 0 a 20% de tipo llano o casi llano a moderadamente escarpado, es decir, pendientes en condiciones aptas para el uso de la mecanización. La proporción de este tipo de pendientes es 98% para la zona de alta productividad, 96,6% media, 98,4% baja y 99% muy baja con una altitud que varía desde 61 a 1 200 m.s.n.m.

En esta zona existen condiciones favorables para el crecimiento del cultivo de caña de azúcar y podrían esperarse altos rendimientos, como lo mencionaron Salgado *et al.* (2010); Sánchez *et al.* (1997) y Bautista (1998) con relación a factores edáficos. Sin embargo, de estos factores al igual que los climáticos analizados, el más importante es la disponibilidad de agua planteado por Inman-Bamber (2005), Jiménez (2004) y Aguilar y Zulueta (1993). La caña requiere para su desarrollo en un ciclo completo, valores superiores a 1 500 mm de agua de lluvia o riego; por lo que el 43% muestra la cantidad de agua suficiente para la evolución del cultivo en régimen de temporal distribuido en 2,73% a la zona de alta productividad, 15,12% media, 18% baja y 6,4% muy baja.

Al mismo tiempo, al contabilizar de forma anual diferentes niveles de precipitación, se observó que la distribución del gradiente fue irregular, presentando varios meses de escasas lluvias (noviembre a julio o agosto) incidiendo directamente en el vigor vegetal del cultivo, fundamental para la productividad del mismo en esta zona. De esta manera, la distribución tiene más influencia sobre la

producción de caña que los acumulados anuales, es decir, la cantidad de lluvia efectiva (Figura 8).

Puede inferirse que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (función del déficit de precipitación, respecto a la media anual o estacional de largo período y su duración en una determinada región) predomina en la zona cañera según la distribución: muy fuerte (alta 58,5%, media 44%, baja 51,2% y muy baja 56,7%); fuerte (alta 39,4%, media 55%, baja 47% y muy baja 46,2%) y severo (alta 2,03%, media 1,2%, baja 1,76% y muy baja 1,72%).

Los resultados mostraron que los diferentes factores climáticos que actúan sobre un lugar determinado como en Huasteca Potosina, condicionan en gran medida las fases del ciclo productivo de la caña y los rendimientos finales del cultivo.

Por lo tanto, en el sistema de producción y rendimiento cañero se consideran tres aspectos del impacto climático: primero, establece el proceso de crecimiento y la cantidad de azúcar producida; segundo, las condiciones influyen en el desarrollo de enfermedades y plagas en el cultivo que restringen su proceso; tercero, particularmente la lluvia determina el exceso o escasez de agua, como también el movimiento de nutrimentos y pesticidas.

Sin embargo, no basta con analizar sólo el clima como factor indicativo de una plantación, sino, que es necesario estudiar el suelo y cultivo como un sistema integrado. Cabe señalar, que ante las condiciones agrometeorológicas predominantes para el desarrollo de la caña de azúcar en Huasteca Potosina, un factor limitante es el manejo del cultivo (variedades de caña, cepas envejecidas, fertilización, riego, manejo de plagas y malezas, mecanización, entre otros) sobre todo para las zonas de baja y muy baja productividad, lo que implica el diseño de nuevas metodologías y esquemas de planeación.

En este sentido, la tenencia de la tierra como indicador social, manifiesta que el ejido (alta 30,86%, media 48,42%, baja 49,8% y muy baja 43,9%) es dominante en todas a excepción de la zona de alta productividad, involucrando factores sociales condicionantes que junto a los edafoclimáticos en Huasteca, son inferiores a la media nacional e impactan menos en los rendimientos de la agroindustria a nivel municipal (Cuadro 10). Al respecto, autores como Pérez (2007) y Singelmann (2003) concluyen que el minifundio cañero y algunas características de manejo y socioeconómicas, actúan como freno de la agroindustria al tener separados los dos factores más importantes de la producción agrícola: la tierra y el capital.

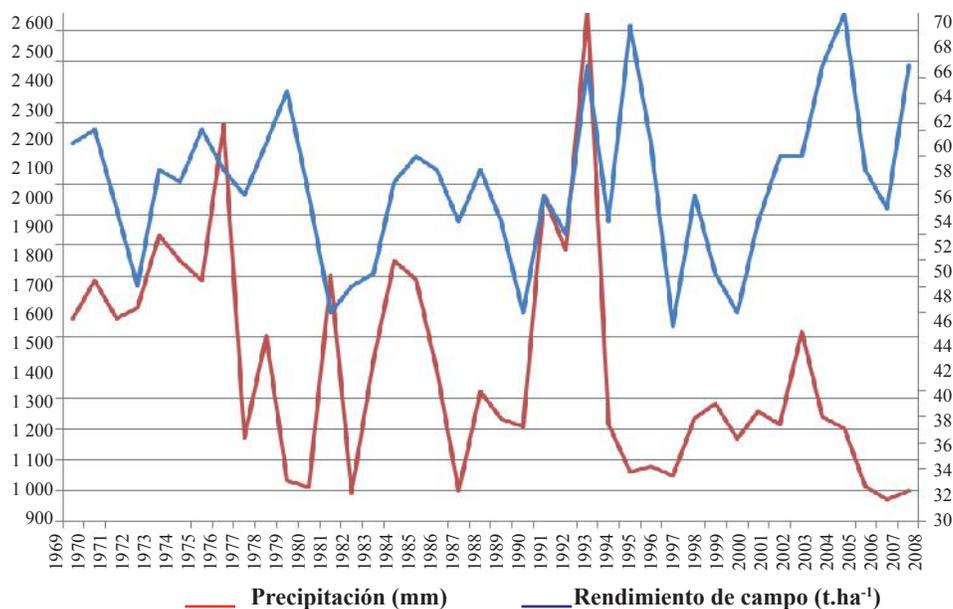


FIGURA 8. Precipitación y rendimiento de campo en la zona cañera de Huasteca (con datos del período 1969-2008 de las estaciones meteorológicas de El Naranjo, El Rosario, El Estribo, La Hincada, 5 de Mayo, Estación Coyoles, Plan de Ayala, Tampaya, Tamasopo y El Canal).

CUADRO 10. Factores socioeconómicos del campo cañero en Huasteca Potosina (SIAP, 2009).

Municipio	Rendimiento de campo (t.ha ⁻¹)	Tenencia de tipo ejidal (%)	Tamaño unidad productiva (ha)	Afectaciones al cultivo (%)	Sin acceso a crédito (%)	Sin capacitación y asistencia (%)	Cultivo en ciclo resoca (%)	Sin acceso a riego (%)
Tamasopo	43,3	86,0	3,27	14,1	42,2	96,0	74,9	77,1
El Naranjo	57,8	55,5	4,03	5,0	56,8	79,8	55,6	86,5
Cd. Valles	49,9	48,4	4,75	8,9	61,2	93,9	54,8	67,7
Tamuín	58,9	81,1	3,51	19,5	81,1	95,4	61,9	55,5
Aquismón	41,7	83,7	2,69	8,9	65,0	97,1	86,0	98,8
Tanlajás	42,8	88,0	1,54	6,9	94,5	96,7	71,8	100
San Vicente	48,6	71,2	4,06	8,4	63,3	53,3	49,8	8,1
Huasteca	49	61,6	3,4	9,5	60,8	92,5	61,1	74,8
Nacional	65	71,3	3,9	23,8	55,8	90,6	42,8	60,8

Por otra parte, no es prudente afirmar que la situación de la agroindustria cañera se atribuya a estos factores exclusivamente. Así mismo, García (2008) puntualizó que a finales de la década del 2000 los problemas fueron de tipo estructural, originados en gran parte por la evolución histórica de la misma, otros, fueron producto de

las nuevas condiciones que imperaban en la economía mundial y en el modelo de desarrollo impuesto para las zonas cañeras de México, donde la influencia de los productores e industriales se limita a los aspectos técnicos de sus operaciones y el subsistema campo no presentaba el rendimiento necesario.

CONCLUSIONES

- El estudio evidencia la capacidad de las imágenes Landsat 7+ETM, principalmente en las bandas espectrales TM3 y TM4, pues, permite observar detalles que difícilmente se pueden identificar en campo sin una inversión considerable de recursos y tiempo al presentar: la localización, distribución, discriminación y diferenciación cuantitativa de los niveles de productividad del cultivo, mediante el análisis de los valores de vigor vegetal en las diferentes áreas con cañaverales, la gran dependencia entre INDV y la climatología de la zona.
- Se encuentra que del total de la superficie cañera evaluada (75 328,83 ha), el 7,98% (6 014,07 ha) se clasifica como de alta productividad, el 30,32% (22 838,35 ha) como media y el resto 61,7% (46 476,4 ha) de baja a muy baja productividad.
- En función de estas interpretaciones puede realizarse a mediano plazo, la planificación integral de una zona de interés mediante la determinación y diferenciación de ambientes productivos, debido a la homogeneidad en la toma de datos y a las posibilidades de procesamiento de la información obtenida, pudiéndose integrar con otras fuentes provenientes de diversos campos de estudio para generar otros productos todavía más específicos.
- Si se consideran la variabilidad de los factores productivos, tales como: el ambiente donde se encuentra el cultivo, variedades, tipo de suelo, fertilidad, rendimientos históricos, entre otros, se puede hacer un manejo más eficiente con la aplicación de insumos de acuerdo a las necesidades y al potencial de los predios cañeros.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel R., E. M. and F. B. Ahmed. 2008. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) production: a review of the literature. *International Journal of Remote Sensing*, 29(13):3 375-3 767.
- Aguilar A., J. L. y R. Zulueta. 1993. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el estado de Veracruz. GEPLACEA, **In:** Memorias Simposio Nacional de Capacitación y Desarrollo Tecnológico del Campo Cañero Mexicano. Xalapa, México.
- Aguilar-Rivera, N., G. M. Galindo, J. M. Fortanelli y C. S. Contreras 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? *Rev. Globalización competitividad y gobernabilidad*. GCG Georgetown University, Universia. España, 3(1):62-75.
- Ahumada, M. R. 2009. Diagnóstico agroindustrial de la caña de azúcar en México. *Memorias XXXII Convención de la asociación de técnicos azucareros de México*. Córdoba Ver. 27-28 pp.
- Almeida, T. I. R., F. C. De Souza and R. Rossetto. 2006. ASTER and Landsat ETM+ images applied to sugarcane yield forecast. *International Journal of Remote Sensing*, 27(19):4 057-4 069.
- Amaral, S., C. B. Costa and C. D. Renno. 2007. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) improving species distribution models: an example with the neotropical genus *Coccocypselum* (Rubiaceae) (en línea) **In:** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. 2 275-2 282 pp. Disponible en: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.30/doc/2275-2282.pdf> [Consulta 20 oct 2009].
- Apoys y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). 2004. Plan Rector del sistema producto caña de azúcar en San Luís Potosí. **In:** Claridades Agropecuarias: La Caña de Azúcar. México. 60 p.
- Bautista, Z. F., H. Rivas S., C. Durán de Bazúa y G. Palacio. 1998. Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba. *Rev. Investigaciones geográficas*. UNAM. México, 36:21-33.
- Begue, A., P. Todoroff and J. Pater 2008. Multi-time scale analysis of sugarcane within-field variability: improved crop diagnosis using satellite time series?. *Precision Agric.* 9(3):161-171.
- Benefetti, R. and P. Rossini. 1993. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sens. Environ.* 45: 311-326.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA). 2004. Avances del proyecto de zonificación agroecológica en la zona cañera de Guatemala. Memoria de presentación de resultados de investigación. Guatemala. 208 p.

- Lee, L. G. and L. Kirchner. 1990. The application of remotely sensed (Landsat TM) data to monitor the growth and predict yields in sugarcane. *Proc. Austr. Soc. Sug. Cane Technol.*, 65-72 pp.
- Luna G., C., J. H. Cock, A. E. Palma, L. V. Díaz y C. A. Moreno. 1995. Análisis de la productividad en la agroindustria azucarera de Colombia y perspectivas para aumentarla. **In:** CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, 373-394 pp.
- Manual Azucarero Mexicano. 2010. Editado por Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera. 53 ed. México, 470 p.
- Medina G., G., J. A. Ruiz C., R. A. Martínez P. y M. Ortiz V. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agric. Téc. Méx.* 23(1):69-90.
- Narciso, G. and E. Schmidt. 1999. Identification and classification of sugarcane based on satellite remote sensing. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 73:189-194.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1996. Adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países de América Latina y el Caribe. **In:** Taller regional sobre aplicaciones de la metodología de zonificación agro-ecológica y los sistemas de información de recursos de tierras en América Latina y El Caribe. Santiago, Chile. 27-46 pp.
- Pérez, Z. A. 2007. Tenencia de la tierra e industria azucarera. Edit. Porrúa, México, 214 p.
- Pontes, P. P. B., J. V. Rocha e R. A. C. Lamparelli. 2005. Análise temporal de índices de índices de vegetação como subsídio à previsto de safras de cana-de-açúcar. *Anais XII SBSR, Goiania, Brasil.* INPE, 217-224 pp.
- PRONAC- SAGARPA. 2007. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, México.
- Rahman, R. M. 1995. NDVI Derived Sugarcane Area Identification and Crop Condition Assessment. Dept. of Geography and Environmental Studies, University of Rajshahi Bangladesh, 11 p.
- Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR). 2008. Estadísticas de la agroindustria azucarera (en línea). Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/COAAZUCAR.htm>
- Confederación Nacional de Productores Rurales (CNPR). 2009. Estadísticas de la agroindustria (en línea). Confederación nacional de productores cañeros rurales propietarios A.C., Disponible en: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.htm> (Consultado el 20 de marzo de 2009).
- Da Silva, J. R. and C. Alexandre. 2005. Spatial variability of irrigated corn yield in relation to field topography and soil chemical characteristics. *Precision Agriculture*. 6(5):453-466.
- Epiphanyo, J. C. N., J. M. Gleriani, A. R. Formaggio e B. F. T. Rudorff. 1996. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 31(6):445-454.
- Fauconnier, R. y D. Bassereau. 1975. La caña de azúcar. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blume. Barcelona, España. 405 p.
- Galindo, M. G. y L. Olvera. 2005. Inventario agropecuario en la Huasteca Potosina, construcción de cartografía básica y temática para el reordenamiento de las actividades agropecuarias apoyados en PR y SIG. **In:** Memorias del III Congreso Internacional de Ordenación del Territorio. Guadalajara, Jalisco, México.
- García Chávez, L. R. 2008. La agroindustria cañera de México "Libre comercio de edulcorantes" Universidad Autónoma Chapingo 30 p.
- Hernández, C. M. H. 2006. Mapas temáticos de la Huasteca Potosina escala 1:250,000, Proyecto SAGARPA-CONACyT, 2004-CO1-186. México.
- Inman-Bamber, N. G. and D. M. Smith. 2005. Water relations in sugarcane and response to waters deficits. *Fields Crops Research, Australia* 92(2-3):185-202.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007. Censo agropecuario. Monterrey, México.
- Jiménez, C. A., V. T. Vargas, W. E. Salinas, M. Aguirre B. y D. Rodríguez. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (53):58-74.

- Rudorff, B. F. T. 1990. Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. (En línea) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 114 p. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net/irAREcursodo?page=http%3A%2F%2Fbibdigital.sid.inpe.br%2F-frep%2Fsid.inpe.br%2F%2Firis%401912%2F2005%2F07.18.22.34.40&id=7276893>
- Salgado S., D. J. Palma, J. Zavala, L. Lagunes, C. Ortiz, M. Castelán, A. Guerrero, E. Aranda, E. Moreno y J. Rincón. 2010. Lotificación del campo cañero: una metodología para iniciar la agricultura de precisión en ingenios de México. *Interciencia*. Venezuela. 35(3):183-190.
- Salgado S., D. J. Palma, J. Zavala, L. Lagunes, M. Castelán, C. Ortiz, J. Juárez, J. Rincón y E. Hernández. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltilic, Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 26(4):361-373.
- Sánchez, F. M. 2002. Desarrollo de la producción de caña y azúcar en la republica mexicana. Colegio de Posgraduados. Montecillo Texcoco, Edo. de México 143 p.
- Schmidt, E. J., C. Gers, G. Narciso and P. Frost. 2001. Remote Sensing in the South African Sugar Industry, *Proceedings of the XXIV International Society of Sugar Cane Technologists*, 24(2):241-246.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Padrón de productores de caña de azúcar (Zafra 2006-2007). Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación SAGARPA. México.
- Simões dos Santos, M., J. Vieira Rocha and R. A. Camargo Lamparelli. 2005. Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62(3):199-207.
- Simões dos Santos, M., J. Vieira Rocha e R. A. Camargo Lamparelli. 2003. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. **In:** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, 2 367-2 374 pp.
- Singelmann, P. 2003. La transformación política de México y los gremios cañeros del PRI. *Rev. mexicana de sociología*. Instituto de Investigaciones Sociales. México, 65(1):117-152.
- Ueno, M., Y. Kawamitsu, L. Sun, E. Taira and K. Maeda. 2005. Combined applications of NIR, RS, and GIS for sustainable sugarcane production. *Sugar cane international* 23(4):8-11.
- Xavier, A. C., B. F. T. Rudorff, Y. E. Shimabukuro, L. M. Sugawara Berka and M. A. Moreira. 2006. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. *International Journal of Remote Sensing*, 27(4):755-768.
- Xavier, A. C., C. A. Vettorazzi e R. E. Machado. 2004. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat Eng. *Agríc., Jaboticabal*, 24(2):421-430.
- Zhang, P., B. Anderson, B. Tan, D. Huang and R. Myneni. 2005. Potential monitoring of crop production using a satellite-based Climate-Variability Impact Index *Agricultural and Forest Meteorology* 132(4):344-358.

EFFECTO DE *Fusarium* sp. EN LA GERMINACIÓN, FENOLOGÍA Y SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE *Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT

EFFECT OF *Fusarium* sp. IN THE GERMINATION, FENOLOGY AND SURVIVAL OF *Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT SEEDLING

Jorge A. Borges* y July Urdaneta*

*Investigadores. INIA. CIAE Yaracuy. San Felipe, estado Yaracuy.
E-mail: jborges@inia.gob.ve; jurdaneta@inia.gob.ve

RESUMEN

La semilla de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit es infectada por diversos hongos, destacando *Fusarium* sp. En el presente trabajo se evaluó el efecto de este hongo sobre la germinación, fenología y supervivencia en plántulas emergidas de semillas de *L. leucocephala* colonizadas. El material fue colectado y llevado al laboratorio donde se procedió a determinar el organismo, resultando ser *Fusarium* sp. Se distribuyeron muestras de semillas en dos tratamientos: semillas sana (T1) y semilla colonizada (T2), sembrándose en bandejas con sustrato bajo arreglo completamente al azar con cinco repeticiones. Se evaluó diariamente la germinación y semanalmente el número de hojas (NH), número de nudos (NN), ramas primarias (RP), altura de plántulas (AP) y tasa absoluta de crecimiento (TAC). Paralelamente, se evaluó la supervivencia de las plántulas emergidas (SPE). Para la germinación se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con mayor porcentaje de semillas sanas germinadas 80% en relación a las colonizadas por el hongo 46,6%. En cuanto a fenología se encontraron diferencias entre T1 y T2 en NN (3,0 y 2,6), RP (2,7 y 2,4) y AP (11,10 y 10,66 cm), respectivamente. La TAC para RP y NN presentó un crecimiento lento durante el período de evaluación. También se observó mortalidad de plántulas en el T2 asociada con sintomatología característica del patógeno. Se concluye que *Fusarium* sp., tiene un efecto negativo al disminuir en más de un 50% la germinación de semillas de *L. leucocephala* colonizadas y retrasar el crecimiento de las plántulas emergidas.

Palabras Clave: *Fusarium* sp.; germinación; *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; patógeno; variables fenológicas.

SUMMARY

Seeds of *Leucaena leucocephala* (Lam.) of Wit is infested by diverse fungi, among which *Fusarium* sp. In this study it was evaluated the effect of this fungus on germination, fenology and seedling survival emerged from seeds of *L. leucocephala* colonized. The material was collected and taken to the laboratory where proceeded to determine the fungus, proving *Fusarium* sp. Seed samples were distributed in two treatments: healthy seeds (T1) and colonized seeds (T2), planted in germination trays under a completely randomized design with five replications. Germination was evaluated daily and weekly the number of leaves (NL), number of nodes (NN), primary branches (PR), seedling height (SH) and absolute rate of growth (ARG). We also evaluated the survival of seedlings emerged. Highly significant differences were observed for germination between treatments, with greater healthy percentage of seeds germinated (80%) in relation to the colonized by the fungus (46.6%). Phenology differences were found between T1 and T2 in NN (3.0 and 2.6), RP (2.7 and 2.4) and SH (11.10 and 10.66), respectively. The ARG for RP and NN presented a slow growing during the evaluation period. It was also noted seedling mortality in T2 associated with the symptoms of the pathogen. We conclude that *Fusarium* sp. has a negative effect by reducing more than 50% germination of seeds of sL. *leucocephala* colonized and slow growth seedlings emerged.

Key Words: *Fusarium* sp.; germination; *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; pathogen; phenological variables.

RECIBIDO: julio 19, 2009

ACEPTADO: junio 04, 2010

INTRODUCCIÓN

La *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. constituye actualmente una de las leguminosas arbóreas más utilizadas en los sistemas de producción animal. Su propagación se realiza mediante semillas sexuales, las cuales están dotadas de una testa dura e impermeable al agua. A pesar de su alta viabilidad, hasta un 100% de aquellas semillas de *L. leucocephala* no sometidas a tratamiento de escarificación, apenas alcanzan un porcentaje de germinación entre 7 a 12%, incrementándose su dureza con el tiempo de almacenamiento (Arriojas, 1986).

Sin embargo, la semilla botánica es infectada por diversos microorganismos entre los que sobresalen los hongos (Lezcano, 2005). Las infecciones producidas en sus tejidos internos pueden ser generadas por hongos que contagian la testa al encontrar condiciones de alta humedad y puntos de penetración (heridas). En el caso de hongos colonizadores de semillas, se requieren que éstas posean un contenido de agua de 23% y una humedad relativa ambiental entre el 90 y 100% para que los mismos puedan crecer con un amplio rango de temperatura entre 0 y 30 °C, aunque algunos pueden desarrollarse a 35 °C o más (Christensen, 1987).

Así mismo, entre estos hongos se destaca el género *Fusarium*, que además de ser un organismo saprófito, también es considerado patógeno de esta leguminosa forrajera (Arguedas *et al.*, 1999).

Varios autores señalan la presencia de *Fusarium* sp. en semillas de *Leucaena*, formando parte de la micoflora de éstas (Chagas y Oliveira, 1983; Lezcano, 2005), afectando el poder germinativo y desarrollo de las

plántulas (Chaluat y Perris, 1994). También es responsable de causar pudrición en semillas germinadas, plántulas y vainas (Moreno *et al.*, 1988; Alonso *et al.*, 1996; Arguedas *et al.*, 1999; Lezcano, 2005).

Ante lo expuesto, surge la necesidad de evaluar el efecto *Fusarium* sp. sobre la germinación, fenología y supervivencia de las plántulas emergidas (SPE) de *L. leucocephala* colonizadas por el hongo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las vainas de *Leucaena* se recolectaron de un banco de proteína establecido dentro de una finca ubicada en el municipio Manuel Monge, estado Yaracuy, zona caracterizada como bosque seco tropical, según la clasificación de Holdridge (1967).

El banco de *Leucaena* se estableció en febrero del 2007, en un área total de 2 700 m².

Para el 2008 se contó con una precipitación total anual de 1 479,8 mm y promedio mensual de 134,5 mm, humedad relativa de 92,9%, con temperatura anual de 25,3 °C, distribuidas mensualmente como se indican en las Figuras 1 y 2.

La recolección de vainas se realizó en mayo del 2008, aproximadamente para la segunda temporada reproductiva de la plantación, donde se observaron síntomas de presencia fúngica en la mayoría de ellas, procediéndose a realizar un muestreo aleatorio en la totalidad del área sembrada, eligiendo las maduras que aún cerradas, presentaron síntomas o signos de colonización fúngica (presencia de micelio y esporas).

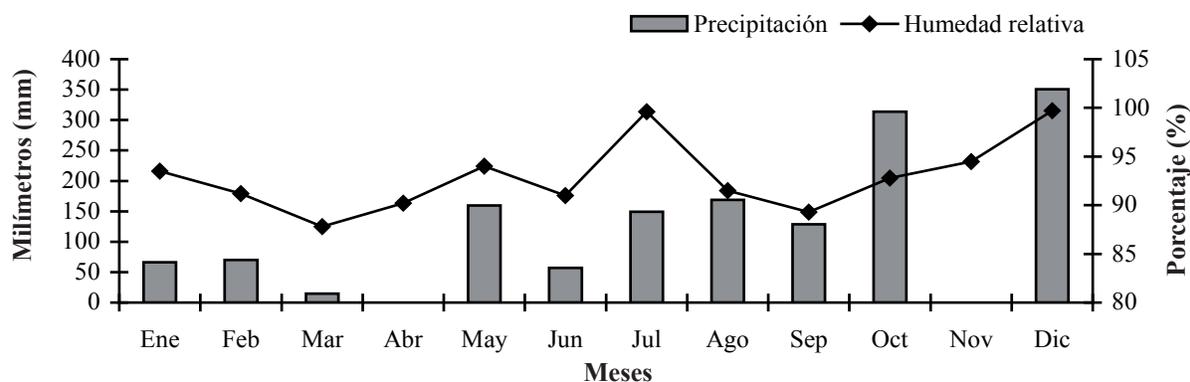


FIGURA 1. Comportamiento de la precipitación y humedad relativa durante el año 2008, para el municipio Manuel Monge, estado Yaracuy.

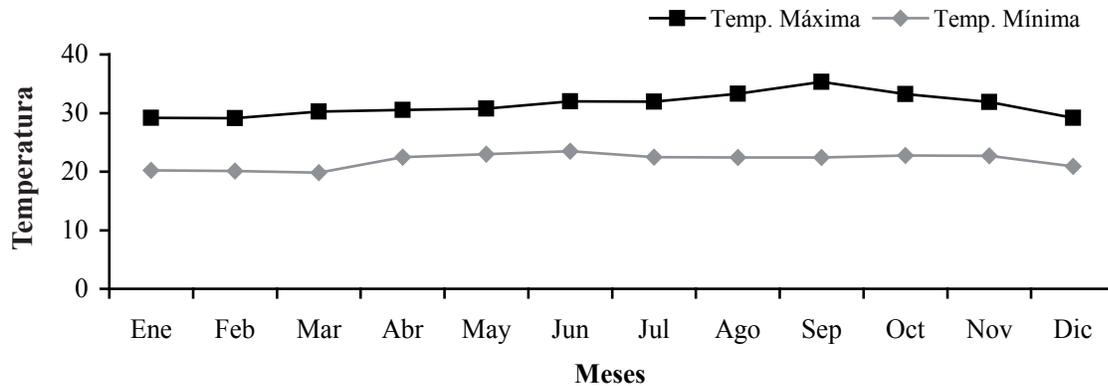


FIGURA 2. Rangos de temperatura observada durante el año 2008 para el municipio Manuel Monge, estado Yaracuy.

El material colectado se llevó al Laboratorio Integral Agropecuario del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, ubicado en el estado Yaracuy (INIA-Yaracuy), colocando muestras de vainas y semillas en cámara húmeda durante 8 d, en condiciones de 12 h luz más 2 h oscuridad, induciendo la producción de estructuras fúngicas que permitieron su posterior determinación.

Transcurrido este tiempo, se observó el crecimiento de micelio algodonoso con variaciones de color entre crema-amarillo-naranja. Se revisó este material bajo el microscopio de luz a 40X de aumento, evidenciando la formación de estructuras miceliales entramadas con presencia de células conidiógenas y clamidosporas, macroconidios sueltos y delgados en forma de agujas, pluriseptados entre cinco y seis. Se empleó la clave descrita por Carrillo (2003) para identificar las estructuras reproductivas, las cuales coincidieron con las características para el género *Fusarium*.

Una vez determinado el patógeno, se extrajeron las semillas de las vainas y se tomaron muestras que se distribuyeron en dos tratamientos, T1: unas aparentemente sanas y T2: otras colonizadas por *Fusarium* sp. Por cada tratamiento se utilizaron cinco repeticiones con 10 semillas en representación del 100% de la muestra.

La escarificación de las semillas se realizó sumergiéndolas en agua a 80 °C durante 3 min y luego se dejaron hidratar en agua a temperatura ambiente durante 90 min; ésto, mejoró la germinación debido a sus características tegumentarias. En este período se procedió a sembrarlas por tratamiento en bandejas de germinación para hortalizas, empleando el sustrato comercial Sogemix VT-M y colocando una por celda.

Al día siguiente, luego de la siembra se comenzó a evaluar la germinación de ambos tratamientos con frecuencia diaria, para determinar la tasa de emergencia de las plántulas (TG), empleando la siguiente ecuación: $TG = (N1 \cdot T1 + N2 \cdot T2 + \dots + Nn \cdot Tn) / \text{número de semillas germinadas}$, donde N: número de semillas germinadas no acumuladas y T: tiempo en días).

Posterior a la germinación y durante seis semanas consecutivas se evaluaron: número de hojas (NH), número de nudos (NN), ramas primarias (RP) y altura de las plántulas (AP); así como, la SPE a lo largo del estudio.

Así mismo, se evaluó la tasa absoluta de crecimiento para las variables en ambos tratamientos, utilizando la fórmula descrita por Sánchez *et al.* (2003):

$$\text{Unidad de variable (t2)} - \text{unidad de variable (t1)} \\ \text{TAC} = t2 - t1$$

Donde:

TAC: tasa absoluta de crecimiento

Unidad de variable: altura de plántulas, número de hojas, ramas primarias y número de nudos.

t2: fecha del último muestreo (días)

t1: fecha del primer muestreo (días)

El diseño experimental fue hecho completamente al azar con cinco repeticiones. Para el procesamiento de los datos se empleó un análisis de varianza, aplicando la prueba de Tukey para la separación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La germinación fue del tipo epigea, se inició a los 4 días después de la siembra (DDS), estabilizándose a los 15 DDS, presentando diferencias altamente significativas ($P<0,001$) entre los tratamientos y mayor porcentaje de semillas sanas germinadas con relación a las colonizadas por el hongo (Cuadro 1), coincidiendo este resultado con Moreno *et al.* (1988).

CUADRO 1. Efecto de *Fusarium* sp. sobre la germinación de semillas de *L. leucocephala*.

Tratamiento	Germinación (%) [*]	Tasa de germinación (días)
Semilla sana	80,0 a	10,00 a
Semilla colonizada	46,6 b	2,00 b

*Valores en una misma columna con letras distintas, poseen diferencias altamente significativas ($P<0,001$).

No obstante, este comportamiento difiere a lo indicado por Alonso *et al.* (1996), evidenciando que no hubo efecto alguno de *Fusarium* sp. sobre la germinación y viabilidad de las semillas contaminadas; apreciándose que T2 se acerca a la reportada por Razz y Clavero (1996), quienes reportaron un 49,71% de germinación en semillas sanas con un tratamiento pregerminativo similar al empleado en este trabajo, permitiendo inferir que un bajo nivel de infección del hongo sobre el embrión pudiera estar relacionado con la dura e impermeable testa que lo protege.

En las semillas no germinadas correspondientes al T2 se evidenció pudrición y la aparición de micelio blanco-crema, posteriormente en aislamiento se determinó la presencia de *Fusarium* sp. en concordancia con lo señalado por Lezcano (2005) para semillas de esta especie forrajera.

En cuanto a las variables fenológicas se observaron diferencias entre los tratamientos para las variables en estudio, excepto para NH (Cuadro 2). Valores de NH y AP aquí encontrados coinciden con los indicados por Sánchez y Ramírez (2006), quienes aplicando un tratamiento pregerminativo similar, obtuvieron valores de 11,16 cm para AP y 4,17 para NH.

CUADRO 2. Promedios generales, frecuencias y tasa absoluta de crecimiento en plántulas de *L. leucocephala* provenientes de semillas sanas y colonizadas por *Fusarium* sp.

Tratamiento	Número de hojas	Número de nudos ^{**}	Ramas primarias ^{**}	Altura (cm) ^{***}
Semilla sana	4,7	3,0 ^a	2,7 ^a	11,10 ^a
Semilla colonizada	4,2	2,6 ^b	2,4 ^b	10,66 ^b

Edad de las plántulas (días)	Número de nudos ^{**}		Ramas primarias ^{**}		Altura (cm) ^{***}	
	S. Sana	S. Col.	S. Sana	S. Col.	S. Sana	S. Col.
15	1,8 ^d	1,2 ^d	1,0 ^c	1,0 ^c	9,90 ^c	9,64 ^b
22	2,2 ^c	2,0 ^c	1,0 ^c	1,0 ^c	10,56 ^{bc}	9,94 ^b
29	3,0 ^b	2,4 ^c	3,0 ^b	2,4 ^d	10,82 ^b	10,28 ^b
36	3,0 ^b	2,8 ^c	3,0 ^b	2,8 ^c	11,12 ^b	10,60 ^b
43	4,0 ^a	3,4 ^b	4,0 ^a	3,4 ^b	11,98 ^a	11,58 ^a
50	4,2 ^a	4,0 ^a	4,2 ^a	4,0 ^a	12,24 ^a	11,92 ^a
TAC	0,07 (nudo/día)	0,08 (nudo/día)	0,09 (rama/día)	0,08 (rama/día)	0,55 (mm/día)	0,54 (mm/día)

**Valores en una misma columna con letras distintas, difieren estadísticamente ($P<0,05$)

***Valores en una misma columna con letras distintas, difieren estadísticamente ($P<0,01$)

TAC: Tasa absoluta de crecimiento

En contraposición, Guevara y Guenni (2004) señalaron alturas promedios para plántulas de *L. leucocephala* entre 5,42 y 5,82 cm a los 15 DDS, valores bajos en comparación con los encontrados en este trabajo a la misma edad, aún en plántulas provenientes de semillas afectadas por *Fusarium* sp.

Esto coincide con los últimos autores quienes señalan que a más altura de plántulas, no indica un mayor número de estructuras vegetativas presentes; observándose que la tasa absoluta de crecimiento para RP y NN, muestran un desarrollo lento durante la etapa de establecimiento en ambos tratamientos, con promedios de 0,075 nudo/día para NN y 0,085 rama/día para RP; este último es igual o superior a los indicados por Sánchez *et al.* (2003) en la fase de establecimiento, confiriéndole una baja capacidad de competencia por la disponibilidad de nutrientes con respecto a otras plantas más agresivas.

La supervivencia de las plántulas nacidas de semillas colonizadas, se ve comprometida al presentar mortalidad, ocurridas entre los 36 y 43 DDS, relacionada directamente con el patógeno, mediante comprobación por reaislamiento del mismo, en cuya sintomatología se aprecian lesiones blancas en los cotiledones y hojas verdaderas, así como pudrición en la base del tallo.

Esta sintomatología coincide con lo señalado por Arguedas *et al.* (1999), quienes concluyeron que sembrar semillas contaminadas con *Fusarium* sp., que favorece la aparición del “mal del talluelo postemergente” mejor conocido como “Damping off”, así como, la contaminación del sustrato y la diseminación de enfermedades en el campo, considerando principalmente que éste es un hongo saprófito del suelo.

CONCLUSIÓN

- Se concluye que *Fusarium* sp., como organismo saprófito facultativo colonizando semillas de *L. leucocephala*, tiene un efecto negativo al disminuir en más de un 50% la germinación y retardar el crecimiento de las plántulas emergidas, comprometiéndole su estabilidad durante las primeras etapas de evolución, así como su posterior desarrollo y supervivencia en condiciones de campo.
- Se comprobó su patogenicidad en las plántulas al presentarse pudrición y muerte de las mismas, asociadas directamente a la aparición de este hongo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, O., A. Delgado y S. Sánchez. 1996. Hongos asociados a las semillas de una leguminosa tropical (*Leucaena leucocephala* cv. Perú). *Pastos y Forrajes* 19(2):161-168.
- Arguedas M., M. Jiménez y C. Millar. 1999. Microorganismos asociados a semillas de especies forestales en Costa Rica. **In:** Salazar R. (Ed.). Segundo Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Sto. Domingo, República Dominicana. 18 al 22 Octubre, 1999. CATIE.
- Arriojas, L. I. 1986. *Leucaena leucocephala* como planta forrajera. **In:** Rodríguez I. 2002. *Leucaena leucocephala*, uso y bondades. Talleres de Universo Gráfico C. P. Valera – Venezuela. 61 p.
- Carrillo, L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Ediciones Universidad Nacional de Salta, Argentina. ISBN 987-9381-19-X. 128 p.
- Chagas, D. y D. P. Oliveira. 1983. Fungos asociados a sementes de gramíneas e leguminosas forrageiras. *Fitopatología Brasileira* 8(1):131-135.
- Chaluat, M. M. y S. Perris. 1994. Hongos patógenos en semillas de especies forrajeras tropicales. *Pasturas Tropicales*. 16(1):41-43.
- Christensen, C. M. 1987. Field and storage fungi. **In:** Carrillo L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Ediciones Universidad Nacional de Salta, Argentina. ISBN 987-9381-19-X. 128 p.
- Guevara, E. y O. Guenni. 2004. Acumulación de biomasa y patrón de crecimiento en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., durante la fase de establecimiento. II. Estructura y patrón de crecimiento aéreo. *Zootecnia Trop.* 22(3):231-240.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- Lezcano, J. C. 2005. Micoflora asociada a semillas almacenadas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Revista de Protección Vegetal* 20(2):140. (Resumen)
- Moreno, J., C. G. Torres y J. M. Lenné. 1988. Reconocimiento y evaluación de enfermedades de *Leucaena* en el Valle del Cauca, Colombia. *Pasturas Tropicales* 9(3):30-35.

- Razz, R. y T. Clavero. 1996. Métodos de escarificación de semillas de *Humboldtiella ferruginea* y *Leucaena leucocephala*. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 13(1):73-77.
- Sánchez, A., O. Miquilena y R. Flores. 2003. Comportamiento de *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento regada por goteo artesanal en ambiente semiárido. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 20(3):352-363.
- Sánchez-Paz, Y. y M. Ramírez-Villalobos. 2006. Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 23(3):257-272.

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.gov.ve; ecabrera@inia.gov.ve; mparedes@inia.gov.ve.

RESUMEN

En Venezuela se requiere información sobre la acumulación de nutrientes 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 nutrientes 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 nutrientes evaluados fue similar en LM y LC, excepto S que resultó más elevado en LC. El patrón de acumulación de nutrientes 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 nutrientes en LC, está asociado con una menor densidad aparente (D_a) entre 0 y 10 cm, mejorando el desarrollo radical. En LM la función cuadrática describe mejor la relación entre MS producida y nutriente absorbido, al contrario mientras que en LC donde la función lineal está más destacada. En LM otro factor pudo afectar la absorción de nutrientes, que en el caso de LC la producción de MS se podría incrementar mediante el manejo de la fertilización.

Palabras Clave: absorción; frijol; labranza; nutrientes; *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.

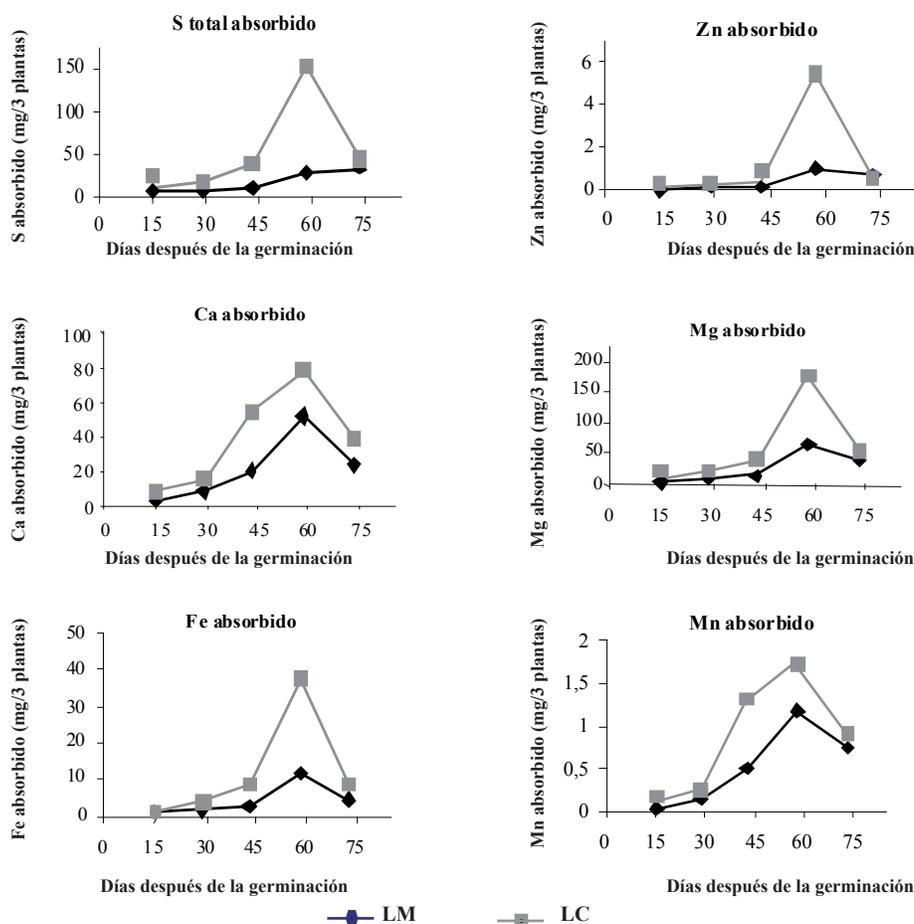


FIGURA 1. Acumulación total de S, Zn, Ca, Mg, Fe, y Mn durante el ciclo del cultivo del frijol Tuy cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

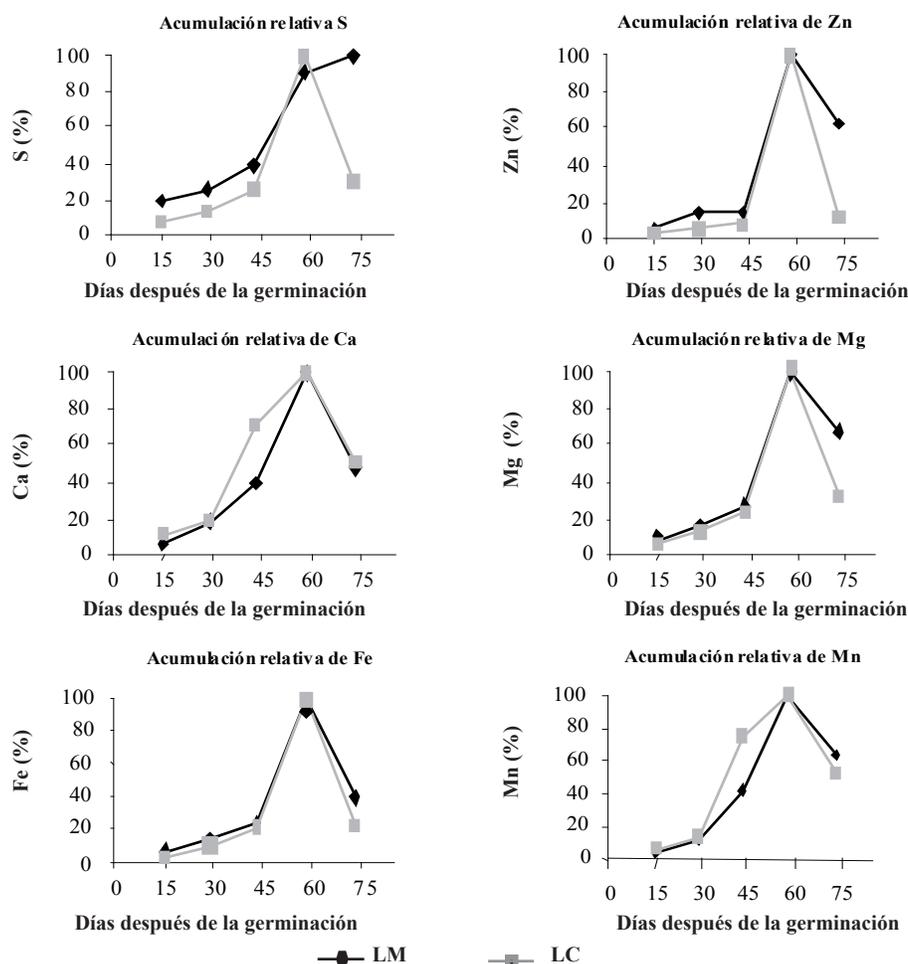


FIGURA 2. Acumulación relativa de S, Zn, Ca, Mg, Fe, y Zn durante el ciclo del cultivo del frijol, cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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.

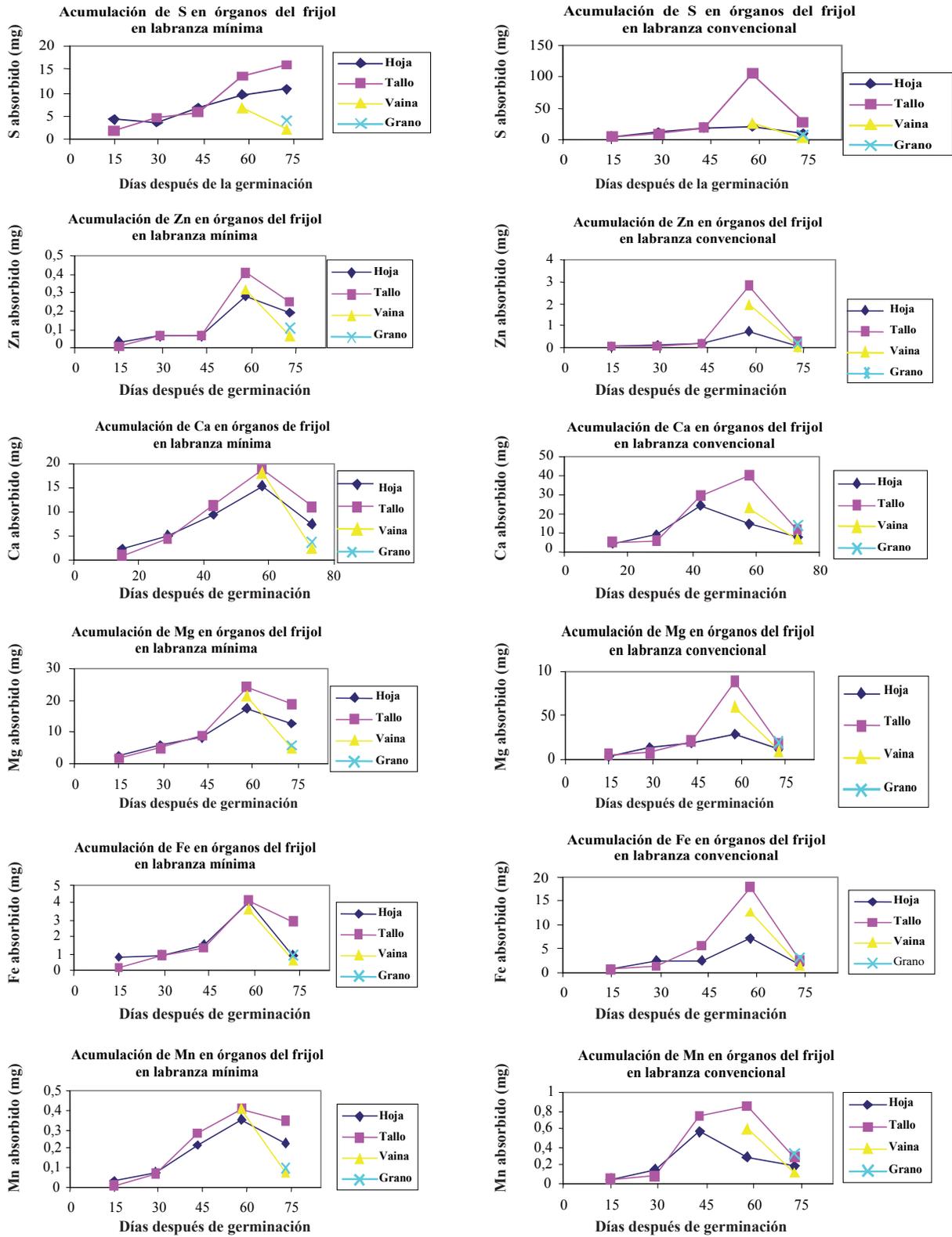


FIGURA 3. Acumulación de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn en diferentes órganos del frijol en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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}).

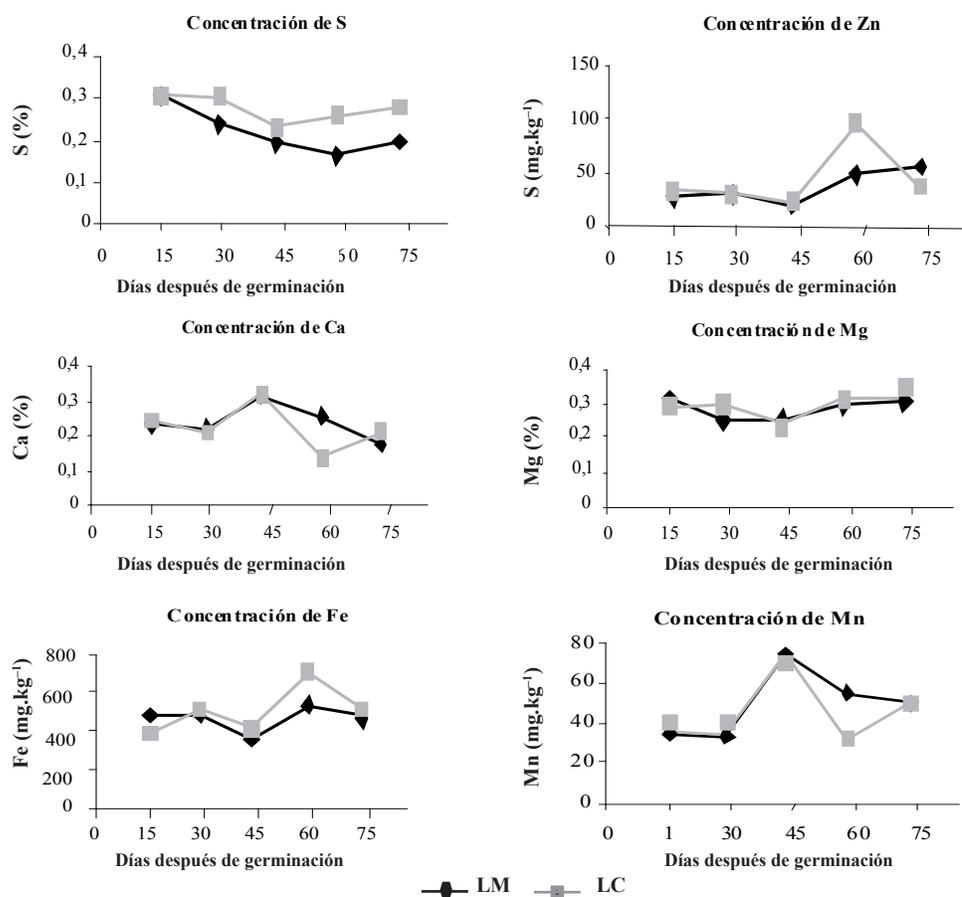


FIGURA 4. Concentración promedio de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Zn del frijol sembrado en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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).

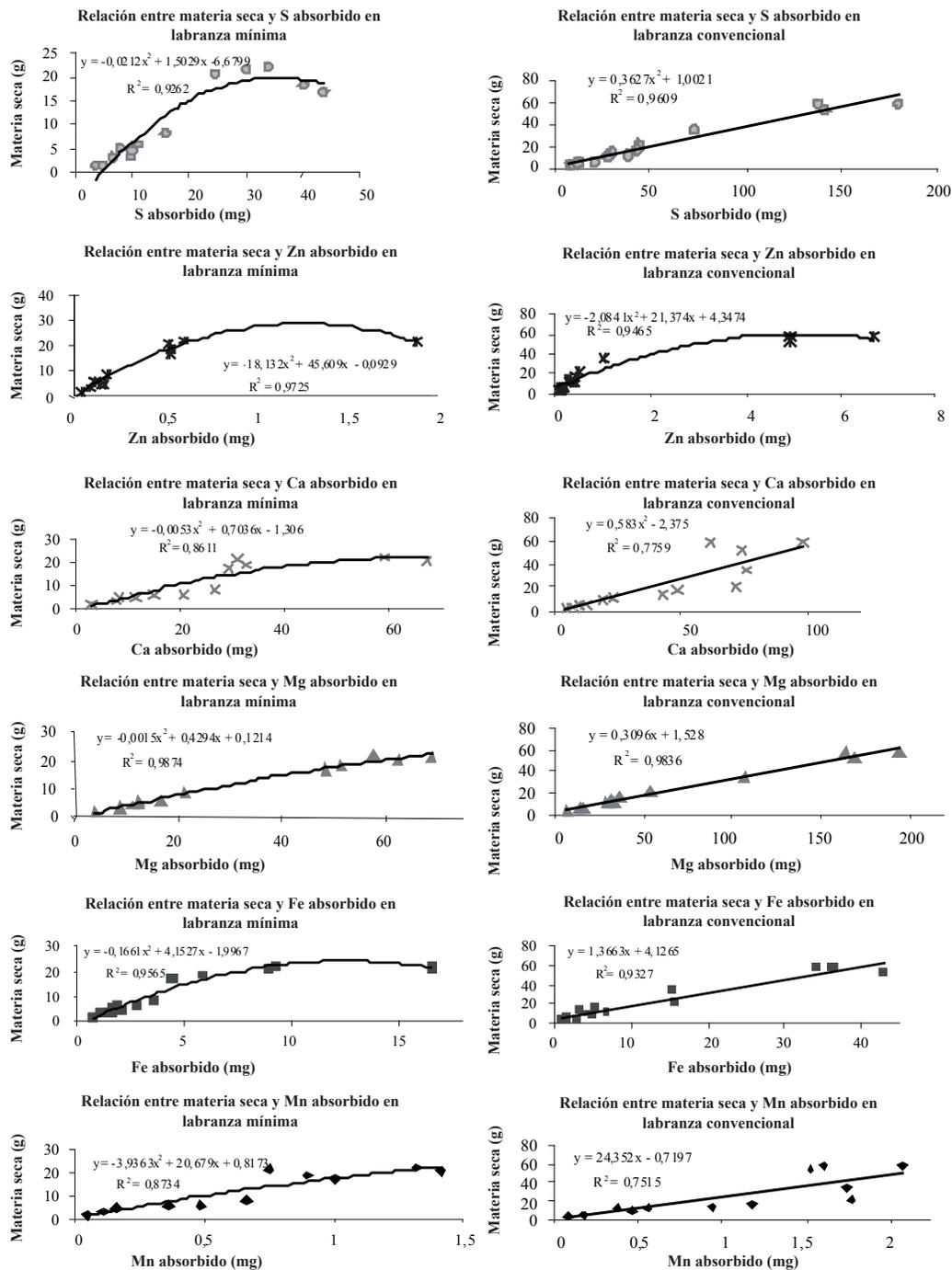


FIGURA 5. Relación entre la producción de materia seca y la cantidad de S, Zn, Ca, Mg, Fe y Mn absorbido por frijol cultivado en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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.

FENOLOGÍA DE CULTIVARES LOCALES DE FRIJOL Y ARVEJA DEL MUNICIPIO RAFAEL URDANETA, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA, BASADA EN GRADOS DÍA

PHENOLOGY OF LOCAL CULTIVARS OF PEAS AND COMMON BEAN IN THE RAFAEL URDANETA MUNICIPALITY, TÁCHIRA STATE, VENEZUELA BASE ON DEGREE DAYS

Belitza Bracho*, Olga Arnaude* y Beatriz Lozada**

*Profesores. Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). San Cristóbal, estado Táchira. Venezuela.

E-mail: bbracho@unet.edu.ve; arnaude@cantv.net

**Investigador. INIA. CIAE Táchira. Bramón. Venezuela. E-mail: blozada@inia.gob.ve

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue recolectar cultivares locales de leguminosas de grano comestible de frijol, *Phaseolus vulgaris* L. y arveja *Pisum sativum* L., para su caracterización morfológica y determinar su ciclo fenológico en función de los grados días (°C.d) acumulados. Los cultivares fueron acopiados en las aldeas Alto Viento, Aguaditas y Betania del municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira, Venezuela, visitando 47 unidades de producción. El ensayo se realizó en el invernadero de producción comercial, ubicado en Palo Gordo, municipio Cárdenas, estado Táchira a 1 100 m.s.n.m. Se utilizaron 40 repeticiones por cultivar sembradas en bolsas de 5 kg de capacidad. Se evaluaron 19 caracteres entre hoja, flor, fruto y producción, sumados a la acumulación de grados días para cada fase fenológica. Se emplearon las planillas de registro recomendadas por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) junto a los descriptores para la especie en estudio. Para la identificación morfológica se demostró la presencia de una gran variabilidad genética dentro de cada característica, existiendo en todas las variables fenométricas diferencias significativas y en las cualitativas diversidad de formas, colores y tamaños. El ciclo fenológico para los cultivares de frijol comprende entre 796-887,9 °C y para arveja entre 843,5 y 950,7 °C.d, variando los requerimientos de unidades térmicas según el cultivar y fase fenológica.

Palabras Clave: ciclo fenológico; *Phaseolus vulgaris* L.; *Pisum sativum* L.; unidades térmicas.

SUMMARY

The objective of the present study was to collect local cultivars of peas and common bean for morphological characterization and determination of their phenological cycle based on degree days (d.°C). The cultivars of edible the leguminous crops *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) and *Pisum sativum* L. (peas) were collected in 47 farms at Alto Viento, Aguaditas y Betania villages (Rafael Urdaneta Municipality, Táchira State, Venezuela). A greenhouse trial was established in Palo Gordo, Cárdenas municipality, Táchira, at 1 100 m.a.s.l. Legumes were individually planted in 5 kg plastic bags with 40 replications per cultivar. Nineteen characters including leaf, flower, fruit and production parameters were recorded according to IPGRI's recommendations. There was ample morphological variation for each character with substantial differences among cultivars in their phenometric and qualitative variables. The phenological cycle for common bean and peas required 796 to 888 °C and 845 to 951 d.°C, respectively, varying the requirements of thermal units according to cultivars and phenological phases.

Key Words: *Phaseolus vulgaris* L.; phenological cycle; *Pisum sativum* L.; thermal units.

RECIBIDO: marzo 19, 2009

ACEPTADO: noviembre 19, 2010

INTRODUCCIÓN

La gran diversidad agroclimática, las distintas influencias culturales y el cultivo en pequeños huertos familiares generó una enorme variabilidad genética. Sin embargo, esta importante diversidad biológica y cultural está seriamente amenazada a causa de la introducción generalizada de variedades mejoradas, sistemas agrícolas foráneos y homogeneización de los agroecosistemas a través del monocultivo (FAO, 1996).

Algunas estimaciones afirman que desde principios de siglo se perdió hasta un 75% de la diversidad genética entre los cultivos agrícolas. En cereales, leguminosas de grano y otros cultivos extensivos, prácticamente el 100% de las variedades cultivadas son mejoradas, entre las que predominan las suministradas por empresas extranjeras y por lo general, no figuran cultivares autóctonos en su genealogía. Esto obliga al uso de las variedades menos adaptadas entre las disponibles para la agricultura, obtenidas en condiciones agroecológicas muy diferentes.

Por todo ello, rescatar las variedades locales que aún perviven, conservadas sobre todo en zonas rurales, requieren esfuerzos importantes y urgentes. Esto unido a la gran riqueza y profundidad del conocimiento agrícola tradicional del estado Táchira en Venezuela, alerta sobre la necesidad de realizar trabajos para la recuperación y conservación del material vegetal de variedades locales de las principales leguminosas de granos que se producen en el estado.

Por esto, se planteó realizar un diagnóstico y recolección de cultivares locales de arveja y frijoles del municipio Rafael Urdaneta para su caracterización morfológica y fenológica en función de la acumulación de grados días, considerada una de las formas más correctas para medir cuánto demora una determinada especie en alcanzar una etapa fenológica (inicio de la floración, madurez fisiológica, días para la antesis, entre otros), con la finalidad de iniciar un proceso de rescate, conservación y multiplicación de estos cultivares, permitiendo diseñar planes de manejo agronómico confiables y estimar ciclos de producción, según la zonificación de siembra que impulsen la producción del vital insumo agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las expediciones de colecta fueron realizadas durante los meses de mayo a diciembre del 2008, enfocándose sólo en cultivares locales normalmente encontrados en

comunidades de pequeños agricultores, ubicados en zonas alejadas a los centros poblados, siendo estas: las Aldeas Alto Viento, Aguaditas, Betania y Villa Páez, municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira.

El método para la selección de los cultivares se orientó específicamente en tres aspectos:

- a) La multiplicación de la semilla es realizada por el productor,
- b) Que su multiplicación se realice al menos durante cinco años,
- c) Sea un cultivo de importancia en la zona, para su producción comercial o autoconsumo.

De 47 unidades de producción visitadas, sólo tres para cultivar arveja y cuatro para frijol cumplieron los requisitos para considerarlas locales. Todos los cultivares se recolectaron en grano seco, manteniéndolo artesanalmente conservado y almacenado. Para el registro de los antecedentes de cada sitio muestreado se utilizó una ficha para elaborar los datos de pasaporte de cada accesión (IPGRI, 2008).

Concluidas las actividades de colecta se organizó, evaluó y preparó el material recogido. Una vez obtenidas las muestras se aplicaron pruebas de germinación, pureza y porcentaje de humedad. El ensayo se estableció en el vivero Altos de Paramillo, municipio Cárdenas, estado Táchira a 1 100 m.s.n.m. con 40 repeticiones por cultivar, siguiendo la metodología propuesta por Yzarra (1998) y Fernández *et al.* (1985) para el registro de información fenológica de cultivos anuales.

Se aplicó el manejo agronómico necesario según la especie y cultivo. Se adaptó la metodología recomendada por Solórzano (2007), Yzarra (1998) y Fernández *et al.* (1985) para el registro de las fases fenológicas. Los caracteres morfológicos fueron evaluados con los descriptores para frijol publicados por el IPGRI, adaptándolos en el caso de la arveja.

Para determinar las unidades de calor (UC) o grados días, se utilizó el método residual (Snyder, 1985) con la ecuación,

$$GDA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})}{2} \right) - T_b$$

Donde:

T_{máx} = Temperatura máxima diaria (°C)

T_{mín} = Temperatura mínima diaria (°C)

T_b = Temperatura base o umbral (10 °C para frijol y arveja). Los datos de temperatura fueron registrados diariamente por un Data Logger USB marca Lascar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso arveja

El cultivar uno (C1) conocido vulgarmente como arveja pequinegra (Cuadro 1) es un cultivo resguardado durante siete años para la producción comercial, mientras que en el dos (C2) arveja amarilla, representa ocho años de producción para el autoconsumo, en el tres (C3) arveja verde, mantiene cinco años de multiplicación artesanal para su producción comercial y autoconsumo (Figura 1).

CUADRO 1. Variedades de arveja recolectadas en el municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira.

Cultivar	Género	Nombre común	% G	% P	Aldea
C1	<i>Pisum</i>	Arveja pequinegra	60	80	Aguaditas
C2	<i>Pisum</i>	Arveja amarilla	90	75	Betania
C3	<i>Pisum</i>	Arveja verde	90	70	Betania



FIGURA 1. Cultivares recolectados de arveja.

En Venezuela se desconoce cuál es la temperatura base, no obstante, diversos autores la reportan entre 4 a 10 °C dependiendo de los cultivares y etapa fenológica de los mismos; de éstas, la más usada en el cálculo de las unidades para el calor fue 10 °C empleada en el presente estudio.

Los resultados obtenidos para los cultivares de arveja, representan información de gran importancia si se emplea como indicador para labores de manejo agronómico y planificación agrícola, los cultivares C2 y C3 mantuvieron un comportamiento muy parejo en todas las etapas de desarrollo, así como en su morfología hasta la fase V2.8, los requerimientos de calor fueron similares; como fue el caso en la planificación de labores agrícolas, hasta esa fase se pudo aplicar los mismos controles o prácticas para ambos cultivares (Cuadro 2).

Sin embargo, una vez cumplida la fase vegetativa se deben considerar momentos diferentes para las labores restantes, por cuanto los resultados para la fase R9 (aparición de botones florales) mostró una diferencia de 45,3 °C, siendo para C2 443,4 °C.d y para C3 488,7 °C.d, manteniendo una diferencia importante durante las fases consecutivas, considerada para que los tiempos de aplicación de labores, siembra y cosecha puedan variar en función de los requerimientos particulares para cada cultivar. Para el caso del C1, las necesidades de acumulación de calor para cada fase marcaron diferencias relevantes al compararlas con los cultivares C2 y C3, mostrando que entre los tres cultivares de arveja es el que más necesita de unidades térmicas para cumplir su ciclo.

CUADRO 2. Acumulación de grados días (°C.d) para las fases fenológicas de arveja, adaptado por Solórzano (2007) e Yzarra (1998).

Etapa	Fase	C1 °C.d	C2 °C.d	C3 °C.d
Emergencia	V0	80,5	70,4	80,5
1 hoja verdadera compuesta	V1	149,3	91,3	91,3
2 hoja compuesta	V2.2	186,6	114	114
3 hoja compuesta	V2.3	222,1	137,1	149,3
4 hoja compuesta	V2.4	272,6	174,8	174,8
5 hoja compuesta	V2.5	301,2	232,4	232,4
6 hoja compuesta	V2.6	331,7	263,9	252,4
7 hoja compuesta	V2.7	370,5	281,3	272,6
8 hoja compuesta	V2.8	391,9	301,2	301,2
Primeros botones florales	R9	580	443,4	488,7
Aparición de flores	R10	601,2	488,7	508,4
Plena floración	R11	611,8	508,4	529,8

Caso frijol

El C1 es una especie resguardada por el grupo familiar durante ocho años de generación en generación de producción, mientras que el C2 se mantuvo por 12 años, ambos para autoconsumo (Figura 2). Además, el C3 producido en seis años y el C4 ocho años, estos cultivares son empleados para la producción comercial y el último de multiplicación artesanal (Cuadro 3).



FIGURA 2. Variedades recolectadas de frijol.

CUADRO 3. Cultivares recolectadas en el municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira.

Cultivar	Género	Nombre común	% G	% P	Aldea
C1	<i>Phaseolus</i>	Frijol largo	80	75	Aguaditas
C2	<i>Phaseolus</i>	Frijol rayado	90	80	Alto viento
C3	<i>Phaseolus</i>	Frijol pintón	90	72	Alto viento
C4	<i>Phaseolus</i>	Caraotica	90	70	Alto viento

Donde:

%G = Porcentaje de germinación

%P = Porcentaje de pureza

La acumulación de grados días para los cultivares de frijol (C1, C2, C3 y C4) fueron similares durante la fase vegetativa de las plantas, donde C1 y C4 necesitaron 331,4 °C.d en la fase V4.5, mientras que C2 y C3 presentaron requerimientos mayores. Los resultados obtenidos no concuerdan con lo reportado por Ventura (1991), quien indicó para dos variedades de frijol los requerimientos UC hasta la fase vegetativa de los cultivares

roja de seda y APN 83 fueron de 64,41 y 57,78 °C.d, respectivamente. Sin embargo, se debe señalar que la Tb empleada por dicho autor fue de 18 °C, lo que explica la diferencia entre los resultados.

Al iniciarse la etapa de floración y producción en los cultivares evaluados se notan las diferencias en las necesidades de calor según la variedad, se observó que la etapa donde los cultivos estudiados acumularon mayor UC fue la R8 al duplicar el acumulado hasta la R7, representando esta fase el período donde el fruto extrae la mayor cantidad de energía para su producción. El comportamiento de los cultivares para la última fase presentó diferencias entre los mismos, siendo C3 el que necesitó mayor cantidad de UC con 887,9 °C.d (Cuadro 4).

Las diferencias encontradas entre los cultivares indicaron que al momento de diseñar planes de manejo o establecer la zonificación de estos cultivos, se debió considerar el valor de las UC, por cuanto se pudo incrementar o reducir la duración del ciclo en términos de días, en función de la localidad, producto de la alta variación del relieve del estado Táchira.

CUADRO 4. Acumulación de grados días (°C.d) para las fases fenológicas de frijol.

Etapa	Fase	C1 °C.d	C2 °C.d	C3 °C.d	C4 °C.d
Germinación	V0	61,6	52,7	52,7	54,4
Emergencia	V1	70,4	70,4	70,4	91,9
Hojas primarias					
unifoliadas	V2	91,3	80,5	80,5	128,9
1 ^{era} hoja trifoliada	V3	162,3	162,3	162,3	171,5
3 ^{era} hoja trifoliada	V4	263,9	281,3	281,3	279,3
4 ^{ta} hoja trifoliada	V4.4	301,2	349,6	331,7	310,8
5 ^{ta} hoja trifoliada	V4.5	331,4	359	370,5	331,4
Prefloración	R5	340,7	391,9	381,1	418,3
Floración	R6	412,3	423,1	412,3	483,5
Formación de vainas	R7	423,1	454,1	434,1	520,4
Llenado de vainas	R8	785,3	831,3	808,6	749,3
Maduración	R9	843,5	877,7	887,9	796

CONCLUSIONES

- El municipio Rafael Urdaneta presentó con una importante diversidad de especies de leguminosas de grano comestible.
- Los cultivares de frijol requieren entre 796 y 887,9 °C.d, desde la siembra hasta la maduración.
- Los ciclos fenológicos para los cultivares de arveja comprenden entre 843,5 a 950,7 °C.d, variando los requerimientos de unidades térmicas según el cultivar y fase fenológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Censo Agrícola. 1997. Sistema de Información Regional Agrícola Táchira. (En línea). Información censo agrícola 97. Disponible en: www.siratachira.gov.ve/html/modulos.html. [Consulta 14 agosto 2009].
- Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de desarrollo en la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **In:** M. López, F. Fernández y A. Van Schoonhoven (eds.). Frijol: investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia. 61-78 pp.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 2008. Descriptores (En línea). Disponible en: www.bioversityinternational.org. Italia. [Consulta 13 Ago 2008].
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1996. Estado de la diversidad. **In:** Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo (en línea). FAO, Roma. 2-85 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/FOCUS/S/96/06/more/report-s.htm> [Consultado: ene 2007].
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35(1-4):353-358.
- Solórzano, E. 2007. Guía fenológica para cultivos básicos. Trillas Ed. México, 81-85 pp.
- Ventura, R. 1991. Fenología y fenometría de una variedad y una línea de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la zona occidental de El Salvador. *Rev. Agronomía Mesoamericana.* 2:56-60.
- Yzarra, T. 1998. Manual de observaciones fenológicas. SENAMHI. Perú. 56-89 pp.

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.

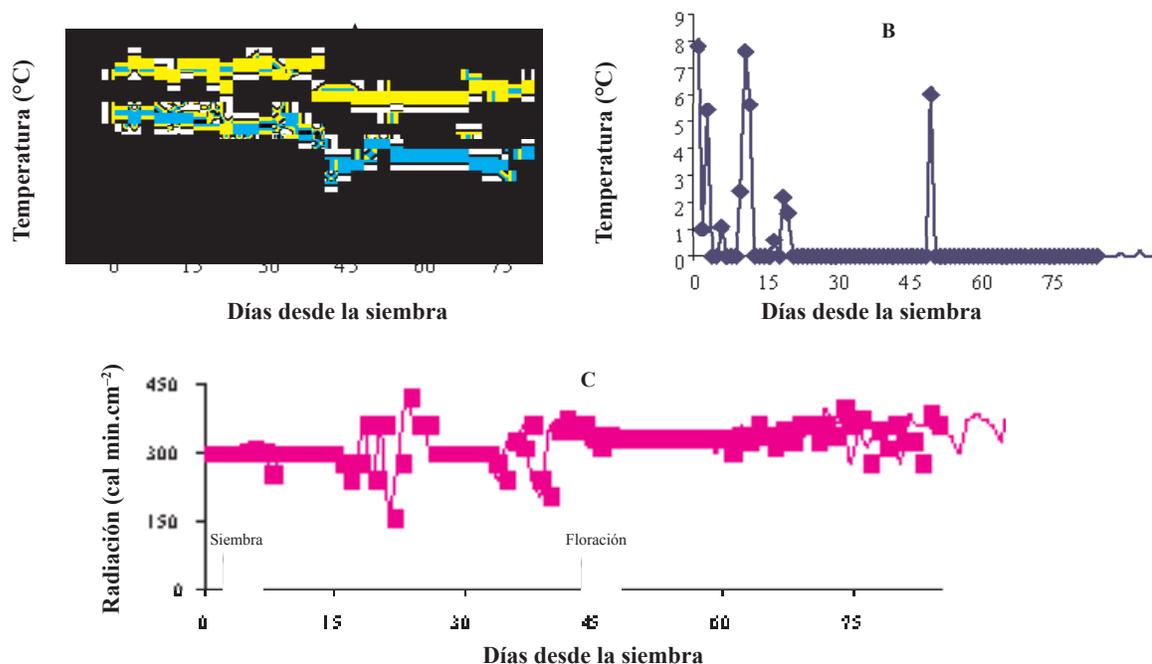


FIGURA 1. Temperatura máxima y mínima del aire (A), precipitación (B) y radiación solar (C), durante el ciclo del cultivo.

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.

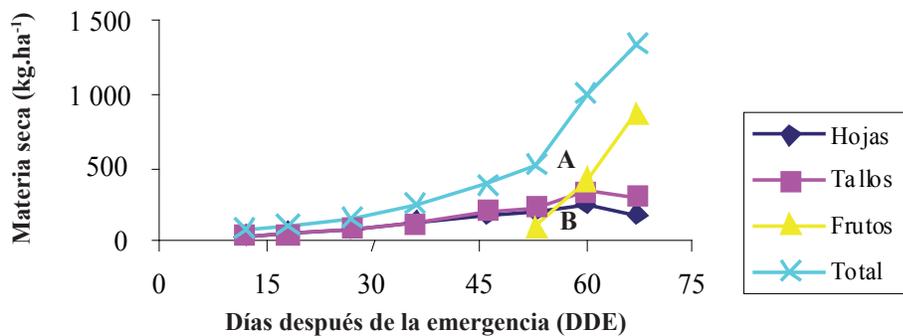


FIGURA 2. Acumulación promedio de materia seca en hojas, tallos, frutos y total durante el ciclo del cultivo del frijol.

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 periodo 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.

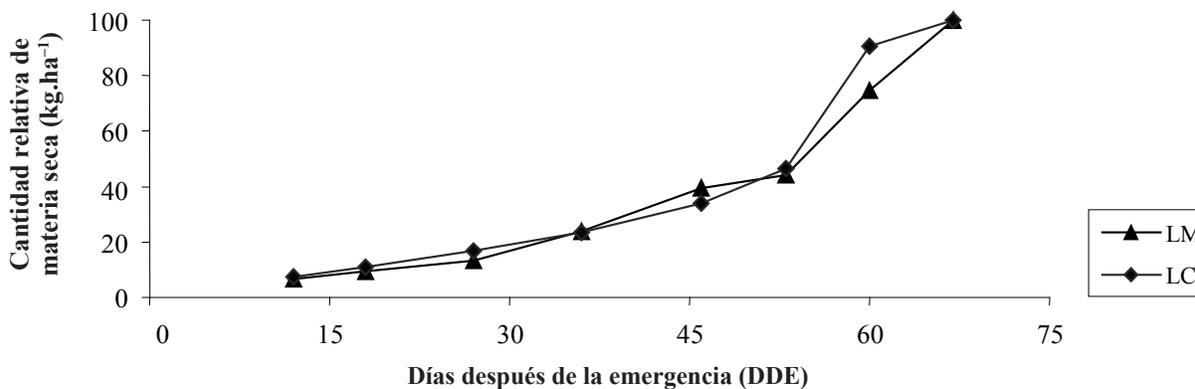


FIGURA 3. Distribución relativa de materia seca total durante el ciclo del cultivo en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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.

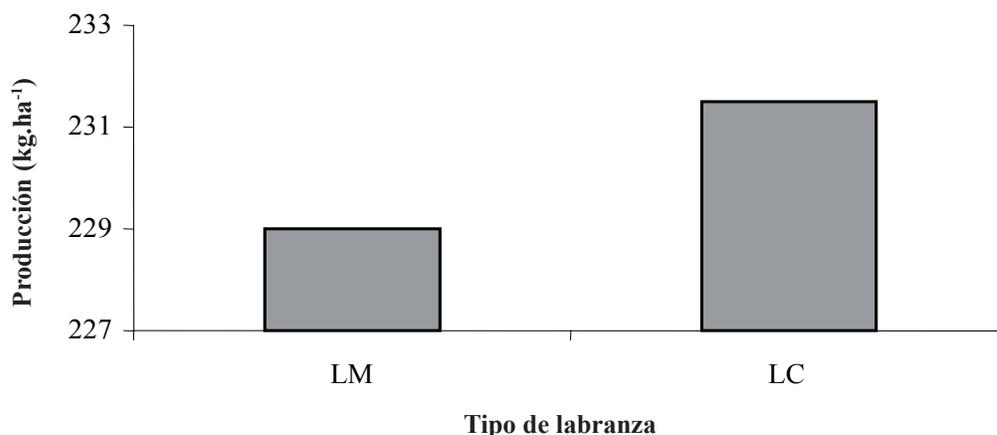


FIGURA 4. Producción de grano en frijol cultivado bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

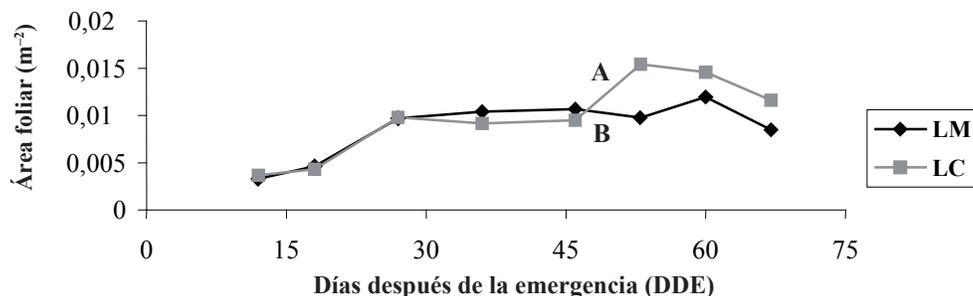


FIGURA 5. Dinámica del área foliar en labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC).

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.

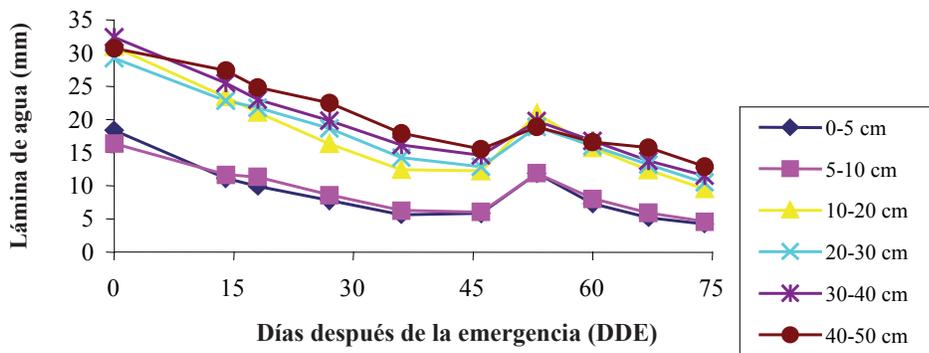


FIGURA 6. Lámina de agua total en horizontes en el perfil del suelo para labranza mínima.

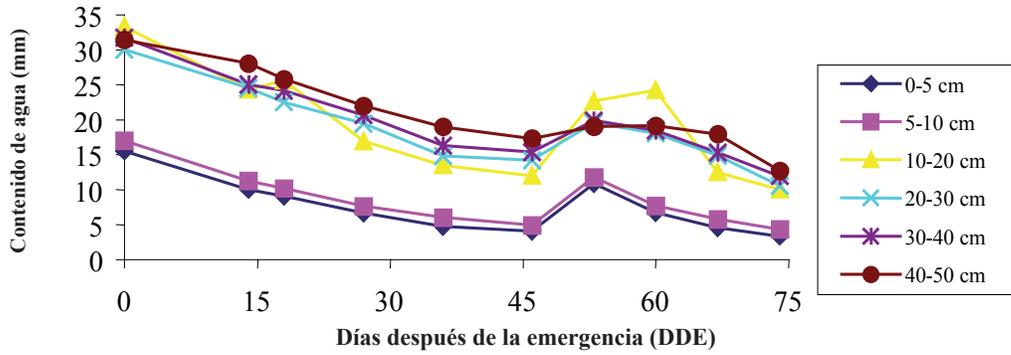


FIGURA 7. Lámina de agua total en horizontes en el perfil del suelo para labranza convencional.

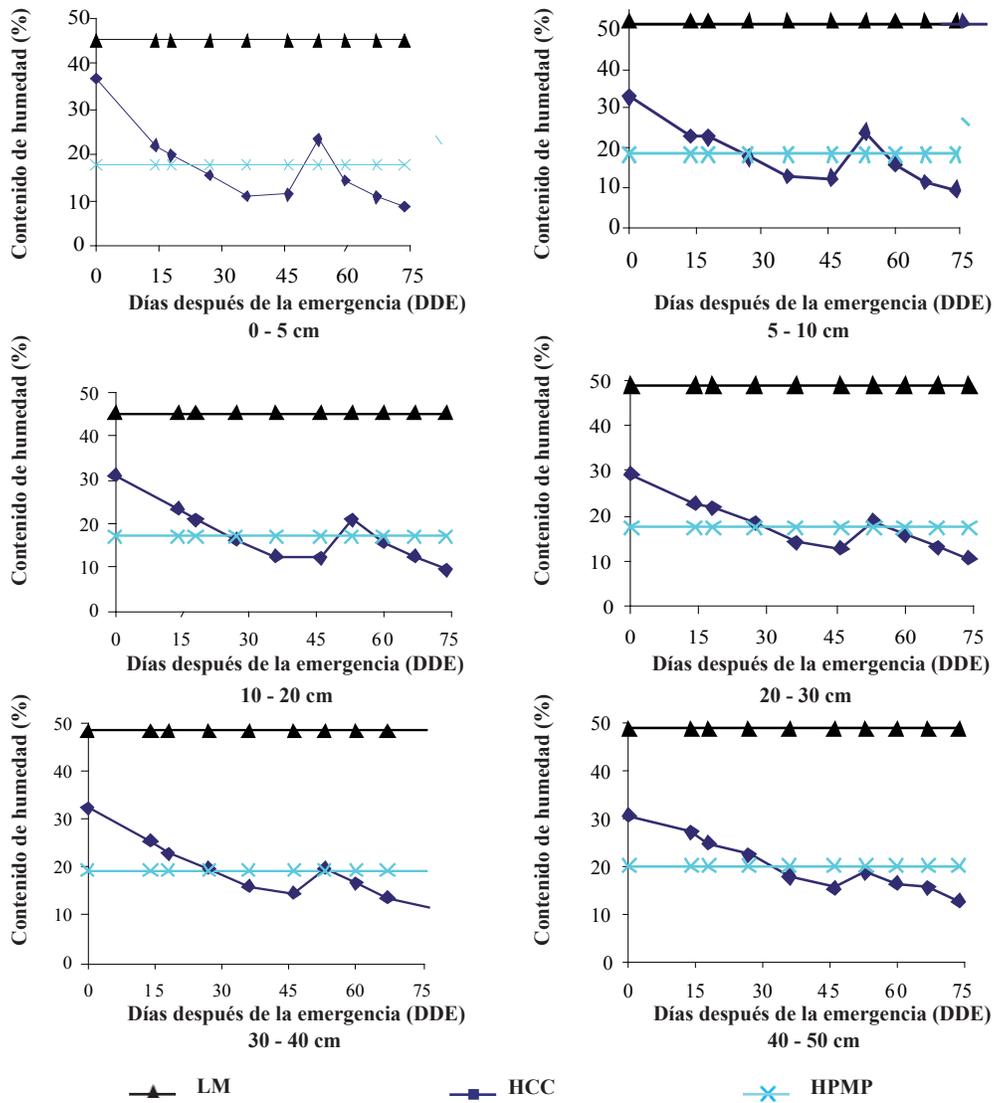


FIGURA 8. Dinámica del contenido de humedad volumétrica (HCC y HPMP) en los diferentes horizontes en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo en labranza mínima (LM).

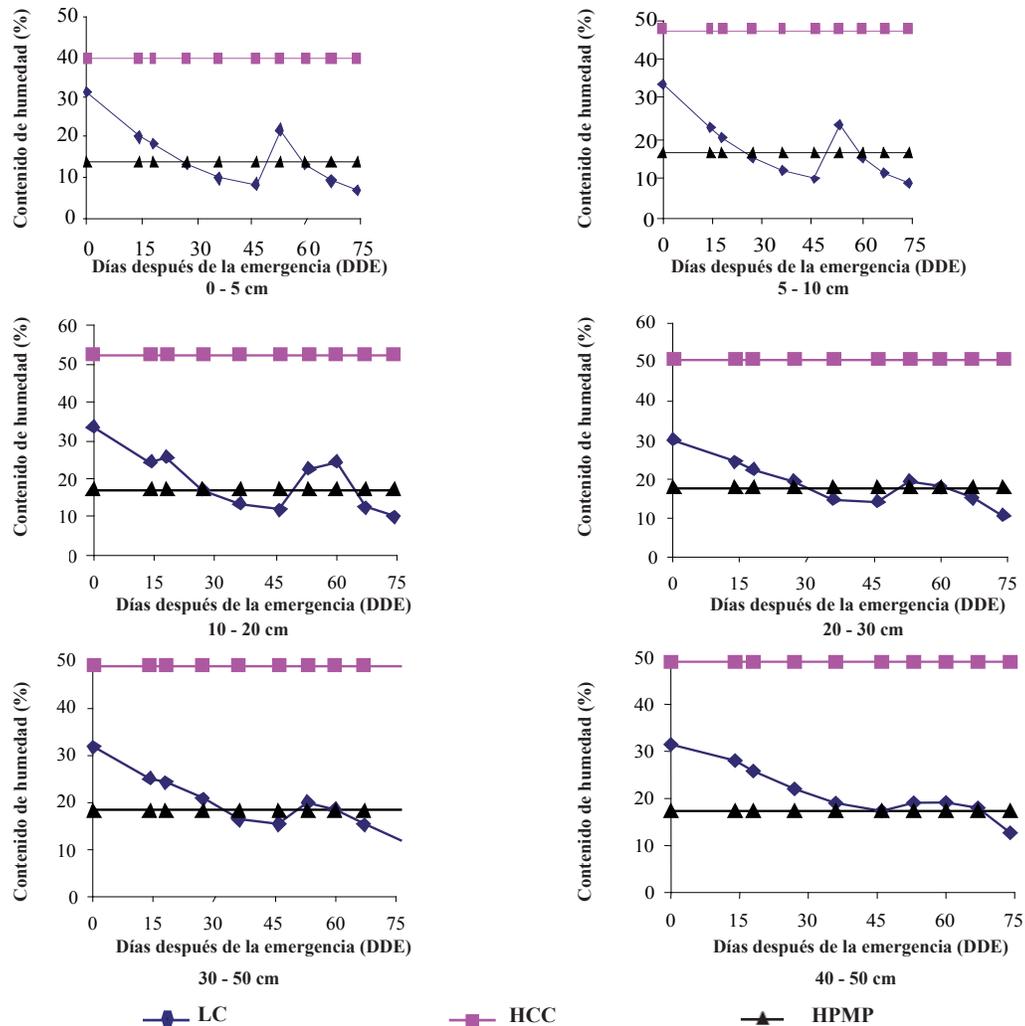


FIGURA 9. Dinámica del contenido de humedad volumétrica (HCC y HPMP) en los diferentes horizontes en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo en labranza convencional (LC).

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.

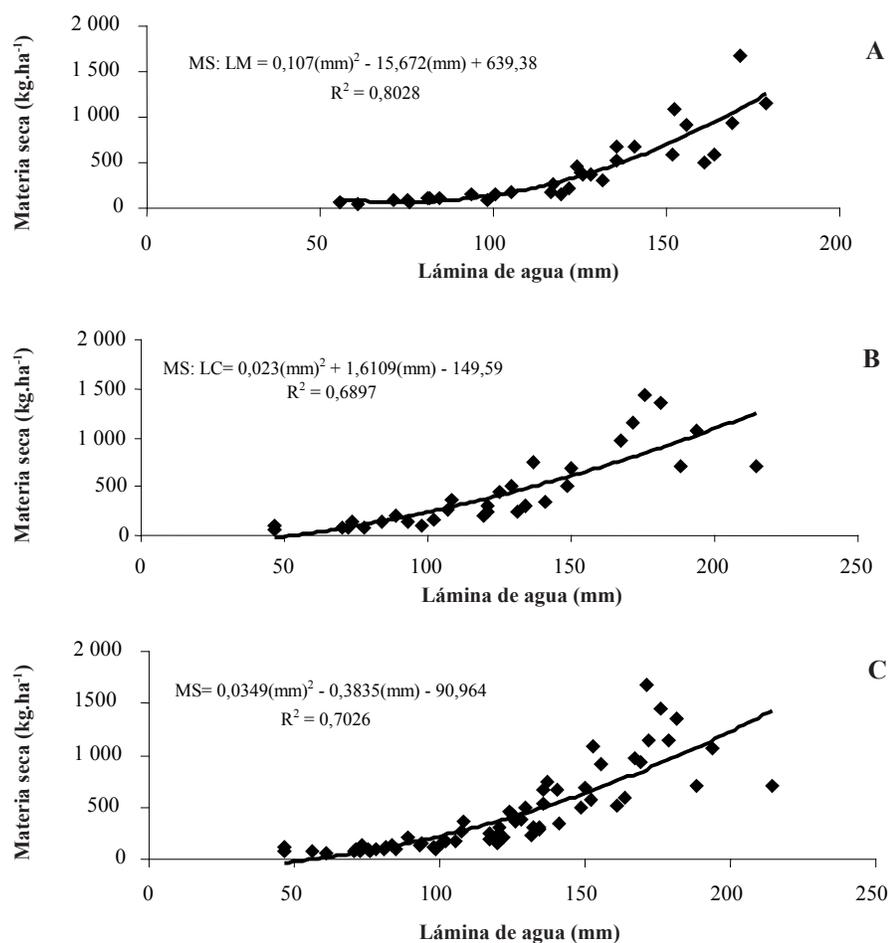


FIGURA 10. Relación entre la lámina de agua faltante y producción de la materia seca (MS) en: A) labranza mínima (LM); B) labranza convencional (LC); C) cuando se considera ambos sistemas de manera conjunta.

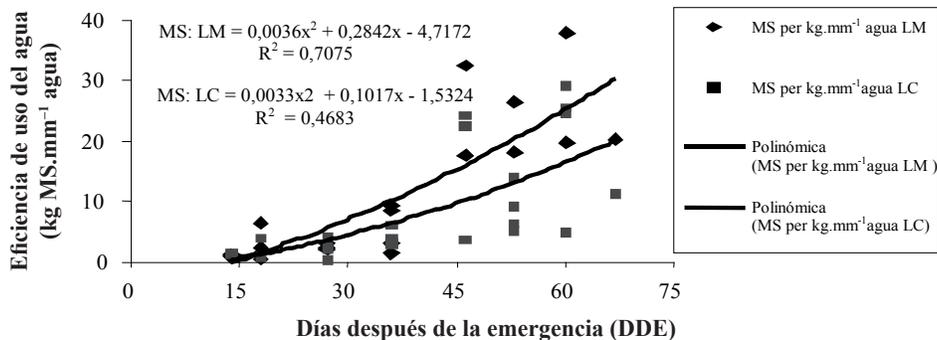


FIGURA 11. Índice de eficiencia de uso de agua en diferentes períodos durante el ciclo del cultivo.

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.

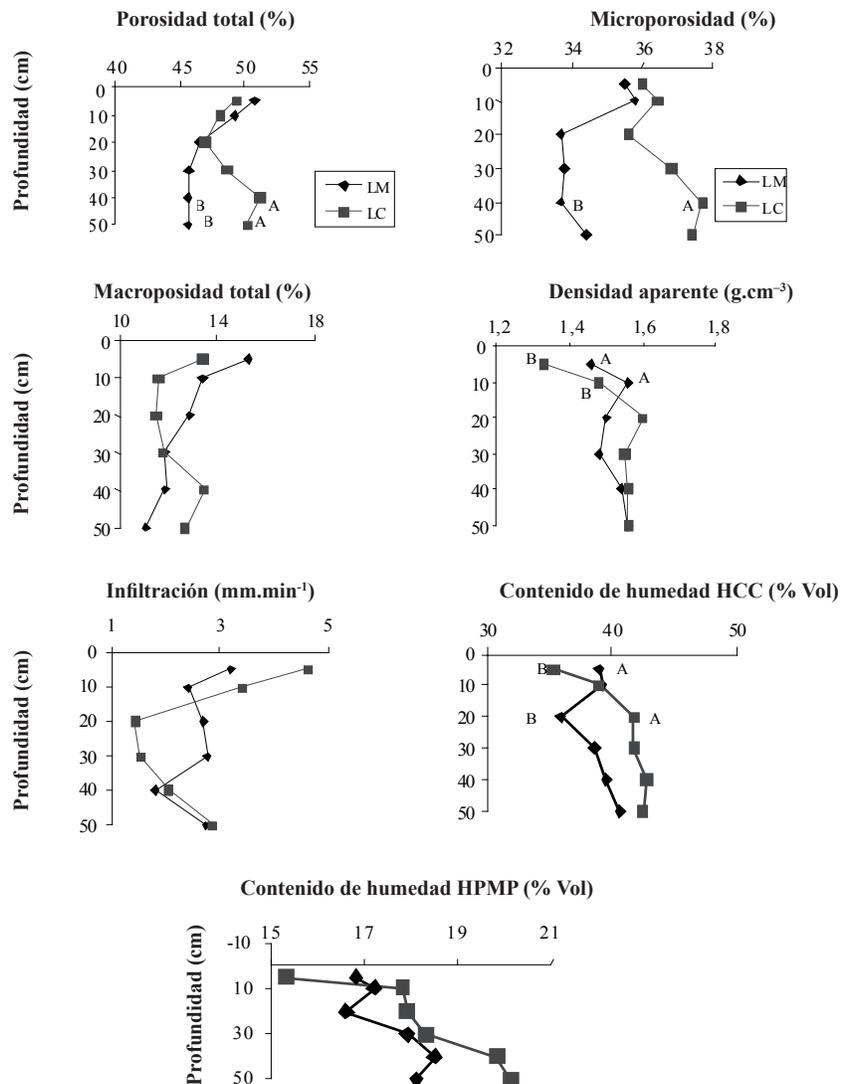


FIGURA 12. Algunas características físicas e hidrofísicas en diferentes horizontes del suelo bajo labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC) en Maracay.

- 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 I. 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 diagnóstico 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.

EFFECTO DE LA FUENTE DE CARBONO SOBRE LA ORGANOGÉNESIS Y EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA EN CACAO. ANÁLISIS CITOGÉNÉTICO

CARBON SOURCE EFFECT ON CACAO ORGANOGENESIS AND SOMATIC EMBRYOGENESIS. CITOGENETIC ANALYSIS

Giovanna F. Santana M.*, Rosalía Velásquez S.* y Jonás Mata*

*Profesores. Universidad Central de Venezuela. Maracay, estado Aragua. Venezuela.
E-mail: santanagiovanna@gmail.com, velasquezr@agr.ucv.ve, matajonas@yahoo.com

RESUMEN

Con el propósito de obtener un protocolo para la inducción de callos y embriones somáticos (ES) *in vitro* de cultivares de cacao, *Theobroma cacao* L., venezolano: OCUMARE-61, OCUMARE-67, CHORONÍ-42, GUASARE-133, CHUAO-2, SANTA CRUZ DE LA VEGA-6 y SANTA CRUZ-10, se utilizó el cultivo de anteras y pétalos en medio de DKW, empleando tres fuentes de carbono (FC): glucosa, fructosa y sacarosa, bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3x7. Se seleccionaron botones florales de 1,5 a 2 mm de longitud con microsporas en tétradas y se trataron previamente a 12±2 °C por 48 h. Para la inducción de callos y masas proembriogénicas se adicionaron agua de coco y aminoácidos. Los resultados obtenidos en porcentaje de explantes abultados, necrosados, inducción de callos y nivel de ploidía se analizaron mediante las pruebas Kruskal y Wallis. En este trabajo fue difícil lograr callos en ambos explantes y la respuesta varió con los genotipos y las FC. Los estudios histológicos determinaron callos organogénicos para algunos genotipos, pero sólo se observó la formación de raíces a partir de anteras de OCUMARE-61 y pétalos de CHUAO-2 en medio con sacarosa. La embriogénesis somática ocurrió a partir de pétalos de SANTA CRUZ-10 con glucosa. El conteo cromosómico determina que las raíces provenientes de anteras tenían carga genética haploide (2n=X=10), lo que indica la viabilidad de obtener *in vitro* plantas monoploides de cacao, evaluando así el efecto que tienen diferentes factores de tipo físico y químico sobre la respuesta organogénica de inducción de brotes en cacao.

Palabras Clave: anteras; haploides; *in vitro*; pétalos; *Theobroma cacao* L.

SUMMARY

The culture of anthers and petals *in vitro* has been used in this research in order to get a protocol to induce callus formation and somatic embryogenesis in seven venezuelan cacao, *Theobroma cacao* L., cultivars: OCUMARE-61, OCUMARE-67, CHORONÍ-42, GUASARE-133, CHUAO-2, SANTA CRUZ DE LA VEGA-6 and SANTA CRUZ-10, using DKW media and three different carbon sources: glucose, fructose and sucrose. The randomized design in a factorial arrangement 3x7 was used. Floral buds of 1.5 to 2 mm of length with microspores in tetrad stage were selected and treated at 12 °C for 48h. To callus and proembryogenic masses development, coconut water and aminoacids respectively was added in culture medium. The results of percentage of expanded explants, necrosis, callus induction and ploidy level were analyzed through Kruskal and Wallis test. In this research, callus formation was difficult for both explants and responses varies with cultivars and carbon source. Histological analysis allowed to establish the formation of organogenic callus in some cultivars, but only OCUMARE-61 anthers and CHUAO-2 petioles growing in media supplemented with sucrose, root formation was observed. Somatic embryogenesis was formed from SANTA CRUZ-10 petioles with glucose. The chromosomal analysis of roots revealed haploid number (2n=X=10), indicating the viability to obtain haploid cocoa plants through the anther culture technique, so it is important to study the effect of the physical and chemical factors may have under the induction of shoots and roots of cocoa somatic embryos.

Key Words: anthers, haploid; *in vitro*; petals; *Theobroma cacao* L.

RECIBIDO: noviembre 19, 2008

ACEPTADO: enero 19, 2011

INTRODUCCIÓN

El cacao, *Theobroma cacao* L., es una planta de la familia Sterculiaceae del orden Malvaceae (Whitlock *et al.*, 2001) que contiene 22 especies, siendo el cacao el más importante en el mercado (Rondón y Cumaná, 2005) que al procesar la semilla se elabora el chocolate y otros productos comerciales.

La calidad de esta especie se determina por las características físicas del grano y por su sabor (Graziani, 2000). La desmejora en las plantaciones originó bajos volúmenes de producción y disminución progresiva de la calidad del cacao venezolano (Pinto, 1997).

En la actualidad, los sembradíos de cacao en el país están formados por árboles de avanzada edad y bajo rendimiento, influyendo en la pérdida de los atributos del producto. Los programas de mejoramiento genético del cultivo se mostraron afectados no sólo por estos factores, sino, por la alta variabilidad genética encontrada en las plantaciones, aunado a las características botánicas del cultivo, limitando la propagación de la especie a través de las técnicas convencionales y modernas.

En consecuencia, los nuevos enfoques de las investigaciones se orientan hacia la optimización de los genotipos venezolanos, empleando técnicas de cultivo *in vitro*, con la finalidad de desarrollar protocolos de propagación masiva de plantas de cacao de alta calidad.

La importancia de la obtención de plantas haploides radica en los programas de mejoramiento genético de este cultivo, porque con el método tradicional, el desarrollo de variedades, híbridos y líneas promisorias duraría entre 30 y 40 años, mientras que aplicando técnicas de cultivo *in vitro* podría reducirse el tiempo a la mitad (Ascanio y Arcia, 1994).

Las técnicas convencionales de propagación del cacao fueron ineficaces y costosas debido a la arquitectura dimorfa del árbol y el predominio de ramas plagiotrópicas. Una de las ventajas del cultivo de tejidos es posibilitar la propagación asexual y de forma rápida plantas uniformes con rasgos genéticos valorados. Además, para el cacao, la embriogénesis somática ofrece un sistema de producción de clones con arquitectura dimorfa normal y un sistema radical fuerte (Maximova *et al.*, 2002).

El mejoramiento de los clones existentes y la renovación de viejas plantaciones de los campos venezolanos, planteó la necesidad de inducir embriones somáticos (ES) a partir de anteras y pétalos, que pudieran utilizarse

para la propagación de genotipos valiosos. Además, los ES obtenidos por cultivo de anteras, permitirían producir plantas haploides, para incluirse en los programas de mejoramiento genético de esta especie y lograr líneas o híbridos de alta calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el laboratorio de cultivo de tejidos del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA) de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, estado Aragua. En estudio previo, se evaluó el efecto del tamaño del botón floral y shock térmico sobre la androgénesis del cacao (Santana *et al.*, 2007), permitiendo establecer el cultivo de anteras en botones comprendidos entre 1,5 a 2 mm como óptimos, que fueron preservados a temperatura de 12 ± 2 °C por 48 h en nevera, por cuanto poseían microsporas en estado uninucleado en mayor proporción. De estos botones se extrajeron los pétalos para el cultivo *in vitro*.

Se emplearon los genotipos: OCUMARE-61 (g1), OCUMARE-77 (g2), CHORONÍ-42 (g3), GUASARE-133 (g4), CHUAO-2 (g5), SANTA CRUZ DE LA VEGA-6 (g6) y SANTA CRUZ-10 (g7) y se trataron con tres diferentes fuentes de carbono (FC): glucosa, fructosa y sacarosa, bajo un diseño aleatorizado con arreglo factorial 3x7. Se establecieron 21 tratamientos con cinco repeticiones y la unidad experimental se conformó por un botón floral (cinco explantes) por cápsula de Petri.

Antes del trasplante, los botones fueron lavados con solución jabonosa y de cloro comercial 30% por 10 min y con agua destilada, posteriormente, bajo cámara de flujo laminar, se cortaron en el extremo axial con la finalidad de extraer las anteras y los pétalos.

Los explantes se implantaron por separado en el medio de cultivo siguiendo el protocolo descrito por Maximova *et al.* (2002), con modificaciones en la cantidad de la FC utilizada (80 g.l⁻¹) y concentración de Tidiázurón por tipo de explante (0,005 mg.l⁻¹ para pétalos y 0,5 mg.l⁻¹ para anteras).

Para el crecimiento de los callos, el medio se suplementó con 2,4-D (2 mg.l⁻¹), kinetina (0,3 mg.l⁻¹) y agua de coco (50 ml.l⁻¹) y transcurridas cuatro semanas, se transfirió al medio básico DKW (Driver y Kuniyuki, 1984), sin reguladores de crecimiento. Para inducir las masas proembriogénicas se empleó el DKW suplementado

con 0,3 g.l⁻¹ de KNO₃ y aminoácidos bajo condiciones de luz fluorescente a 25±2 °C, para su desarrollo, el DKW con 0,2 g.l⁻¹ de KNO₃ y 0,9 mg.l⁻¹ de bencilaminopurina (6-BA).

Se evaluó el porcentaje de explantes abultados a los 7 días de implantación (DI); y a los 85 DI, porcentaje de inducción de callos, porcentaje de explantes necrosados por genotipo y FC utilizada.

Para las observaciones anatómicas se tomaron callos a los 125 DI de cultivo, a objeto de constatar la formación de ES. Se fijaron las masas proembriogénicas en una solución de FAA 70%, se deshidrataron en una serie ascendente de etanol-terbutanol por 3 h en cada concentración, luego se empaparon con parafina para cortarlos con un micrótopo en secciones de 10 µ. En la tinción se empleó el contraste de Safranina-Fast Green y se realizó el montaje permanente con bálsamo de Canadá.

En la determinación de los niveles de ploidía se tomaron puntas de raíces de aproximadamente 1 cm de longitud, previamente tratados con paradiclorobenceno en solución acuosa saturada, a temperatura ambiente por 3 h y lavado tres veces con agua destilada estéril por 5 min cada uno.

La fijación se realizó dejando las muestras toda la noche en solución Carnoy (etanol: ácido acético; 3:1), seguido de dos lavados con etanol al 70% por 10 min cada uno y sometidos a una hidrólisis en HCl 1N por 7 min a 60 °C, por último, se lavaron tres veces con agua destilada estéril por 5 min cada uno. La tinción se realizó con el reactivo de Schiff (2 g de Fucsina básica/400 ml⁻¹ de agua destilada a 100 °C).

Finalmente, las raíces se colocaron en un portaobjeto con la ayuda de una varilla de vidrio, se aplastaron y se observaron bajo el microscopio de luz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera respuesta callogénica se detectó una semana después de la implantación, por el aumento en el tamaño de las anteras y bases de los pétalos, coincidiendo con Velásquez (2005) para cultivares de cacao venezolanos.

Las evaluaciones estadísticas mostraron una influencia significativa de las FC sobre el abultamiento en las anteras (P=0,0002), observándose, superiores efectos con el uso de sacarosa. Sin embargo, en los pétalos no se evidenciaron diferencias significativas por la FC

empleada (P=0,6532), aún cuando el efecto genotípico fue marcado (P=0,0000) (Cuadro 1), con avances en SCLV-6, CHU-2 y OC-61.

CUADRO 1. Resultados estadísticos para abultamiento en anteras y pétalos de cacao, empleando glucosa, fructosa y sacarosa, como fuentes de carbono y siete genotipos de cacao venezolano.

	Fuentes de carbono		Genotipos empleados	
	Anteras	Pétalos	Anteras	Pétalos
α	0,05	0,05	0,05	0,05
Z	2,394	2,394	3,038	3,038
P_x^2	0,0003	0,649	0,092	0,000
p	0,0002***	0,6532	0,0868	0,000***

Prueba de Kruskal y Wallis.

Estos resultados, demostraron que inicialmente los explantes estuvieron asociadas tanto a las FC como a los genotipos empleados, coincidiendo con lo señalado por López-Baez *et al.* (2000); Velásquez *et al.* (2006) sobre variables evaluadas *in vitro*.

A los 14 DI de cultivo se evidenció un cambio en la coloración de las anteras para los genotipos SCLV-6 (g6), CHU-2 (g5) y OC-61 (g1), presentándose hialinos, amarillo-naranja y naranja, respectivamente; para el caso de los pétalos la respuesta fue más tardía.

El total de anteras y pétalos necrosados a los 58 DI fue de 50,31 y 48,79%, respectivamente, observándose mayor necrosis cuando los explantes se cultivaron en medio con glucosa y sacarosa. Sin embargo, el análisis estadístico no arrojó diferencias (anteras: P=0,6084; pétalos: P=0,8546), indicando que bajo las condiciones de experimentación la FC (Cuadro 2) no generó efecto sobre esta variable, ni los genotipos utilizados (anteras: P=0,0932; pétalos: P=0,0887).

En general, la mayoría de explantes necrosados en diferentes genotipos de cacao para este estudio no formaron callos, probablemente por el efecto inhibitorio que presentaron los compuestos fenólicos sobre el crecimiento de los tejidos. Esto coincide con González *et al.* (2005), quienes señalaron que la disminución en el proceso de inducción de callos en café (*Coffea arabica* L.) fue producto de una asociación de estos compuestos con proteínas que inhiben el crecimiento.

CUADRO 2. Resultados estadísticos para la necrosis en anteras y pétalos de cacao, empleando glucosa, fructosa y sacarosa, como fuentes de carbono y siete genotipos de cacao venezolano.

	Fuentes de carbono		Genotipos empleados	
	Anteras	Pétalos	Anteras	Pétalos
α	0,05	0,05	0,05	0,05
Z	2,394	0,3219	10,6303	10,7651
P_x^2	0,6022	0,8513	0,1005	0,0959
p	0,6084	0,8546	0,0932	0,0887

Prueba de Kruskal y Wallis.

Formación de callos

En los pétalos, la formación de callos se evidenció en el medio del cultivo a los 10 DI, mientras que en anteras fue a los 5 DI, ambas con un bajo porcentaje de inducción bajo. Aún cuando la prueba estadística no detectó diferencias ocasionadas por las FC (anteras: $P=0,3398$; pétalos: $P=0,2639$) en el medio de cultivo (Cuadro 3) que fue suplementado con fructosa, no ocurrió la formación de callos en ninguno de los genotipos evaluados (Figura 1).

La nula discriminación de la prueba estadística para este parámetro podría ser explicado por las pérdidas de materiales debido a la contaminación (datos sin reportar) que no se compensaron por el número establecido de repeticiones al incrementar el error experimental y enmascarar los resultados obtenidos, señalando así, que aquellos explantes abultados no son potenciales a formar callos.

Se evidenció que para las anteras los únicos genotipos que reaccionaron fueron CHO- 42 (1,57%) y OC-61 (1,57%) con el tratamiento de sacarosa, seguido del genotipo OC-77 (0,31%) con glucosa, aún cuando la respuesta obtenida fue baja, lográndose un sólo callo. Para los pétalos, la formación tuvo el mismo comportamiento, reaccionando SC-10 (1,73%) y OC-61 (1,04%) en medio con glucosa y SCLV-6 (1,38%) y CHU-2 (1,04%) en el suplementado con sacarosa (Figura 2).

Los callos de SC-10 se oxidaron después de 48 d de cultivo, posiblemente ocasionado por la activación del mecanismo fisiológico de defensa, con la finalidad de

contrarrestar los factores estresantes producto de las condiciones *in vitro*, así como a la naturaleza de los explantes de cacao de generar compuestos fenólicos (Alemanno *et al.*, 1996).

La mayoría de los callos obtenidos en esta investigación presentaron marcada heterogeneidad, mostrando zonas lisas necrosadas y diferentes texturas, igualmente, estructuras cristalinas: globulares, alargadas rectas y alargadas bifurcadas (Figura 3), parecidas a las fases de desarrollo de los ES; las mismas se asemejaron a las descubiertas por Chantásig (2004) en genotipos forasteros. No obstante, en ese estudio los análisis histológicos realizados en este tipo de callos indicaron que no eran embriogénicos.

Sin embargo, para los otros callos diferentes a esta descripción, se detectó la presencia de células embriogénicas y no embriogénicas, donde éstas, se caracterizaron por ser alargadas, agrupadas en cadena de pared celular delgada, citoplasma poco denso y núcleo inconspicuo, en contraste, las células embriogénicas se presentaron en conglomerados celulares redondeados de pared celular gruesa y núcleo prominente (Figura 4), coincidiendo estos resultados con trabajos para el cultivo de cacao y otras siembras (Ascanio, 1999; Michelangeli *et al.*, 2003; Velásquez *et al.*, 2006).

Las masas callosas del genotipo OC-61 de color blanco, vítreo, conformado por estructuras alargadas y bifurcadas, no revelaron la presencia de células embriogénicas, demostrando que este tipo de callo, bajo las condiciones de experimentación establecidas, no conlleva a la formación de embriogénesis somática, así como indicaron otros autores usando genotipos de cacao forasteros (Chantásig, 2004; Maxinova *et al.*, 2005).

CUADRO 3. Resultados estadísticos para la inducción de callos en anteras y pétalos de cacao, empleando glucosa, fructosa y sacarosa, como fuentes de carbono y siete genotipos de cacao venezolano.

	Fuentes de carbono		Genotipos empleados	
	Anteras	Pétalos	Anteras	Pétalos
α	0,05	0,05	0,05	0,05
Z	2,394	2,394	3,038	3,038
P_x^2	0,3351	0,2608	0,7524	0,3724
p	0,3398	0,2639	0,7672	0,3793

Prueba de Kruskal y Wallis.

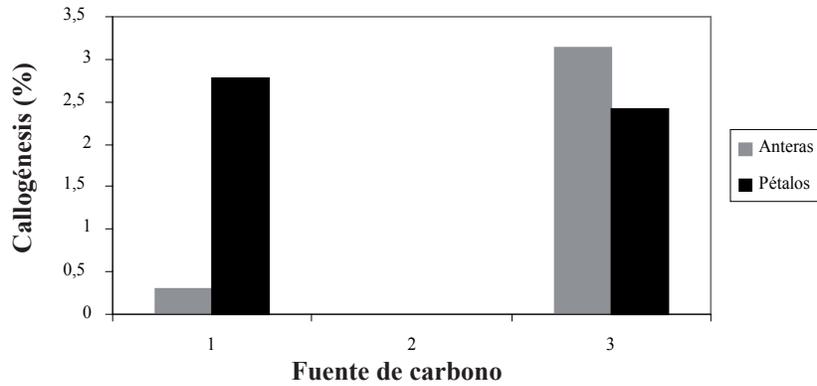
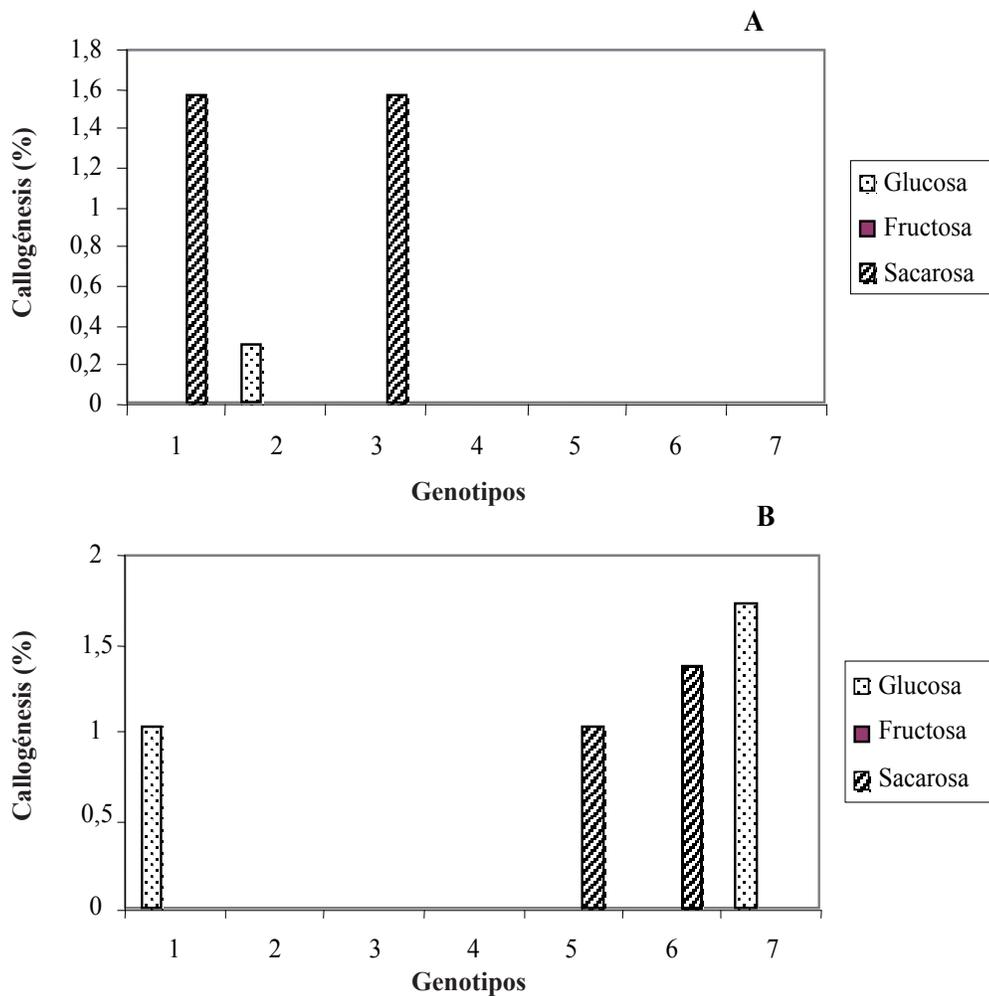


FIGURA 1. Porcentaje de inducción de callos general a partir de explantes florales de genotipos de cacao venezolano. 1. Glucosa; 2. Fructosa; 3. Sacarosa.



1) OCUMARE- 61; 2) OCUMARE-77; 3) CHORONÍ-42; 4) GUASARE-133; 5) CHUAO-2; 6) SANTA CRUZ DE LA VEGA-6; 7) SANTA CRUZ-10.

FIGURA 2. Porcentaje de inducción de callos de cada uno de los genotipos de cacao venezolano en función al tipo de fuente de carbono empleado. **A.** Anteras; **B.** Pétalos.

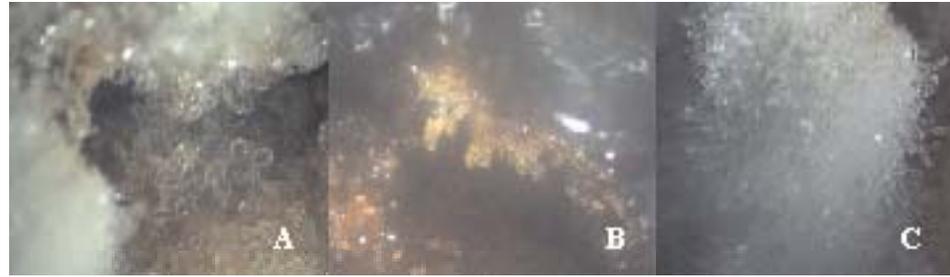


FIGURA 3. Heterogeneidad morfológica en callos no embriogénicos obtenidos a partir de explantes florales de cacao venezolano. **A.** Callo con estructuras globulares en algunos casos similares a la forma de torpedos; **B.** Callo con estructuras alargadas bifurcadas; **C.** Callo con racimos de estructuras alargadas.

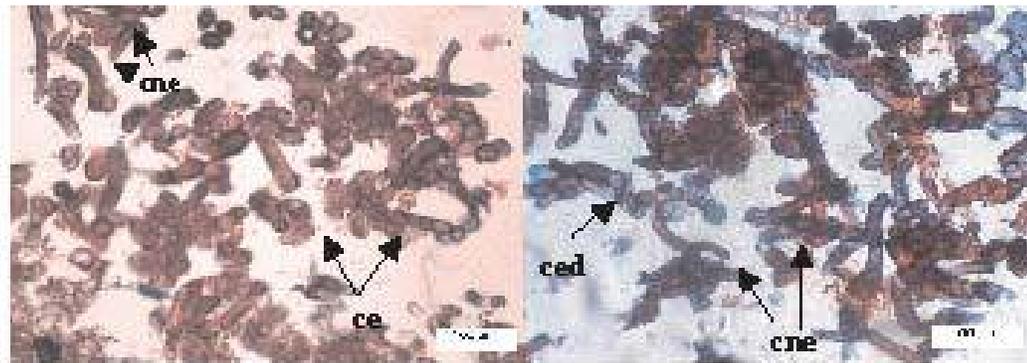


FIGURA 4. Células embriogénicas (ce), no embriogénicas (cne) y células embriogénicas en división (ced) obtenidas a partir de callos de explantes florales de cacao venezolano.

Se indicó que todos los explantes tienen la capacidad de formar callos *in vitro*, sin embargo, no todos poseen la capacidad para generar masas embriogénicas (Litz y Jarret, 1991), explicado por las diferencias genotípicas encontradas en el material vegetal. En este trabajo, la embriogénesis somática se evidenció al séptimo mes de implantación sólo para callos provenientes de pétalos de SANTA CRUZ-10, creciendo en el medio con glucosa (Figura 5).

Resultados similares obtuvo Chantásig (2004) y Maximova *et al.* (2005) a diferencia de otros autores, quienes presentaron a la sacarosa como única FC donde se obtuvo respuesta embriogénica (Traore y Guiltinan, 2006). No se logró la inducción de ES en callos de anteras.

Aún cuando se evidenció que el material expuesto a bajas temperaturas por períodos de tiempo cercanos a una semana, produjo un efecto positivo sobre la respuesta morfológica en cacao (Texeira *et al.*, 2002), es posible que el bajo porcentaje de formación de callos y ES obtenidos en este experimento, fue ocasionado, entre

otros factores, al tiempo prolongado de exposición al shock térmico (2 d), también señalado por algunos autores (López Baez *et al.*, 2000; Trejo *et al.*, 2002).

En el caso de la baja morfogénesis de las anteras, es posible que esté asociado al estado uninucleado temprano de la microspora, no siendo el óptimo para el cultivo, ocasionalmente se originan respuestas favorables en el proceso de androgénesis, por tal motivo, requiere estudiarse el cultivo de anteras cuyo estado uninucleado sea medio o tardío, tal como ocurre en arroz (Lentini *et al.*, 1997).

En consecuencia, los resultados de esta investigación en cacao confirman lo señalado por otros autores que afirmaron la existencia del efecto del genotipo sobre la respuesta morfológica bajo las condiciones *in vitro*, la fisiología del material, tipo de explante, la concentración y tipo de regulador de crecimiento empleados (López-Báez *et al.*, 2000; Chantásig, 2004; González *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2006).



FIGURA 5. Embrión somático a partir de un tejido calloso de pétalos del genotipo SANTA CRUZ-10.

Organogénesis

Se logró inducir la organogénesis indirecta a partir de explantes de pétalos y anteras de los genotipos CHU-2 y OC-61, respectivamente, ambos en medio suplementado con sacarosa. Los callos se diferenciaron en las raíces, teniendo un aspecto friable y color crema, sin que se evidenciara la presencia de embriones somáticos (Figuras 6).

Los análisis anatómicos de una sección de callo de pétalos de SCLV-6 en sacarosa y anteras de OC-61 y OC-77 en sacarosa y glucosa respectivamente, permitieron determinar que los mismos eran organogénicos debido a sus arreglos celulares (Figura 7).

Los resultados obtenidos indicaron la posibilidad de regenerar plantas a partir de masas organogénicas, tal como lo mostró Mena (1991) para genotipos forasteros.

Niveles de ploidía

A partir de la técnica de conteo cromosómico se observó que los tejidos radicales provenientes del cultivo de pétalos del genotipo criollo CHU-2, conservaron su naturaleza diploide ($2n=2x=20$), mientras que las raíces inducidas a partir de anteras del genotipo OC-61 fueron monoploides ($2n=x=10$), indicando que las mismas se originaron del polen haploide ($n=x=10$), registrándose este hallazgo como el primero para esta especie (Figura 8). Este logro confirma que es viable la regeneración de plantas haploides de cacao a partir de anteras, sólo se tendría que evaluar los diferentes factores de tipo físico y químico que pudieran estar afectando la respuesta organogénica de inducción de brotes.

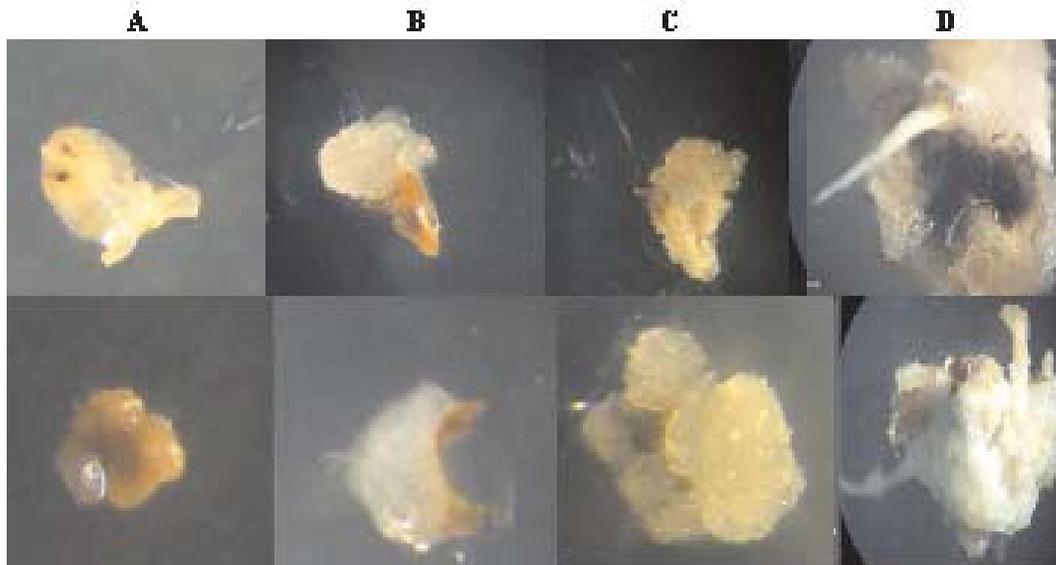


FIGURA 6. Cambios secuenciales en la morfología del explante durante la formación de callos y organogénesis a partir de pétalos de CHUAO-2 y anteras de OCUMARE-61 suplementados con sacarosa. **A.** Explante turgente; **B.** Inicio de callogénesis; **C.** Callo cubriendo casi todo el explante; **D.** Formación de raíz a partir de la masa callosa.

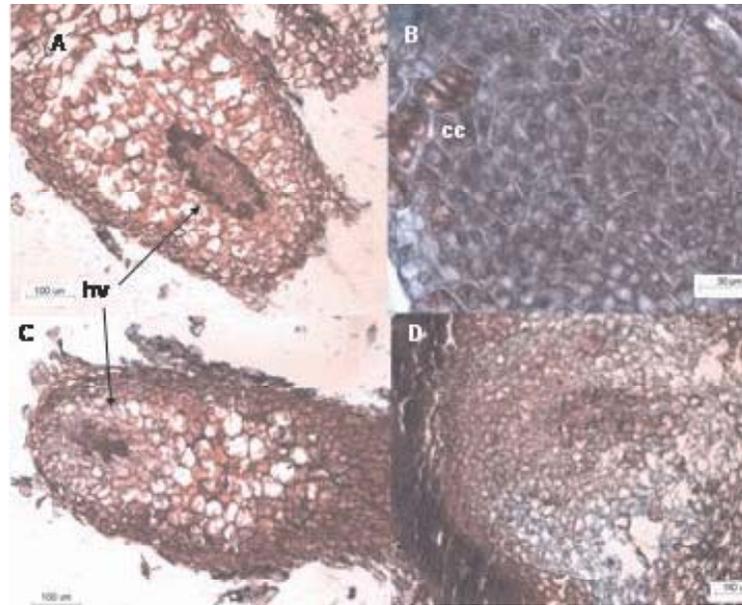


FIGURA 7. Corte anatómico de callos organogénicos. **A y C.** Callos de pétalos de SANTA CRUZ DE LA VEGA-6 y anteras de OCUMARE-61 donde se evidencia un arreglo celular de haces vasculares (hv). **B.** Inicio de un ápice vegetativo conformado por células en cadeneta (cc). **D.** Detalle de callo organogénico de anteras de OCUMARE-61.

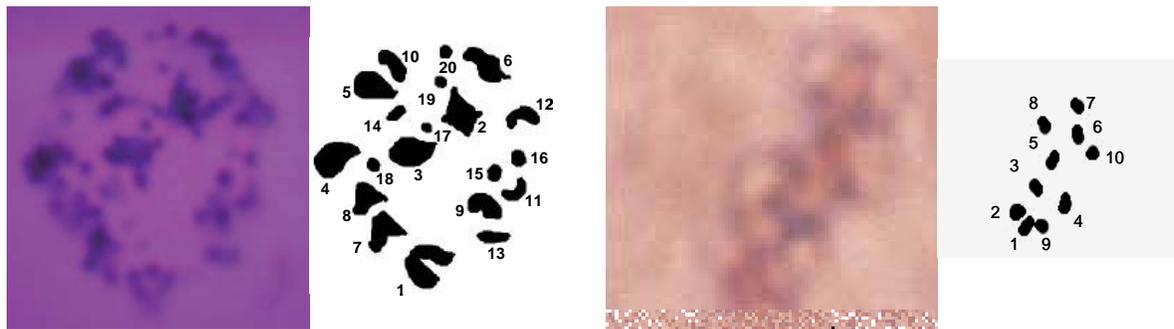


FIGURA 8. Vistas de cromosomas de tejidos radicales obtenidos *in vitro*. **A.** Diploide proveniente de pétalos de CHUAO-2; **B.** Haploide proveniente de anteras de OCUMARE-61 (1000X).

CONCLUSIONES

- En la inducción de callos se observó un efecto genotípico marcado asociado con el tipo de explante y FC utilizado. En los medios con sacarosa, se obtuvieron callos partiendo de anteras de OCUMARE-61 y CHORONÍ-42, pétalos de CHUAO-2 y SANTA CRUZ DE LA VEGA-6, mientras que en el medio con glucosa, se evidenció en anteras OCUMARE-77 y OCUMARE-61, pétalos de SANTA CRUZ-10. Además, no ocurrió la formación de callos en medio suplementado con fructosa.
- Los análisis anatómicos permitieron determinar la presencia de masas proembriogénicas en callos de pétalos del genotipo SANTA CRUZ-10 bajo glucosa, así como, el surgimiento de callos organogénicos de SANTA CRUZ DE LA VEGA-6, a partir de pétalos cultivados con sacarosa y de OCUMARE-61 y OCUMARE-77, basado en anteras cultivadas con sacarosa y glucosa, respectivamente.
- Se indujo la embriogénesis somática sólo en el genotipo trinitario SANTA CRUZ-10.

- Se observó organogénesis indirecta a partir de anteras del genotipo Ocumare-61 y de pétalos de Chuao-2 con sacarosa.
- Los análisis citogenéticos realizados en las raíces de Ocumare-61 provenientes de anteras demostraron que su carga genética fue haploide. No hubo variación de la carga genética en las raíces de Chuao-2 derivados de pétalos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemanno, L., M. Berthouly and N. Michaux-Ferriere. 1996. Histology of somatic embryogenesis from floral tissues in *Theobroma cacao* L. *Plant Cell Tiss. Org.* 46:187-194.
- Ascanio, C. 1999. Suspensiones celulares en café (*Coffea arabica* L. 'Catuaí') y su aplicación en la obtención de somaclones resistentes al filtrado tóxico de *Colletotrichum gloeosporioides*. Trabajo de ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 79 p.
- Ascanio, C. y A. Arcia. 1994. Efecto del estado de desarrollo de las anteras y de un 'shock' térmico sobre la androgénesis en *Coffea arabica* L. Var. Garnica. Maracay, Venezuela. *Café cacao Thé.* 38(2):75-80.
- Chanatásig, C. 2004. Inducción de embriogénesis somática en clones superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.), con resistencia a enfermedades fungosas. Tesis Mag. Sc. CATIE. Costa Rica. 87 p.
- Driver, D. and A. Kuniyuki. 1984. *In vitro* propagation of Paradox Walnut Rootstock. *Hortscience* 19: 507-509.
- González, M., M. Hernández, L. Mazonra, N. Santana, Y. Rodríguez y M. Cabrera. 2005. Influencia de la época del año en la respuesta *in vitro* del caféto *Coffea canephora* P. Var. Robusta. *Revista Colombiana de Biotecnología.* 7(1):5-14.
- Graziani, L. 2000. Calidad del cacao. **In:** Memorias del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Caracas, Venezuela. 198-199 pp.
- Lentini, Z., C. Martínez y W. Roca. 1997. Cultivo de anteras de arroz en el desarrollo de germoplasma. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia. 57 p.
- Litz, R. y R. Jarret. 1991. Regeneración de plantas en el cultivo de tejidos: embriogénesis somática y organogénesis. **In:** M. W. Roca y L. A. Mroginski. Cultivo de tejidos en la agricultura. CIAT. Cali, Colombia. 144-161 pp.
- López-Báez, O., J. Moreno y S. Pacheco. 2000. Avances en Propagación de cacao *Theobroma cacao* L. por embriogénesis somática en México (en línea). Disponible en: [http://www.koko.gov.my/CocoaBio-Tech/ING_Workshop\(163-177\).html](http://www.koko.gov.my/CocoaBio-Tech/ING_Workshop(163-177).html).
- Maximova, S., A. Young, S. Pishak, C. Miller, A. Traore and M. Guiltinan. 2005. Integrated system for propagation of *Theobroma cacao* L. **In:** Protocol for somatic embryogenesis in woody plants. S.M. Jain and P.K. Gupta, Eds. The Netherlands, Springer. 209-229 pp.
- Maximova, S., L. Alemanno, A. Young, N. Ferriere, A. Traore and M. Guiltinan. 2002. Efficiency, Genotypic variability and cellular origin of primary and secondary somatic embryogenesis of *Theobroma cacao* L., *in Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 38:252-259.
- Mena, S. 1991. Estudios del comportamiento de anteras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivo *in vitro*. Tesis Mag. Sc. CATIE. Costa Rica. 124 p.
- Michelangeli, C., P. Artioli y A. Medina. 2003. Anatomía y ultraestructura de la embriogénesis somática en Onoto (*Bixa orellana* L.). *Agro. Trop.* 53(1):33-48.
- Pinto, J. 1997. Calidad y certificación del cacao venezolano. **In:** I congreso venezolano del cacao y su industria. Caracas, Venezuela. 189-197 pp.
- Rondón, J.; Cumana, L. 2005. Revisión taxonómica del género *Theobroma* (Sterculiaceae) en Venezuela. *Acta Bot. Venez.* 28(1): 113-133.
- Santana, G., R. Velásquez y M. Chirinos. 2007. Efecto del tamaño del botón floral y 'shock' térmico sobre la androgénesis del cacao (*Theobroma cacao* L.). **In:** VI Encuentro latinoamericano y del Caribe de Biotecnología Agrícola REDBIO 2007. Viña del Mar, Chile. Poster 444.
- Teixeira, J., P. Santos e M. Oliveira. 2002. Otimização da metodologia de embriogênese somática visando a propagação clonal de genótipos elite de cacau (*Theobroma cacao* L.). Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología. Brasília. Documento técnico nº 79. Brasil. 34 p.

- Traore, A. and M. Gultinan. 2006. Effects of carbon source and explant type on somatic embryogenesis of four cacao genotypes. *Hortscience*. 41:753-758.
- Trejo, G., U. Maldonado, A. Jiménez, M. Blanqueto, G. Salcedo, B. Martínez y A. Sánchez. 2002. Efecto del tiempo de exposición a baja temperatura y de reguladores de crecimiento en la regeneración de plantas a partir de anteras de arroz *Oryza sativa* L. (Cultivar Japónica H2005). México. *Agrociencia*. 36(4):441-449.
- Velásquez, R. 2005. Embriogénesis somática en diferentes clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Trabajo de ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 49 p.
- Velásquez, R. Y. Sandra, C. Betancourt, J. Mata y F. García. 2006. Embriogénesis somática en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) venezolano. *Agronomía Trop*. 56(1):61-74.
- Whitlock, B. A., C. Bayer, D. A. Baum. 2001. Phylogenetic relationships and floral evolution of the Byttnerioideae ("Sterculiaceae" or Malvaceae s.l.) based on sequences of the chloroplast gene, *ndhF*. John V.; Freudenstein Editeur. *System. Bot.* 26(2):420-437.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTAS FRESCAS DE CULTIVOS NO TRADICIONALES EN VENEZUELA. II. LA PITANGA

PHYSICAL-CHEMISTRY CHARACTERIZATION OF FRESH FRUITS OF NO TRADITIONAL CULTIVATIONS IN VENEZUELA. II. THE PITANGA

Grigna Piña-Dumoulin*, Alfonsina Ochoa** y Sacramento Magaña-Lemus***

*Investigadora. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Email: gpina@inia.gov.ve
Ingeniera Frutales CENIAP. *Asesor Estadístico.

RESUMEN

La pitanga, *Eugenia uniflora* L., es una fruta originaria de Brasil con importantes nutrimentos y una amplia adaptación a diferentes condiciones de clima, suelo y manejo. Fue naturalizada en Argentina, Colombia y Venezuela, poco conocida en este último. Se evaluaron en dos años consecutivos frutos cosechados en tres plantas pertenecientes al Jardín de Introducción de Frutales del CENIAP, con la finalidad de determinar sus características físico-químicas bajo las condiciones del estado Aragua y su potencial de producción en pequeñas poblaciones rurales para consumo fresco como fuente de vitaminas. En un total de 60 frutos por planta se alcanzó el peso fresco; diámetro ecuatorial, distal y relación. Además, se estipuló el número de semillas, rendimiento en jugo, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, pH, contenido de vitamina C y carotenoides. Los resultados obtenidos de los frutos fueron: forma achatada, con valores promedio de 4,0 g de peso, 2 semillas, 8,0 °Brix, 1,0 g.100 ml⁻¹ de ácido cítrico y rendimiento en jugo de 33%; valores coincidentes con los rangos reportados en la Amazonía como zona de origen. Además, se constató un alto contenido vitamínico basado en la concentración de carotenoides.

Palabras Clave: calidad; *Eugenia uniflora* L.; fruta amazónica; *Myrtaceae*; nutrición.

SUMMARY

The pitanga, *Eugenia uniflora* L., is a native fruit of Brasil with important nutritious qualities and wide adaptation to different conditions of climate, soil and handle. This fruit has been introduced to Argentina, Colombia and Venezuela, although it is little known in this last. Fruits harvested of three plants at the Jardín de Introducción de Frutales del CENIAP were evaluated by two consecutive years, with the purpose to determinate its physical-chemistry characteristics under the conditions of Aragua state. Beside to assess its potential of production in small rural communities as sources of vitamins when is consumed as fresh fruit. Fresh weight, ecuatorial and distal diameter and its relation was measured in a total of 60 fruits for each plant. Seeds number; juice yield; solids soluble total (SST); titratable acidity; pH; Vitamin C and carotenoids, were determined. The fruits are flat with averages values from 4,0 g, 2 seeds, 8,0 °Brix, 1,0 g.100 ml⁻¹ for citric acid and 33% yield of juice. The results are in agriment with the ranges reported at the Amazonia native zone. Furthermore, confirming its high vitaminic content based in the concentration of carotenoids.

Key Words: quality; *Eugenia uniflora* L.; amazonic fruit; *Myrtaceae*; nutrition.

RECIBIDO: junio 18, 2009

ACEPTADO: marzo 12, 2010

INTRODUCCIÓN

La pitanga, *Eugenia uniflora* L., llamada Surinam cherry, también se conoce en Brasil como cerezo brasileño, cereza de Cayena, pitanga y eventualmente cereza de la Florida. En español por lo general cereza de cayena; pero pendanga en Venezuela; guinda en El Salvador; ñanga-piré en Argentina; cereza cuadrada en Colombia (Morton, 1987), es una planta nativa de Surinam, Guyana, Guayana Francesa hasta el Sur de Brasil (especialmente de los estados de Río de Janeiro, Paraná, Santa Catarina y Río Grande do Sul) y al norte, este y centro de Uruguay.

Se adapta tanto a climas tropicales como subtropicales; con amplia tolerancia a las condiciones de frío y semiaridez, igual ocurre en suelos arenosos y arcillosos (Villachica *et al.*, 1996). Además, produce frutos de buen tamaño a plena luz solar o bajo la sombra, se desarrolla fácilmente sin abonos, responde favorablemente a la aplicación de agua y fertilizantes (Griffis *et al.*, 2009), observándose, los mejores rendimientos cuando las plantas están en suelos profundos, drenados y en ambientes adecuados para el manejo (Villachica *et al.*, 1996).

Desde Brasil fue difundida a otros países (Villachica *et al.*, 1996) como Argentina y Estados Unidos, donde se obtiene la variedad Vermillion (Freyre *et al.*, 2000; Ricciardi *et al.*, 1999), posteriormente, cultivada y naturalizada en Argentina, Venezuela y Colombia; igual en la Costa Atlántica de Centro América y en algunas islas de las Indias Occidentales: las Islas Caimán, Jamaica, St. Thomas, St. Croix, Puerto Rico, Cuba, Haití, República Dominicana y en las Bahamas y Bermuda (Morton, 1987).

El género *Eugenia* posee alrededor de 1000 especies y es uno de los más representativos de las *Myrtaceae*, subfamilia *Myrtoideae*, que incluye plantas con frutos suculentos (Lughadha y Proença, 1996; Merwe *et al.*, 2005; citado por Gomes y Bezerra, 2009).

En condiciones de libre crecimiento, la planta de pitanga puede alcanzar de 7 a 7,5 m, normalmente se cultiva como arbusto ramificando desde la base o como cerca viva de 1,5 m de altura (Morton, 1987; Villachica *et al.*, 1996).

Las plantas propagadas con semillas comienzan a producir entre los tres y cuatro años, aún cuando son injertadas, pueden producir mayor número de frutos de buen sabor y altos contenidos de antioxidantes, en un lapso no mayor de un año después de la injertación (Griffis *et al.*, 2009).

Es característico de esta especie su follaje resinoso y aromático (Morton, 1987), de donde se aislaron compuestos poco comunes que permitieron afirmar su estabilidad fitoquímica y la importancia de su estudio desde el punto de vista químico, quimiotaxonomico y farmacológico (Ricciardi *et al.*, 1999; Franzon, 2008). En Brasil las hojas se esparcen en el piso donde abundan moscas, con la finalidad de que al pisarlas éstas emitan un olor especial que ahuyenta a los insectos (Hoyos, 1989).

La planta de pitanga fenotípicamente posee hojas opuestas, los brotes jóvenes pueden ser de color bronce a rojo y las flores son bisexuadas de color blanco. Los frutos son tipo baya globosa, oblongos, con cáliz persistente, con presencia entre siete y ocho surcos en sentido longitudinal. Miden entre 2 y 4 cm de ancho, presentan de una a dos semillas, su color va de naranja a rojo, casi negro cuando están maduros; de sabor agrídulce y gusto intensamente aromático (Morton, 1987; Villachica *et al.*, 1996; Franzon, 2008).

Los frutos son ricos en licopeno, la pulpa es una buena fuente de calcio, fósforo y hierro (Hoyos, 1989; Griffis *et al.*, 2009).

La gran diversidad de frutales originarios del trópico y más aún de la zona amazónica, la pitanga se destaca por su potencial comercial, por el atractivo de sus frutos, sabor exótico y alto contenido en vitamina A (Franzon, 2008). Los frutos maduros podrían ser los mejores entre las *Eugenias* comestibles y consumirse frescos o procesados, en forma de pulpa congelada, jugos, mermeladas, jaleas y otros productos (Griffis *et al.*, 2009).

Sumado a las cualidades citadas anteriormente, la posibilidad de producirlas durante todo el año (Villachica *et al.*, 1996), ofrece la oportunidad de constituirse en un cultivo de interés para comunidades rurales, brindando beneficios para sus consumidores a través de la diversificación de la dieta basada en frutas (Franzon, 2008).

En Venezuela, la pitanga no pertenece a la gama de frutos comunes entre la población, con excepción, de lugares donde se encuentra en forma silvestre o como siembra en jardines particulares y parques (Hoyos, 1989). Además, los beneficios de su consumo como una fuente de vitaminas, no son de conocimiento general, razón por lo que este trabajo pretende ser uno de los primeros que realiza una caracterización físico-química de los frutos obtenidos de esta interesante *Myrtaceae*, bajo las condiciones agroclimáticas del estado Aragua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una evaluación en frutos provenientes de tres plantas de cinco años de edad, propagadas por semilla, correspondientes a tres accesiones diferentes del Jardín de Introducción de Frutales del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) en Maracay, estado Aragua (10°13' LN y 67°37' LO) ubicado en suelos Fluventic Haplustolls, a una altitud de 445 m.s.n.m; en una zona clasificada como bosque seco tropical sub-húmedo (Ewell y Madriz, 1968; Holdridge, 1979), con precipitación media anual entre 900-1000 mm, temperatura media de 25 °C y evapotranspiración alrededor de 1 400 mm en la Estación de Climatológica, CENIAP-Maracay.

El índice de cosecha utilizado fue la presencia del color rojo característico de los frutos de cada planta, que puede variar en su intensidad de una a otra, motivado a su propagación por semilla y a la alta variabilidad genética mostrada en ellas, aún cuando no son autoincompatibles, necesitan de agentes polinizadores para una mejor fructificación (Franzon, 2008).

Para la caracterización se realizaron evaluaciones por dos años consecutivos, que consistieron en muestreos por año por planta; siendo cada muestreo de 15 frutos, en los meses de marzo y octubre.

Una vez cosechado, los frutos fueron llevados al laboratorio de calidad y postcosecha del CENIAP para realizar las determinaciones físico-químicas, donde se midió el peso fresco en gramos; diámetro ecuatorial (De) y diámetro distal (Dd) en milímetros; número de semillas y rendimiento

en jugo (% p/v). Se determinó el contenido de sólidos solubles totales (SST) en °Brix (AOAC, 1990), acidez titulable (AT) con base al ácido cítrico y se expresó en g.100 ml⁻¹ (AOAC, 1990); pH; vitamina C (Schmall *et al.*, 1953) y carotenoides (McCollum, 1953 modificada por Guadarrama, 1982), ambos expresados en mg.100g⁻¹.

Se utilizó el Software Statistical Package for Social Science (SPSS) versión 11.0 para el análisis exploratorio (Visauta, 1997) y el Statistical Analysis System (SAS), versión 8 (SAS, 1999) para los análisis de varianza, correlaciones y separación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados reportan que los frutos presentaron un peso promedio de 4,0 g; De y Dd de 21 y 16 mm, respectivamente, y una relación De/Dd de 1,33 correspondiente a una forma achatada (ver Figura). Con un promedio de una semilla por fruto y un rendimiento en jugo alrededor de 33% (Cuadro 1).

Con respecto a las determinaciones químicas, los frutos cosechados de color rojo brillante presentaron un pH alrededor de 3,19; con un contenido promedio de 8,0 °Brix en SST y 1,0 g 100 ml⁻¹ de ácido cítrico. La vitamina C tuvo un promedio de 34,5 mg 100 g⁻¹ de jugo, coincidiendo con Hoyos (1989), quien señala que esta vitamina en frutos de pitanga se encuentra entre 25 y 44 mg. 100g⁻¹; mientras que el de carotenoides estuvo cerca de 23 mg.100g⁻¹ (Cuadro 2).



a



b

FIGURA. Fruto de pitanga completamente maduro (a). Semillas del fruto en relación al fruto entero (b).

CUADRO 1. Caracterización física de frutos frescos de pitanga.

Planta	Peso fresco (g) ± EEM ^{1/1}	Diámetro ecuatorial (mm) ± EEM	Diámetro distal (mm) ± EEM	Relación De/Dd ± EEM	Número Semillas ± EEM	Rend. en jugo (% p/v) ± EEM
1	3,44 ± 0,32 b	19,80 ± 0,22 b	14,34 ± 0,21 b	1,39 ± 0,02 a	1,05 ± 0,03 a	37,0 ± 5,51 a
2	5,53 ± 0,60 a	23,68 ± 0,47 a	17,63 ± 0,31 a	1,35 ± 0,02 a	1,12 ± 0,06 a	34,2 ± 0,80 a
3	3,98 ± 0,69 ab	20,46 ± 0,46 b	14,76 ± 0,33 b	1,39 ± 0,03 a	1,10 ± 0,05 a	28,4 ± 7,48 a
X ²	4,32	21,01	15,81	1,33	1,09	33,2
Valor P ³	0,046	0,000	0,000	0,114	0,799	0,307
(1-b) ⁴	0,481	1,000	1,000	0,440	0,083	0,186
R ²	0,971	0,991	0,989	0,992	0,931	0,949

^{1/1} Error estándar de la media² Media³ Nivel de significancia.⁴ Poder de la prueba.

Aún cuando las determinaciones químicas se realizaron en los frutos de las tres plantas, no evidenciaron diferencias significativas (Cuadro 2), se encontró una relación inversamente proporcional entre el pH y la AT (-0,886**), ninguna entre la acidez y el contenido de azúcares expresado en °Brix. Sin embargo, el SST presentó una relación significativa directamente proporcional con el volumen de jugo en el fruto (0,700*) y en la vitamina C (Cuadro 3)

fue inversamente proporcional con el De de los mismos (-0,746*). Por tanto, se infiere que para esta fruta no climatérica, la proporción en el contenido de azúcares y acidez fue similar al momento de la cosecha, aún cuando el grado de desarrollo de los frutos se diferenció por diversos factores e influyó en el tamaño y contenido de jugo; afectando así, los procesos de acumulación o biosíntesis de compuestos como azúcares y vitaminas.

CUADRO 2. Caracterización física de frutos frescos de pitanga.

Planta	Sólidos solubles totales (°Brix) ± EEM ^{1/1}	Acidez titulable (g.100 ml ⁻¹) ± EEM	pH ± EEM	Vitamina C (mg.100 ml ⁻¹) ± EEM	Caretonoides (mg.100 ml ⁻¹) ± EEM
1	8,6 ± 0,18 a	0,98 ± 0,15 a	3,22 ± 0,12 a	3,25 ± 4,24 a	-
2	7,86 ± 0,22 a	1,16 ± 0,21 a	3,11 ± 0,10 a	38,52 ± 7,23 a	22,77
3	7,99 ± 0,23 a	0,96 ± 0,18 a	3,15 ± 0,12 a	29,87 ± 1,56 a	-
X ²	4,32	21,01	15,81	1,33	
Valor P ³	0,046	0,000	0,000	0,114	
(1-) ⁴	0,481	1,000	1,000	0,440	22,77
R ²	0,971	0,991	0,989	0,992	

^{1/1} Error estándar de la media² Media³ Nivel de significancia.⁴ Poder de la prueba.

CUADRO 3. Correlaciones entre parámetros físicos y químicos de frutos de pitanga.

	Diámetro ecuatorial	Diámetro distal	Rendimiento en jugo	Sólidos Solubles Totales	pH	Vitamina C
De	1	0,731**	0,041	0,022	-0,381	-0,746*
		0,000	0,910	0,799	0,278	0,021
Peso	0,719*	0,771**	0,027	0,269	-0,219	-0,380
	0,019	0,009	0,940	0,453	0,543	0,313
Volumen jugo	0,332	0,172	0,770**	0,700*	0,138	-0,334
	0,349	0,636	0,009	0,024	0,704	0,379
Acidez titulable	0,564	0,516	-0,033	-0,066	-0,886**	-0,378
	0,090	0,127	0,927	0,857	0,001	0,316

** Correlaciones significantes al 0,01

* Correlaciones significantes al 0,05

En cuanto a los carotenoides la cifra está asociada directamente a la presencia de β -carotenos o provitamina A, la pitanga se señala como uno de los frutos con mayor contenido del mismo (Porcu y Rodríguez-Amaya, 2008), impulsando diversas investigaciones.

Estudios realizados de esta fruta determinaron que los principales carotenoides presentes en pulpas congeladas de pitanga son el licopeno, las rubixantinas y las β -cryptoxanthinas (Filho *et al.*, 2008). No obstante, sus concentraciones pueden afectarse durante el procesamiento y por su grado de maduración (Porcu y Rodríguez-Amaya, 2008), constatándose en las evaluaciones realizadas las concentraciones de carotenoides totales para frutos de una misma planta que variaron de los cosechados de color naranja a rojos, como también la proporción de cáscara o piel del fruto que tuviera la muestra. En este sentido, el mayor contenido de carotenoides se determinó en frutos de color rojo con mayor proporción de cáscara (Cuadro 4).

En un estudio realizado sobre alimentos brasileños se obtuvo que sólo la pitanga presentó un contenido mayor a $20 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de β -cryptoxanthin (Rodríguez-Amaya, 2005), mientras que el contenido de licopeno estuvo en el orden de $16,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en pulpas congeladas y de $23,0$ a $25,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en jugos embotellados (Porcu y Rodríguez-Amaya, 2008).

Otros autores trabajaron con las especies vegetales subexplotadas en el Chaco argentino, quienes resaltaron el alto contenido de provitamina A (β -carotenos) de la pitanga salvaje con respecto a las comerciales que se sitúan alrededor de $11,98 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Freyre *et al.*, 2000). Por tanto, los resultados obtenidos en la presente caracterización físico-química de los frutos de pitanga, se encuentran entre los rangos reportados de la gran diversidad genética existente en la Amazonía como zona de origen (Villachica *et al.*, 1996) y con alto potencial para el comienzo de un programa de propagación, selección y clonación de materiales idóneos para el cultivo.

CUADRO 4. Diferencia en el contenido de carotenoides según color de fruto y proporción de muestra.

Carotenoides totales ($\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$) $\pm \text{EEM}^{/1}$		
Frutos naranja-rojos	Frutos rojos con más pulpa	Frutos rojos con más cáscara
$23,64 \pm 1,35 \text{ b}$	$10,91 \pm 2,44 \text{ c}$	$33,77 \pm 0,87 \text{ a}$

^{/1} EEM = Error estándar de la media

CONCLUSIONES

- Las características de tamaño, peso y color en los frutos de pitanga variaron de una planta a otra, mientras que la forma y número de semillas se mantuvo igual.
- No hubo diferencias significativas entre el color de los frutos provenientes de las tres plantas.
- Los frutos poseen alto contenido de carotenoides, pero su concentración es mayor en la cáscara.
- Es importante continuar trabajando en el cultivo a modo de determinar métodos de propagación para la multiplicación de materiales previamente seleccionados por de buena calidad de fruta y alta productividad.
- Las características organolépticas determinadas en los frutos de pitanga lo hace un cultivo promisorio para la promoción y extensión del cultivo hacia las comunidades, con la finalidad de su aprovechamiento de su potencial nutritivo como consumo fresco y procesado.

BIBLIOGRAFÍA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. Washington, D.C. 1298 p.
- Ewell, J. y A. Madriz. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Dirección de Investigación. Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). Caracas. 264 p.
- Filho, G., V. de Rosso, A. Meireles, R. Paulo, A. Oliveira, A. Mercadante y F. Cabral. 2008. Supercritical CO₂ extraction of carotenoids from pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). The Journal of Supercritical Fluids. 46:33-39.
- Franzon, R. 2008. Propagação vegetativa e modo de reprodução da pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) Tesis de Doctorado. Universidad Federal de Pelotas. Argentina. 100 p.
- Freyre, M., C. Baigorria, V. Rozycki, C. Bernardi y M. Charpentier. 2000. Vegetales silvestres subexplotados del Chaco argentino y su potencial como recurso alimenticio. ALAN. 50(4):394-399.
- Gomes, A. and M. Bezerra. 2009. Reproductive succes of four species of *Eugenia* L. (*Myrtaceae*). Acta bot. Bras. 23(2):526-534.
- Griffis, J., T. G. McDonald, V. E. Smith and M. M. Manners. 2009. *Eugenia uniflora* a nutritious, easy-to-grow fruit for the tropics. **In:** H. Jaenicke, J. Ganry, I. Hoeschle-Zeledon, R. Kahane Disponible en: http://www.actahort.org/members/showpdf?booknr=806_34
- Guadarrama, A. 1982. Cambios químicos y actividad respiratoria durante la maduración de frutos de semeruco, Maracay, Venezuela. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 87 p.
- Holdridge, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA. Serie: Libros y Materiales Educativos Nº 34. San José. 9 p.
- Hoyos, J. 1989. Frutales de Venezuela. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Monografía Nº 36, 174-175 pp.
- McCollum, J. P. 1953. A rapid method for determining total carotenoids and carotene in tomatoes. Pro. Amer. Hort. Sci. 61:431-433.
- Morton, J. 1987. Surinam cherry. **In:** fruits of warm climates. Miami, FL, 386-388 pp.
- Porcu, O. and D. Rodríguez-Amaya. 2008. Variation in the carotenoid composition of the lycopene-rich brazilian fruit *Eugenia uniflora* L. Plant food for human nutrition. 63(4):195-199.
- Ricciardi, A., J. Ruiz, G. Ricciardi y A. Agrelo. 1999. Sesquiterpeno aislado de los aceites esenciales de *Eugenia uniflora* L. y *Eugenia uniflora* var. Vermillion (Ñangapirí). Trabajo Especial. UNNE. Resúmenes ampliados en Actas Reun. Comun. Cient (ISBN 950-656-047-1). Argentina, 8: 97-99.
- Rodríguez-Amaya, D. 2005. Analysis and Composition of Brazilian Foods. **In:** Presentations to the consultation on the cross-cutting initiative on biodiversity for food and nutrition. Brasilia.
- Statistical Analysis system (SAS). 1999. Sas online. Version 8.0. Cary, NC. USA.

Schmall, M., C. W. Pifer and E. G. Wollish. 1953.
Determination of ascorbic acid by new colorometric
reaction. *An. Chem.* 25(10):1 486-1 490.

Villachica, H., J. E. Uran, C. Hans, C. Díaz y M. Almanza.
1996. *Frutales y Hortalizas Promisorios de la Amazonia.*
Tratado de Cooperación Amazónica. Lima. 44:228-230.

Visauta, B. 1997. *Análisis Estadístico con SPSS para
Windows. Estadística básica.* Ed. McGraw Hill/
Interamericana de España, 304 p.

NOTA TÉCNICA

EVALUACIÓN QUÍMICA DE PRECURSORES DE AROMA Y SABOR DEL CACAO CRIOLLO MERIDEÑO DURANTE LA FERMENTACIÓN EN DOS CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS

CHEMICAL EVALUATION OF AROMA AND FLAVOR OF PRECURSORS OF THE CRIOLLO MERIDEÑO COCOA DURING FERMENTATION IN TWO EDAFOCLIMATIC CONDITIONS

Alexis Zambrano*, Carlos Romero*, Álvaro Gómez**, Gladys Ramos**, Carlos Lacruz***, Maria del Rosario Brunetto*, Gallignani Máximo*, Lubin Gutiérrez* y Yelitza Delgado*

*Profesores. Universidad de Los Andes (ULA). Facultad de Ciencias. Estado Mérida. Venezuela.

Investigadores y *Técnico Asociado a la Investigación. INIA Mérida. Venezuela.

E-mail: alexiszve@yahoo.com.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó algunos parámetros asociados con los compuestos de aroma y sabor del cacao, *Theobroma cacao* L., Criollo Merideño (CM) cultivado bajo dos condiciones edafoclimáticas. Un primer lote establecido en el Campo Experimental San Juan de Lagunillas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Mérida), Venezuela, a una altura de 1 050 m.s.n.m con temperatura media anual de 26 °C y otro lote ubicado en la población Zea del mismo estado, a 850 m.s.n.m y 22 °C, respectivamente. Los análisis se efectuaron en muestras de cotiledones frescos durante el proceso de fermentación. En ambos casos se evaluó el porcentaje de: cascarilla, humedad, grasa y punto de fusión, contenido de ácidos volátiles, azúcares totales, polifenoles, purinas totales, teobromina, cafeína y pirazinas. Los resultados muestran que el cacao CM en San Juan de Lagunillas (SJL), presentó menor acidez titulable al inicio del secado y volátil al final de la fermentación, en comparación con el CM en Zea. Así mismo, se observó ligeras diferencias en el contenido de grasas, azúcares totales, pirazinas, cafeína y teobromina, lo que indica que las condiciones edafoclimáticas generaron cambios en el comportamiento químico de los precursores de aroma y sabor. Todos los parámetros químicos fueron corregidos en función de la humedad de la muestra durante el proceso de fermentación y relacionados con una muestra de cacao fermentado Forastero de Ghana.

Palabras Clave: azúcares; Criollo Merideño; fermentación; precursores de aroma; *Theobroma cacao* L.

SUMMARY

The present study evaluated some parameters associated with the aroma and flavor compounds in cocoa, *Theobroma cacao* L., Merideño Creole (MC) grown under soil and climatic conditions. A lot set in the Experimental Station of the San Juan de Lagunillas (INIA-Mérida), Venezuela at an altitude of 1,050 m.a.s.l. and average annual temperature of 26 °C and another in the town of Zea, Zea municipality of Mérida and 850 m.a.s.l. 22 °C average temperature. Tests were conducted on samples of fresh cotyledons during the fermentation process. Both cases evaluated the percentage of fiber, moisture, fat and its melting point, content of volatile acidity, total sugars, polyphenols, total purines, theobromine, caffeine and pyrazine. The results show that the MC cacao in San Juan of Lagunillas, a low acidity at the start of drying compared to MC in Zea as well as a less volatile acidity at the end of fermentation. It was also noted slight differences in fat content, total sugars, pyrazine and content of caffeine and theobromine, indicating that soil and climatic conditions have led to changes in the chemical behavior of the precursors of aroma and flavor. All chemical parameters were corrected according to the moisture of the sample during the fermentation process and were associated with a sample of fermented cocoa of Ghana.

Key Words: aroma precursors; fermentation; Merideño Creole; sugars; *Theobroma cacao* L.

RECIBIDO: febrero 02, 2010

ACEPTADO: septiembre 19, 2010

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mercado del cacao, *Thebroma cacao* L., resulta cada vez más exigente en cuanto a la uniformidad y las características aromáticas de la almendra. De este modo, se abren nuevas oportunidades para los productores e investigadores en este rubro.

A los productores se les permitirá ofrecer un producto de calidad definida, capaz de satisfacer las necesidades del cliente y a los investigadores les brindaría un campo que aunque no es nuevo, aún requiere estudios detallados para definir criterios de calidad confiables y reproducibles (Cros y Jeanjean, 1995).

En este sentido, el beneficio de la postcosecha representa una de las etapas de mayor relevancia en la formación de compuestos de aroma y sabor, siendo la fermentación fundamental para los precursores de aroma. Esta etapa incluye dos fenómenos distintos pero no independientes.

El primero es una fermentación microbiana de la pulpa que contribuye a degradar el mucílago presente alrededor de las almendras de cacao; y el segundo es un conjunto de reacciones bioquímicas internas en las mismas que conducen a una modificación de la composición fenólica, a la formación de los precursores de aroma que se consumirán en el tostado y a la formación de una fracción volátil.

Algunos autores indican que los aminoácidos y azúcares reductores resultaron ser los precursores del sabor y aroma del cacao, formando estos compuestos las pirazinas luego de un tratamiento térmico por la reacción de Maillard (Cros y Jeanjean, 1995).

En ese sentido, el contenido de azúcares reductores puede significar un criterio para evaluar el proceso de fermentación del cacao. Además, los azúcares reductores como la fructosa y glucosa representan no más del 25% del contenido inicial de sacarosa después de la fermentación. De este modo, la fructosa (0,2-0,4%) fue superior a la glucosa (0,07-0,1%).

Por otra parte, los contenidos de fructosa y glucosa son bajos pero equivalentes para granos, poco o no fermentados, mientras que el tostado del cacao bien fermentado produce un consumo prácticamente total de los azúcares reductores y de aminoácidos (Rohan y Stewart, 1967; Biehl *et al.*, 1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de los ensayos

Fue realizado en un Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Estado Mérida (INIA Mérida), en una parcela de establecimiento del cacao CM en SJL, ubicada geográficamente en Los Andes venezolanos, formando parte de la cuenca media inferior del río Chama, municipio Sucre. El área de estudio se sitúa entre las coordenadas 8°28'30" y 8°32'00" LN, entre los 71°19'00" y 71°22'30" LO a una altitud de 1 150 m.s.n.m.

La topografía en general se encuentra influenciada por el control estructural proveniente de la falla de Boconó, presentándose una fosa tectónica entre el Páramo El Tambor y las estribaciones de la Sierra Nevada. En la localidad San Juan de Lagunillas, se distinguen dos grandes unidades de relieve: la unidad de vertiente, ubicada principalmente al Norte del área con pendientes mayores al 30% y la unidad de fondo de valle, la cual es producto de las acumulaciones provenientes tanto del río Chama como de las diversas quebradas afluentes del mismo.

Estas acumulaciones poseen pendientes promedio de 30% en las terrazas viejas y del 8% en las terrazas recientes (Concha e Izquierdo, 1982). El campo experimental se encuentra dentro de los rangos de pendiente de 5 a 12%, caracterizado por ser inclinado, de forma plana, localizado en los conos terraza y con una superficie desigual.

De acuerdo a las condiciones geomorfológicas el Campo Experimental San Juan de Lagunillas del INIA Mérida, descansa sobre sustratos de origen coluvial, como son los torrentes de detritus o lava torrencial, cuya característica principal es una matriz compacta de sedimentos arcillosos con inclusiones de bloques subangulares. Este material parental le confiere a los suelos una textura gravosa de media a fina, franco arcillosa y arcillosa, debido a las condiciones hidroclimáticas del municipio Sucre. Estas texturas permiten retener las pocas precipitaciones, las cuales no exceden los 600 mm anuales, mostrando un déficit durante todo el año (Concha e Izquierdo, 1982).

Con respecto a la temperatura, existe una moderada variabilidad de este parámetro, debido a que las condiciones topográficas proporcionan una marcada diferencia en la zona, creando el efecto de corrientes de aire (bolsón semiárido de San Juan de Lagunillas), que arrastran la humedad presente en el ambiente, la cual precipita en

los alrededores de Tabay y La Mucuy. Como consecuencia, las temperaturas oscilan entre los 18 y 30 °C, determinando una amplitud térmica entre 12 y 14 °C, condición que favorece la adaptación de cultivos de almacenamiento como la caña panelera.

Por otra parte, el período más seco se ubica entre diciembre y marzo, durante el cual ocurren las menores precipitaciones y corresponde con un descenso de las temperaturas, siendo este período más fresco que el comprendido entre junio y agosto donde se registran las mayores precipitaciones. Se observa que la evapotranspiración supera durante todo el año la precipitación, traduciéndose en un déficit anual de agua de 116 mm, cuando el suelo no llega en ningún momento a cubrir por completo la evapotranspiración potencial.

Por consiguiente, se hace necesario la aplicación de riego oportuno, uniforme y eficiente que permita almacenar una lámina de agua en el volumen de suelo ocupado por las raíces (Gurovich, 2001) de acuerdo a su estado fenológico. Cabe destacar que el Campo Experimental San Juan de Lagunillas posee un sistema de riego que le permite controlar los problemas de déficit de agua.

Cacao Criollo Merideño en Zea: ubicado en la calle 4, N° 895, Quinta Eluí en la población de Zea, municipio Zea del estado Mérida a una altura de 850 m.s.n.m. y temperatura media de 21,9 °C. Geográficamente el área de estudio se sitúa entre 08°22'83" LN y 71°46'95" LO. Su geomorfología corresponde a abanicos aluviales coalescentes y la unidad geomorfológica en la cordillera de Los Andes. El tipo de relieve es de valle. La forma del terreno es plana con pendiente < 2%.

Igualmente, los suelos son ácidos con pH cercanos a 5,1; además, exhiben bajos contenidos de materia orgánica (3,05%) y capacidad de intercambio catiónico (18,6 C-moles kg⁻¹). Presentan una textura franco arcillo arenosa con drenajes internos y externos rápidos. En cuanto al clima, presenta una precipitación media anual entre 1 102 y 1 335 mm y una temperatura media de 21,9 °C. El tipo de paisaje es montañoso, donde la vegetación de la zona está compuesta principalmente por cacao CM e híbridos, parchita, café, cambur, aguacate, naranja y yuca, así como, sombra permanente de cambur, aguacate, naranja y bucare.

Entre las limitaciones agronómicas más importantes se destaca la escasa profundidad y pedregosidad variable donde en ciertos sectores existe una capa de grava y piedras a una profundidad de 20 cm.

Muestra vegetal

Cacaos criollos: CM en SJL procedente del Campo Experimental San Juan de Lagunillas, municipio Sucre y CM en Zea derivado del terreno de la familia Benavides, municipio Zea, ambos del estado Mérida.

Forastero: cacao de Ghana (muestra referencial) suministrado por Guittard Chocolate Company.

Preparación de la muestra: una vez cosechado el cacao las semillas se sometieron a un proceso de fermentación durante 3 d. Este último proceso se realizó por triplicado en cajones de madera de 60 cm³ durante un año, bajo condiciones de laboratorio. El volteo de la masa fermentante se realizó cada 24 h. Posteriormente, se efectuó el proceso de secado durante 6 d. Una vez que se secaron las muestras, se tomaron tres réplicas a las que se le aplicaron los diferentes análisis físico-químicos.

La muestra Forastero de Ghana se trató como los demás cacaos una vez concluido el proceso postcosecha. Seguidamente, se molieron, tamizaron (≤ 42 mesh) y se desgrasaron de acuerdo al método de extracción con Soxhlet (IOCCC, 1996), almacenando las muestras a -20 °C para su conservación y análisis.

Para la determinación de polifenoles totales se empleó el método de Azul Prusiano (Budini *et al.*, 1980), los azúcares totales se determinaron por los métodos de fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). Las purinas totales (teobromina, cafeína y teofilina) se determinaron por el método de extracción con agua caliente (IOCCC, 1988). Para el análisis cromatográfico de purinas se utilizó un cromatógrafo líquido de alta resolución con detector UV-arreglo de diodos y con limpieza de la muestra en línea, aplicando un sistema de columnas acopladas en la modalidad de transferencia indirecta.

La extracción de los analitos se realizó en una precolumna fabricada en el laboratorio de 50 x 4,6 mm empacada con una fase sílice C₁₈ (Alltech), de diámetro de partícula de 35 a 750 μ m. Finalmente, 0,01 g del polvo desgrasado se sometió a un proceso de extracción con 10 ml de H₂O hirviendo durante 20 min. La solución se dejó enfriar a temperatura ambiente, se centrifugó a 3 000 g y el sobrenadante se hizo pasar a través de un filtro Millipore de 45 μ m de diámetro de poro. Seguidamente, 10 μ l de esta solución se inyectó en el sistema cromatográfico.

Preparación de licores de cacao: la preparación del licor de cacao incluyó el tostado en estufa de circulación

forzada de aire. Las muestras de cacao CM se tostaron a 110 °C durante 20, 25 y 30 min y la muestra referencial de Ghana fue tostada a 145 °C por 30 min, de acuerdo a la metodología propuesta por Sukha *et al.*, 2007.

Por consiguiente, las semillas de cacao se fragmentaron y descascarillaron usando un molino de café de uso doméstico. Posteriormente, las almendras tostadas se rompieron hasta obtener trozos (nibs) de tamaño 0,5-0,25 cm, separándolos de la cáscara en un descascarillador de cacao marca John Gordon International. Simultáneamente, los nibs se molieron en un mortero (modelo 0, Pascall Co., UK) que se calienta inicialmente a 40 °C con una pistola de aire caliente (Black and Decker). La fabricación tuvo una duración de 90 min permitiendo que se formara un buen licor, luego fueron almacenados a -20 °C en envases plásticos estériles de 120 ml de capacidad.

Para la determinación de pirazinas se realizó sobre muestras de licor de cacao, en este caso el tostado de las almendras se realizó a un tiempo y temperatura definidas de acuerdo a las características de tamaño de las semillas, se estableció 110 °C por 25 min de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por Guittard Chocolate Company, mientras que el cacao de Ghana se tostó a 145 °C por 30 min, mediante el acoplamiento instrumental utilizando un automuestreador automático de espacio de cabeza (EC, Perkin Elmer HS - 40) conectado a través de una transferencia capilar termostatazada al inyector de un cromatógrafo de gases (CG) VARIAN 3800.

La columna capilar seleccionada fue de sílice fundida de polietilenglicol AV - WAX (VARIAN) de 30 m x 0,25 mm de diámetro interno y con un espesor de película de 0,25 mm y el detector un espectrómetro de masas VARIAN Saturno 2000, utilizando He como gas portador a un flujo de 1,0 ml.min⁻¹.

Para ello, se realizó la extracción sólido-gas de los analitos en un vial de 22 ml de capacidad del EC. Se pesó 0,30 g de polvo de cacao previamente homogeneizado y se añadió 0,60 ml de metanol, el vial se cerró herméticamente, se agitó en un vortex por 1 min para asegurar proceso de la muestra y se termostató a 105 °C durante 15 min. Finalizado el tiempo de este último, el vial se presurizó 3 min con N₂ para facilitar la inyección del espacio de cabeza en la columna durante un tiempo de 0,08 min.

La separación de las pirazinas en la columna cromatográfica se llevó a cabo utilizando las siguientes condiciones de trabajo: programa de temperatura del horno 50 °C (2 min) a 70 °C (1 min) con una velocidad de

calentamiento de 10 °C.min⁻¹, luego a 120 °C (1 min) a 4 °C.min⁻¹ y por último a 200 °C (10 min) a 20 °C.min⁻¹. La temperatura del inyector se fijó a 220 °C. El modo de inyección empleado fue splitless con un tiempo de apertura de la válvula de 0,40 min y el detector de masas se operó bajo la modalidad de impacto electrónico utilizando 220, 50 y 220 °C como temperatura para la trampa, el manifold y la línea de transferencia, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el caso del cacao CM en SJL durante la fermentación, la temperatura máxima alcanzada en los dos tipos de cacao estudiados osciló entre 45 y 50 °C. El porcentaje de cascarilla no superó el 13,5% en peso de la almendra. Se consiguió que el pH en la testa al final del proceso fue 4,66 y en cotiledones 4,71 (Cuadro 1). Este cacao presentó menor acidez titulable al inicio del secado en comparación con el CMZ, así como, una menor acidez volátil (alrededor de 18 mg CH₃COOH) al final de la fermentación (Cuadro 2).

El CM en Zea presentó mayor contenido de grasa (cercano al 53%), mientras que el CM en SJL no superó el 50%, aunque los puntos de fusión resultaron ser iguales, indicando que la dureza de la manteca de cacao en ambos casos fue similar. Sin embargo, los niveles de grasa se vieron afectados por las condiciones edafoclimáticas. Resultados similares indicó Wintgens (1991) al evaluar la influencia de los factores genéticos y las condiciones agroclimáticas sobre la calidad de diferentes tipos de cacao en varios países.

Mediante la determinación de los compuestos precursores de aroma en el cacao CM en SJL, se obtuvo el 30,92 mg glucosa.gm⁻¹ como azúcares totales, mientras que en las purinas totales (cafeína, teobromina y teofilina) un 2,38% de teobromina. Finalmente, se evaluó los niveles totales de compuestos fenólicos y sus principales clases: cianidinas, procianidinas y flavanoles. Se alcanzó el 47,71 mg ácido gálico.g⁻¹ como polifenoles, al mismo tiempo que las cianidinas no superaron el 0,53 mg cianidina.g⁻¹ y las procianidinas el 47,47 mg cianidina.g⁻¹, para los dos cacaos CM estudiados. En el cacao Forastero de Ghana, estos valores fueron superiores (Cuadro 3).

Cabe destacar, que los polifenoles están directamente relacionados con la astringencia del cacao (Sukha *et al.*, 2006). Estos resultados corresponden con los obtenidos por Elwers *et al.*, 2009 cuando señalan que los cacaos criollos no tienen o casi no tienen antocianinas.

CUADRO 1. Análisis físico-químicos del cacao Criollo Merideño en San Juan de Lagunillas, fermentado y seco.

Variable	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	CV
Cascarilla	Contenido (%)	11,30	12,12	9,52	0,12
Acidez	pH testa	4,26	4,58	4,30	0,04
	pH cotiledón	6,23	4,70	5,37	0,14
	Acidez titulable (meq NaOH.gm ⁻¹)	1,00	2,90	1,91	0,49
	Acidez volátil (mg CH ₃ COOH.gm ⁻¹)	8,24	4,83	4,17	0,38
Polifenoles	Polifenoles totales (mg ácido gálico.g ⁻¹)	44,56	33,97	24,09	0,3
	Flavonoles totales (mg catequiza.g ⁻¹)	33,14	26,17	28,49	0,12
	Cianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	0,56	0,50	0,54	0,06
	Procianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	57,05	45,99	39,36	0,19
Purinas	Purinas totales (% teobromina)	2,82	1,95	2,40	0,18
	Teobromina (%)	1,79	1,38	1,60	0,13
	Cafeína (%)	0,99	0,63	0,81	0,22
	Relación teobromina/cafeína	1,81	2,19	1,98	0,1
Azúcares	Azúcares totales (mg glucosa.gm ⁻¹)	25,04	28,44	35,32	0,16
Grasa	Contenido (%)	48,22	47,96	51,59	0,04
	Punto de fusión (°C)	32,50	32,40	32,70	0,05

CV: Coeficiente de variación

gm: Gramo de muestra

En cuanto al contenido de purinas totales, el cacao CM en SJL fermentado y seco mostró 2,38 mg teobromina.gm⁻¹, mientras que el cacao CM en Zea presentó una concentración media de 2,52 mg teobromina.gm⁻¹. Respecto a la relación teobromina/cafeína en función de la concentración de cafeína se encontró que el cacao CM en Zea arrojó menor relación teobromina/cafeína que el cacao CM en SJL. Dicha relación no permitió diferenciar entre los dos tipos de cacaos, pero sí entre éstos y el cacao Forastero de Ghana (Cuadro 3), indicando que dichos cacaos son genéticamente iguales. Sin embargo, las diferencias edafoclimáticas afectaron la concentración de compuestos precursores de aroma, como el caso de los azúcares polifenoles, también los ácidos volátiles y no volátiles.

En la Figura, la curva indica que los CM están agrupados en la parte inferior derecha con relaciones teobromina/cafeína menores a dos, mientras que el cacao Forastero de Ghana presenta valores superiores a ocho, siendo la zona entre dos y seis la ubicación del cacao Trinitario. Así mismo, se encontró que no existen diferencias entre los resultados de purinas totales por colorimetría y la sumatoria de metilxantinas obtenidas por cromatografía

líquida de alta resolución en el método desarrollado. En estudios similares Davrieux *et al.* (2004) muestran que existe relación entre el contenido de metilxantinas y el genotipo del cacao.

Con relación a los licores se evaluaron los niveles de los compuestos volátiles (2-metil pirazina; 2,5-dimetil pirazina; 2,6-dimetil pirazina; etil pirazina; 2,3-dimetil pirazina; 2,3,5-trimetil pirazina y 2,3,5,6-tetrametil pirazina), tal como demuestra el Cuadro 4. Por otra parte, se observó que en ninguno de los cacaos CM se halló la etil pirazina, mientras que en el cacao Forastero de Ghana, aún cuando se encontró en concentraciones bajas, estuvo presente en todas las evaluaciones.

En este sentido, se podría inferir que la etil pirazina podría ser utilizada como criterio para distinguir entre el cacao Criollo y el Forastero. No obstante, la diferencia de área de pico (concentración) de los distintos compuestos volátiles, no sólo están asociadas al tipo de cacao, sino también a la temperatura y tiempo de tostado, las cuales a su vez dependen del material genético en estudio (Sukha *et al.*, 2006).

CUADRO 2. Análisis físico-químicos del cacao Criollo Merideño en Zea, fermentado y seco.

Variable	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	CV
Cascarilla	Contenido (%)	13,35	12,99	13,48	0,02
Acidez	pH testa	4,65	4,79	4,55	0,03
	pH cotiledón	4,73	4,90	4,51	0,04
	Acidez titulable (meq NaOH.gm ⁻¹)	2,94	2,38	3,35	0,17
	Acidez volátil (mg CH ₃ COOH.gm ⁻¹)	16,80	18,47	7,43	0,42
Polifenoles	Polifenoles totales (mg ácido gálico.g ⁻¹)	44,56	53,23	43,30	0,11
	Flavanoles totales (mg catequiza.g ⁻¹)	37,08	24,97	33,2	0,2
	Cianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	0,53	0,47	0,5	0,06
	Procianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	50,86	42,70	46,8	0,09
Purinas	Purinas totales (% teobromina)	2,69	2,61	1,84	0,2
	Teobromina (%)	1,37	1,36	1,24	0,06
	Cafeína (%)	0,72	0,77	0,75	0,03
	Relación teobromina/cafeína	1,90	1,77	1,65	0,07
Azúcares	Azúcares totales (mg glucosa.gm ⁻¹)	31,20	31,32	30,25	0,02
Grasa	Contenido (%)	43,92	56,32	44,35	0,15
	Punto de fusión (°C)	31,80	32,80	32,40	0,02

CV: Coeficiente de variación
gm: Gramo de muestra

CUADRO 3. Análisis físico-químicos del cacao Forastero de Ghana, fermentado y seco.

Variable	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	CV
Cascarilla	Contenido (%)	11,87	11,12	0,04
Acidez	pH testa	5,05	5,11	0,01
	pH cotiledón	5,55	5,52	0,004
	Acidez titulable (meq NaOH.gm ⁻¹)	1,75	2,08	0,12
	Acidez volátil (mg CH ₃ COOH.gm ⁻¹)	7,30	3,62	0,48
Polifenoles	Polifenoles totales (mg ácido gálico.g ⁻¹)	53,64	66,37	0,15
	Flavanoles totales (mg catequiza.g ⁻¹)	38,42	11,72	0,75
	Cianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	2,49	2,30	0,06
	Procianidinas totales (mg cianidina.g ⁻¹)	76,48	78,83	0,02
Purinas	Purinas totales (% teobromina)	2,56	2,47	0,03
	Teobromina (%)	2,15	2,29	0,05
	Cafeína (%)	0,19	0,20	0,04
	Relación teobromina/cafeína	11,32	12,05	0,04
Azúcares	Azúcares totales (mg glucosa.gm ⁻¹)	15,47	25,24	0,34
Grasa	Contenido (%)	50,10	50,34	0,003
	Punto de fusión (°C)	30,7	33,4	0,06

CV: Coeficiente de variación
gm: Gramo de muestra

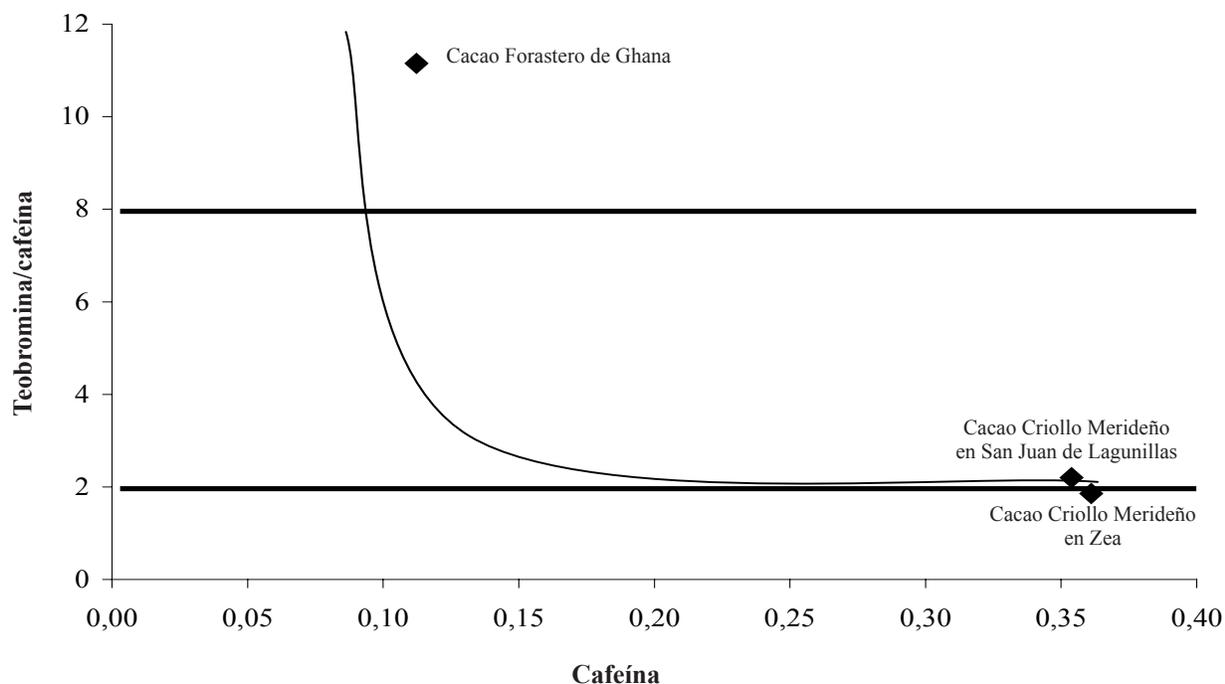


FIGURA. Clasificación de los diferentes tipos de cacao en función del genotipo.

Por lo tanto, los resultados obtenidos demuestran un incremento de la concentración de las pirazinas a medida que transcurre el tiempo y la temperatura de torrefacción. En términos generales se evidenció que el cacao CM en Zea, presentó menores contenidos de pirazinas en el cacao CM en SJL. Lo anterior indica que probablemente su concentración se ve influenciada por factores tales como el tiempo, temperatura de tostado, la concentración y tipo de aminoácidos, los cuales son variables importantes a ser consideradas en futuras investigaciones.

Análisis estadístico: en la determinación de teobromina y cafeína, la linealidad del ensayo se realizó con ocho puntos de la curva de calibración preparada por dilución de los analitos en agua y con cacao en polvo enriquecida con teobromina y cafeína para concentraciones desde 2,0 a 20,0 y 1,0 a 10,0 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, respectivamente. En las curvas de calibración no se consiguió diferencia significativa ($P < 0,05$) dado que no hay interferencias de matriz. La concentración más baja que se pudo cuantificar con exactitud y precisión, fue de 0,50 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ para la teobromina y la cafeína. Por otra parte, el límite de detección fue de 0,10 μg para la teobromina y cafeína por cada mililitro, usando 20 μl de extracto en la inyección.

Por otra parte, la aplicación de la prueba de Duncan a los parámetros físicoquímicos señala que existen diferencias significativas mayores al 5% entre los distintos tipos de cacao, especialmente en lo referente al contenido de pirazinas.

CONCLUSIONES

- El método propuesto permite determinar el contenido de metilxantinas en muestras de cacao fermentadas y no fermentadas.
- La determinación de la relación teobromina/cafeína permitió clasificar los cacaos de acuerdo a su genotipo en la forma clásica de forasteros y criollos.
- Los cacaos estudiados pueden ser genéticamente iguales, pero las diferentes condiciones edafoclimáticas condicionan ciertos parámetros, tales como: polifenoles, contenido de purinas totales, grasa, azúcares y pirazinas.
- La presencia de etil pirazina podría ser utilizada como criterio para diferenciar entre cacao fino (Criollo) y cacao común (Forastero).

CUADRO 4. Áreas de pico de licores de cacao Forastero Ghana, Criollo Merideño (CM) procedentes de San Juan de Lagunillas (SJL) y Zea, bajo diferentes condiciones de torrefacción de acuerdo al tipo de cacao.

Tipo de cacao	Condiciones torrefacción	2 Metil pirazina	2,5 Dimetil pirazina	2,6 Dimetil pirazina	Etil pirazina	2,3 Dimetil pirazina	2,3,5 Trimetil pirazina	2,3,5,6 Tetrametil pirazina
Ghana	145 °C x 30 min	737453	1328733	401910	180197	306797	1577173	14696233
CM en SJL	110 °C x 25 min	92103	136250	43793	0	120273	535867	6281463
	110 °C x 30 min	97287	138590	45577	0	165520	888793	6706070
CM en Zea	110 °C x 25 min	931757	62637	75427	0	75467	531100	3783510
	110 °C x 30 min	302503	270873	72233	0	241950	993913	5948523

AGRADECIMIENTO

Al Proyecto ICCO-CFC-INIAP-INIA, para establecer parámetros físico-químicos y organolépticos para diferenciar entre cacao fino y ordinario.

BIBLIOGRAFÍA

- Biehl, B., B. Meyer, G. Crone and L. Pollenn. 1989. Chemical and physical changes in the pulp during ripening and post harvest storage of cocoa pods. *J. Sci. Food Agric.* 48:189-208.
- Budini, R., D. Tonelli and S. Cirotti. 1980. Analysis of total phenols using the Prussian blue method. *J. Agric. Food Chem.* 28:1 236-1 238.
- Concha, M. y S. Izquierdo. 1982. Clasificación de tierras con fines agrícolas (Aplicación del índice de Storie) sector San Juan de Lagunillas. ULA. Mérida-Venezuela. 91 p.
- Cros, E. and N. Jeanjean. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement.* 24:25-27.
- Davrieux, F., S. Assemat, R. Boulanger and E. Cros. 2004. Determination of cocoa purine content by near infrared spectroscopy. XIV international conference of investigation of the cocoa, Ghana, Poster Presentation.
- Dubois, M., K. Gilles, J. Hamilton, P. Robers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-355.
- Elwersl, S., A. Zambrano, C. Rohsius and R. Lieberei. 2009. Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed (*Theobroma cacao* L.). *Eur Food Res Technol.* 229:937-948.
- Gurovich, R. L. A. 2001. Riego. **In:** Agenda del Salitre. Sociedad Química y Minera de Chile S.A. 11ed. edición. Capítulo V. 139-172 pp.
- International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confectionary (IOCCC). 1988. Determination of purines in cocoa and cocoa products. *Analytical Method N° 28.*
- International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confectionary (IOCCC). 1996. Determination of the Fat Content of Cocoa Powder by Soxhlet Extraction. *IOCCC. Analytical Method N° 37.*
- Rohan, T. and T. Stewart. 1967. The precursors of chocolate aroma: production of reducing sugars during fermentation of cocoa beans. *J. Food. Sci.* 32:399-401.
- Sukha, D. A., D. R. Butler, F. Amores, J. C. Jimenez, G. Ramos, A. Gomez, A. Zambrano, N. Hollywood and J. Ravushiro. 2006. The CFC/ICCO/INIAP cocoa project "To establish the physical, chemical and organoleptic parameters to differentiate between fine and bulk cocoa" – some highlights from the organoleptic component. Presented at the 15th ICRC, San José, Costa Rica.
- Sukha, D. A., D. R. Butler, P. Umaharan and E. Boulton. 2007. The use of an optimised organoleptic assessment protocol to describe and quantify different flavour

attributes of cocoa liquors made from Ghana and Trinitario beans. *Eur Food Res Technol.* 226:405-413.

Wintgens, J. N. 1991. Influence of genetic factors and agroclimatic conditions on the quality cocoa. II International congress on cocoa and chocolate. Munich, Alemania, 55 p.

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Venezuela Instrucciones para los Autores

Agronomía Tropical publica trabajos originales producto de la investigación en el área de la agronomía. Se reconocen por trabajos originales aquellos que son producto de la investigación o experimentación, que tienen como objetivo concreto desarrollar nuevos conceptos o tecnologías y adaptar las existentes a las condiciones locales.

El envío de trabajos a **Agronomía Tropical** implica que no han sido presentados para su publicación en otra revista.

Los trabajos cortos, que describen técnicas experimentales, equipos, fenómenos naturales, o especies nuevas, serán publicados en la revista como **notas técnicas**. También se aceptan reseñas de libros recientemente publicados.

Manuscritos

Se requieren un original y tres copias legibles, transcritas a doble espacio en papel blanco tamaño carta (28,0 x 21,5 cm), utilizando una sola cara con márgenes de 2 cm en la parte superior y 3 cm en los demás lados. Las páginas deben ser numeradas consecutivamente. La versión final del trabajo, en la cual se han acogido las observaciones de los revisores, deberá remitirse tanto en un original transcrito, como archivado en un CD archivado en el programa MS Word, Open Office Writer.

Los manuscritos también pueden enviarse vía correo electrónico a las siguientes direcciones de la revista: agrotrop@inia.gov.ve - agrotropi@yahoo.com.

La secuencia en la presentación de un trabajo es como sigue: título en español e inglés, resumen y summary, autor(es), palabras clave, introducción la cual debe incluir la revisión de literatura, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones (si hubiere), agradecimiento (si hubiere) y bibliografía.

Los títulos de cada una de las partes del trabajo deben insertarse en el texto en letras mayúsculas y en el centro de la página.

La extensión del trabajo no debe exceder de 25 páginas a doble espacio, incluyendo en ellos cuadros, figuras y

referencias. Junto al manuscrito es necesario anexar una carta de Fe, donde se declare que el trabajo no ha sido presentado en ningún otro medio.

Una vez aceptado el manuscrito se le enviará la comunicación oficial de aprobación con la ubicación relativa donde será incluido en la revista **Agronomía Tropical**.

Título. Escrito en letras mayúsculas, debe ser claro y conciso, procurando no excederse de 20 palabras. Debe identificar y describir concretamente el contenido del trabajo, sin abreviaturas. Sólo deben incluirse los nombres comunes de plantas, insectos, entre otros, cuando se requiere, dejando como palabra clave el nombre científico de los mismos.

Autor(es). Primer nombre completo, inicial del segundo y apellidos completos. Después de los nombres se usarán asteriscos (*) para identificar al pie de página el cargo, la institución, dirección postal donde trabajan y correo electrónico. Debe usar el nombre completo de la institución con la abreviatura o sigla entre paréntesis. Así mismo, puede identificarse si es necesario, la institución que financió el trabajo, o si es parte de una tesis de grado.

Resumen. Debe tener un máximo de 250 palabras (150 para las Notas), en un sólo párrafo. Específicamente debe exponer cuál es el objetivo del trabajo, cómo se realizó, los resultados cuantitativos más relevantes, porqué son relevantes y la conclusión. Los entes biológicos y los suelos deben ser identificados por sus nombres científicos cuando son mencionados por primera vez en el resumen y en el summary la primera vez que aparezcan en el cuerpo del trabajo, tanto en castellano como inglés, y no deben repetirse en el cuerpo del artículo.

Palabras Clave. Son aquellas que permiten identificar el tópico que se discute en el texto y que faciliten la elaboración del índice de materias, tratando de no repetir las que se usen en el título. Debe incluir los nombres científicos de los entes biológicos.

Introducción. Debe estar formada por una breve referencia de los antecedentes que motivaron a la realización del trabajo; igualmente, puede incluirse la revisión de literatura con las investigaciones más recientes que

aporten ideas fundamentales para la realización del trabajo. También incluirá el objetivo del mismo. Para las referencias bibliográficas se usará el sistema de apellidos del primer autor y el año de publicación.

Materiales y Métodos. La presentación debe ser clara y concreta, siguiendo un ordenamiento lógico de las técnicas empleadas en la investigación y los materiales utilizados. Los procedimientos analíticos y estadísticos usados deberán ser descritos claramente o citados como referencias bibliográficas.

Resultados y Discusión. Esta sección debe satisfacer los objetivos que se señalaron en la introducción, manejando la información cuantitativa a través de cuadros o figuras a fin de transmitir en forma clara el significado de los resultados obtenidos. Es necesario el uso de la estadística para verificar la validez de los resultados, cuando así se requiera. La discusión de los datos deberá hacerse basada en los soportes disponibles en la literatura.

Agradecimiento. Se utilizarán para reconocer a aquellas personas que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia técnica. Igualmente, para reconocer a las instituciones que han brindado apoyo financiero a la investigación se debe anexar al pie de página en la primera parte del trabajo, es decir, debajo de las palabras claves, indicando la llamada número 1 al terminar el título e incluyéndose, debajo de la página del resumen.

Cuadros. Cada cuadro se presentará en hoja separada, colocada a continuación del texto donde se haga alusión a él por primera vez, y seguirán la paginación del texto. El contenido de los cuadros no debe ser duplicado en las figuras. Los asterísticos se usarán para mostrar el nivel de significancia estadística de 0,05 (*), 0,01 (***) y 0,001 (****); los asteriscos deben ir acompañados del nombre de la prueba estadística realizada. Para otras llamadas deberán utilizarse otros símbolos. El título del cuadro debe ser concreto y expresar el contenido del mismo. Los cuadros deben ser elaborados utilizando la tabla del programa Words, Harward Graphic o Excel.

Figuras. Se entiende por figura cualquier ilustración que se incluya en el trabajo (gráficos, dibujos, fotografías, esquemas, mapas). Estas no deben ser una duplicación de la información de los cuadros. Las figuras pueden dibujarse a mano alzada con tinta china en papel albanene, o elaboradas con un Software y reproducidas en impresora láser. De ser posible, use figuras de 1/2 página (9 x 11 cm). No es deseable usar letras mayúsculas en el título el cual debe colocarse en la parte inferior de la figura.

En caso de usar fotografías, las leyendas se describirán en hoja aparte, con el respectivo número de la figura. Se requieren los negativos o diapositivas, marcadas por detrás con lápiz suave, con el número de la figura y el título del artículo.

Para las fotografías y otros dibujos digitalizados, deberán procesarse en formato TIFF o JPG (cmyk). En cuanto a los gráficos (líneas, barras, tortas...) se recomienda utilizar los programas Power Point, Harward Graphic o Excel, con la información adjunta la cual se elabora la figura, de tal manera que cuando se requiere pueda ser modificada en la composición de la revista. No use innecesariamente figuras tridimensionales.

Debe evitar el uso del color en los gráficos y demás figuras, ya que esto encarece la edición de la revista. De requerirse el uso del color en las fotografías, agrúpelas y enumérelas secuencialmente.

Bibliografía. Sólo deben ser incluidas publicaciones que estén disponibles en las bibliotecas; las comunicaciones personales serán citadas en el texto al pie de página indicando el nombre completo y la dirección del autor de la comunicación, el año en que se produjo. Las citas bibliográficas deben ser ordenadas alfabéticamente siguiendo el siguiente esquema:

- **Artículos de revistas:** autor(es), colocar el apellido del primer autor y luego la inicial del nombre, para los otros autores, primero la inicial del nombre y luego el apellido (en mayúscula); año de la publicación; título del artículo; abreviatura del nombre de la revista; volumen; página inicial y final del artículo.
- **Libros y folletos:** autor(es), año de la publicación, título, editor o traductor, número de la edición, lugar de la publicación (ciudad), casa editorial, paginación y serie.
- **Artículos en una publicación colectiva:** autor(es), año de la publicación, título del artículo, preposición latina **In** subrayada o en negrita, y seguida de dos puntos (:) y luego la referencia completa del libro.
- **Tesis:** autor, año, título, la palabra tesis, el grado académico en forma abreviada y en el mismo idioma en que está redactada la tesis, ciudad, país, universidad, facultad y número de páginas.

Dos o más artículos del mismo autor(es) deben ser ordenados cronológicamente, en caso de ser del mismo año debe usarse letras minúsculas a, b, c, d, entre otros.

Revisión de los Manuscritos. La revista garantiza la confidencialidad en el proceso de revisión de los trabajos por parte de especialistas reconocidos.

Estilo. Los entes biológicos deben ser identificados por sus nombres científicos completos (binomial) en el título (cuando se requiera así como en el resumen, summary y la primera vez que se mencionan en el cuerpo de trabajo.

Los nombres de productos comerciales deben evitarse, prefiriéndose el nombre genérico. Cuando ello sea posible utilícelo seguido del símbolo®.

Los nombres de las variedades, cultivares e híbridos deberán acompañarse de virgulillas o comillas simples sólo cuando se mencionen por primera vez en el resumen, en el summary y en el cuerpo del artículo.

Los suelos deben ser identificados taxonómicamente; si el nombre de la serie no es muy conocido deberá señalarse la familia.

Los símbolos no tienen plural ni llevan punto (.) después de ellos y sólo se escriben en mayúsculas aquellos derivados de nombre propios Celsius, Kelvin, Joule.

Los decimales deben separarse con coma (,) y no con punto (.). Las unidades de mil o millón se indicarán con un espacio en blanco.

La abreviatura correspondiente a Agronomía Tropical es Agronomía Trop.

Para más detalles de estilo y presentación obsérvese los últimos números de la revista.

Los símbolos a usar son:

	Símbolo/abrev.	reemplaza
metro,	m,	
kilómetro,	km (10 ³ m)	
decímetro,	dm	
centímetro,	cm (10 ⁻² m)	
milímetro,	mm (10 ⁻³ m)	
micra	m	
micromilímetro,	mm (10 ⁻⁶ m),	microm
nanómetro,	nm (10 ⁻⁹ m),	Angstrom
metro cuadrado,	m ²	
hectárea,	ha	
metro cúbico,	m ³	
litro,	l	
gramo,	g	

kilogramo,	kg	
tonelada,	t	
mega gramo,	Mg,	
miligramo,	mg (10 ⁻³ g)	
microgramo,	µg (10 ⁻⁶ g)	
nanogramo,	ng (10 ⁻⁹ g)	
kilogramo/hectárea,	kg ha ⁻¹	
toneladas/hectárea,	t ha ⁻¹	
megapascal,	M Pa,	bar
grado Celsius,	°C	
grado Joule,	J,	caloría
grado Kelvin	°K	
centimole por kilogramo,	c mol kg ⁻¹ ,	meqpor 100g
gramo por kilogramo,	g kg ⁻¹	
miligramo por kilogramo,	mg kg ⁻¹ ,	ppm
metro sobre el nivel del mar	m.s.n.m.	

La revista proporcionará gratis a los autores 25 separatas de sus trabajos.

Para reproducir un material o parte de él, deberá obtenerse el permiso de la revista.

Los manuscritos deben ser enviados al Editor de **Agronomía Tropical**, INIA-Gerencia General. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay 2103, estado Aragua. Venezuela. Igualmente, enviar una comunicación en la cual se señale el autor a quién deberá dirigirse la correspondencia, su dirección, teléfonos de oficina y domicilio y la firma de cada uno de los autores del trabajo.

Para suscripción. Realizar depósito según el monto del volumen completo, más costo de envío al Banco Mercantil, Cuenta Corriente N° 0105-0100-84-1100095039 a nombre del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Estado Aragua. Venezuela.

Composición: Carmen Elena Solórzano
Montaje: José Alejandro Sul
Fotolito: Mario Pino
Impresión: Eliseo Silva y Wilmer Gallardo

Impreso en el Taller Gráfico del INIA
Maracay, estado Aragua, Venezuela.
Tiraje: 400 ejemplares.
Mayo 2011

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

Agronomía
Tropical

