



INIA
Instituto Nacional
de Investigaciones
Agrícolas

Vol. 56, N° 1, 2006

Agronomía Tropical

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS - VENEZUELA

AGRONOMÍA TROPICAL

Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela, anteriormente FONAIAP.

AGRONOMÍA TROPICAL publica trabajos inéditos sobre resultados de investigación obtenidos en las ciencias agrícolas y sus diferentes disciplinas: mejoramiento agronómico, recursos fitogenéticos, biotecnología, fisiología vegetal, edafología, fertilidad y nutrición de suelos, riego, protección vegetal, malezas, ecología y medio ambiente, maquinaria, sistemas de producción y tecnología de alimentos, entre otros.

La remisión de un trabajo a la revista implica que no ha sido publicado ni enviado simultáneamente para su publicación en otro medio. Los artículos y notas son revisados y evaluados por reconocidos especialistas para asegurar su calidad científica. El contenido de los trabajos (artículos, notas, ensayos...) es de la exclusiva responsabilidad de los autores.

INDIZACIÓN

AGRONOMÍA TROPICAL es reseñada e indizada por CAB Internacional (Reino Unido); TROPAG, Royal Tropic Institute (Holanda); REFERATIVNYI ZHURNAL, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (Rusia); AGRIS, FAO (Roma); Base Agrícola Venezolana, INIA (Venezuela); Centro de Información y Documentación (Cuba); REVENCYT, Fundacite Mérida (Venezuela); PERIÓDICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias, UNAM (México); REDPAV, Fundación Polar (Venezuela); WILDLIFE REVIEW ABSTRACTS, NISC Colorado (USA); BIOSIS Zoological Record (Reino Unido); AGRÍCOLA, National Agricultural Library (USA); Pest Directory, International Society for Pest Information (Alemania); LATINDEX, Directorio de Publicaciones Científicas de América Latina; Bibliografía Edafológica Venezolana, Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo; MegaBase AGRI 2000, IICA-CATIE; Catalogue en Ligne del Institute de l'Information Scientifique et Technique, Francia; Base de Datos REVIS, CATIE, Costa Rica, Science citation index.

SUSCRIPCIÓN

Venezuela: 125 000,00

Países en desarrollo: US\$ 95, incluyendo costos de envío
(Developing countries) (including shipping)

Países desarrollados: US\$ 100, incluyendo costos de envío
(Developed countries) (including shipping)

DIRECCIÓN

La correspondencia debe dirigirse a: **AGRONOMÍA TROPICAL**, Av. Universidad, vía El Limón, Edificio Gerencia General, INIA. Apartado 2103. Maracay 2105. Aragua-Venezuela. Los envíos por concepto de CANJE (EXCHANGE) deben dirigirse a: BIBLIOTECA, Centro Nacional de Investigaciones Agropueciarias, INIA. Apartado 4653. Maracay 2101. Aragua-Venezuela.

Correo Electrónico: agrotrop@fundacite.arg.gov.ve

Página Electrónica: <http://www.redpav-polar.info.ve.agrotrop>

AGRONOMÍA TROPICAL

**Revista trimestral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Maracay, Venezuela**

Agronomía Trop. / Vol. 56 / N° 1 / Enero-Marzo 2006 / ISSN 0002-192X

FUNDADORES

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

EDITOR: Milagros Fernández

EDITOR ASISTENTE: Mónica González

COMITÉ EDITORIAL

Milagros Fernández
María González

Félix San Vicente
Klaus Jaffé

CONSEJO DE REDACCIÓN

José San José. IVIC. Caracas

Gustavo Trujillo. UCV. Fac. de Agronomía

María A. Sobrado. USB. Caracas

José Pérez Roa. CIDIAT. Mérida

Jean Marie Hétier. ORSTOM. Francia

Eduardo Casanova. UCV. Fac. de Agronomía

Jorge Salas. INIA. CIAE Lara

Eva García. UCV. Fac. de Agronomía

Luis Avilán. INIA. CENIAP. Maracay

Guillermo H. Eyherabide. INIA. Argentina

Gloria I. Puerta. CINECAFÉ. Colombia

Jon Lizaso. Iowa State University

Gustavo Yépez. SYNGENIA. Guatemala

María L. Izaguirre. IVIC. Caracas

Inés Pino. Comisión Chile. Energía Nuclear

Yolanda Guevara. INIA. CENIAP. Maracay

Raúl Mosqueda Vásquez. INIFAP. México

Alfredo Layrisse. UCV. Fac. de Agronomía

Juan Comerma. PALMAVEN. Carabobo

David Beck. CIMMYT. México

Zaida Lentini. CIAT. Colombia

Graciano Elizalde. UCV. Fac. de Agronomía

Marisol Castrillo. USB. Caracas

José Barreiro Méndez. USB. Caracas

Juan Blanquer. Univ. Politec. Valencia. España

Ramón Rossel. Univ. Nac. del Sur. Argentina

Lelys Bravo. USB. Caracas

Berto Arias. INIA. CIAE Monagas

María Juana Pérez. INIA. CENIAP. Maracay

Segundo Urquiaga. EMBRAPA. Brasil

Se agradece al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit)
el apoyo financiero otorgado para la edición de este número

AGRONOMÍA TROPICAL

Vol. 56-2006

Enero-Marzo

No. 1

ISSN 0002-192X

Depósito Legal pp 195102AR73

ÍNDICE

Artículos:	Pág.
NOGALES, J., L. GRAZIANI de FARIÑAS y L. ORTIZ de BERTORELLI. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera.....	5
Physical and chemical changes of sun dried cocoa beans fermented in two designs of wooden boxes.	
WARNOCK, R., J. VALENZUELA, A. TRUJILLO, P. MADRIZ y M. GUTIÉRREZ. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota.....	21
Leaf area, leaf area components and yield of six bean genotypes.	
SALAS, A., C. RIVERO y E. CASANOVA. Fuente del fósforo absorbido y efectividad agronómica relativa en el maíz en un Ultisol del estado Cojedes, Venezuela.....	43
Source of absorbed phosphorus and relative agronomic effectiveness in maize growing on an Ultisol of Cojedes State, Venezuela.	
VELÁSQUEZ, R., Y. SANDREA, C. BETANCOURT J. MATA y F. GARCÍA. Embriogénesis somática en cultivares de cacao venezolanos.....	61
Somatic embryogenesis in Venezuelan cocoa cultivars.	

Artículos:	Pág.
LÓPEZ, M., A. BOLÍVAR, M. SALAS y M. DE GOUVEIA. Prácticas conservacionistas y rotación con quinchoncho alternativas sustentables para los agroecosistemas de sabanas de Guárico, Venezuela.....	75
Conservation practices and rotation with pigeonpea as a sustainable alternative for savanna agroecosystems of Guarico, Venezuela.	
CASTAGNINO, A. M., P. SASTRE VÁSQUEZ y A. MENET. Comportamiento del cultivo de espárrago verde a diferentes densidades iniciado mediante el sistema tradicional de arañas....	111
Behavior of a green asparagus crop, initiated by the traditional system of crowns, at different densities.	
NOTA:	
MICHELANGELI de C., C., A. M. MEDINA M., P. I. ARTIOLI G y J. MATA. Estudios citogenéticos de estructuras embriogénicas y plántulas regeneradas de onoto.....	129
Cytogenetic studies of annato embryogenic structures and regenerated plantlets.	

Instrucciones a los Autores

CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE EL SECADO AL SOL DEL GRANO DE CACAO FERMENTADO EN DOS DISEÑOS DE CAJONES DE MADERA¹

Jairo Nogales*, Lucía Graziani de Fariñas*
y Ligia Ortiz de Bertorelli*

RESUMEN

Frutos de cacao, *Theobroma cacao* L., tipo criollo, cosechados en Cuyagua, estado Aragua, fueron desgranados manualmente, fermentados y expuestos al sol para determinar los cambios físicos y químicos que ocurren durante el secado. La fermentación fue realizada por 5 días en cajones cuadrados, rectangulares de madera y el secado por 5 d con 6 horas diarias de exposición al sol en un patio de cemento. Durante el secado, a los granos les fueron medidos algunos índices físicos y las características químicas. Los resultados revelaron un incremento de la temperatura de los granos durante el día, dependiendo de las condiciones ambientales. El índice de fermentación y los parámetros del color L y a_1 aumentaron al transcurrir el secado, mientras que b_1 se redujo, siendo este último parámetro el único afectado por el diseño del fermentador, cuyo valor fue menor en el cajón cuadrado. La humedad, azúcares totales (AT), acidez total y cenizas disminuyeron y los taninos aumentaron al secar el grano, en cambio el comportamiento de las proteínas y del pH no fue definido. Además, los mayores valores de humedad, AT, pH, proteínas y taninos les correspondieron al cacao fermentado en el cajón cuadrado, fermentador que pareciera ser el más recomendable para el beneficio del cacao. En conclusión, las características químicas variaron en función del tiempo de secado y del diseño del fermentador, en tanto que los índices físicos no fueron afectados por este último factor.

Palabras Clave: *Theobroma cacao* L.; fermentación; secado; índices físicos; características químicas.

¹ Trabajo financiado por FUNDACITE-Aragua y Fonacit.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Química y Tecnología. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 21, 2004

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES OF SUN DRIED
COCOA BEANS FERMENTED IN TWO
DESIGNS OF WOODEN BOXES**

**Jairo Nogales*, Lucía Graziani de Fariñas*
y Ligia Ortiz de Bertorelli***

SUMMARY

Cocoa, *Theobroma cacao* L., fruits, criollo type, from Cuyagua, Aragua State, were manually shelled, mass (seeds and pulp) fermented and sun dried in order to determine the physical and chemical changes that occur during the drying process. Fermentation was done during five days in square and rectangular wooden boxes, and drying was conducted for six hours of daily sun exposure during five days. Throughout the drying process certain physical indexes and chemical properties of grains were measured. Results showed an increase of grain temperature during daylight, depending upon environmental conditions. The fermentation index and color parameters L and a_L increased as the drying process progressed, while b_L decreased. Parameter b_L was the only one affected by fermentor design, with a smaller value in the square box. Moisture content, total sugars, total acidity, and ash content decreased while tannin content increased as grain was dried; performance of proteins and pH was not conclusive. The highest values for moisture content, total sugars, pH, proteins, and tannin content corresponded to cocoa beans fermented in the square box; this fermentor seems to be the most suitable for cocoa post-harvest processing. Chemical indexes varied with respect to drying time and fermentor design, while physical characteristics were not affected by the last factor.

Key Words: *Theobroma cacao* L.; fermentation; drying; chemical indexes; physical characteristics.

1 Trabajo financiado por FUNDACITE-Aragua y Fonacit.

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de química y Tecnología. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 21, 2004

INTRODUCCIÓN

La fermentación y el secado son etapas muy importantes en el beneficio del cacao, *Theobroma cacao* L. En la primera etapa se producen reacciones bioquímicas que causan una disminución del amargor y de la astringencia y que dan origen a los precursores del aroma y sabor a chocolate. En la segunda etapa se reduce la humedad, continua la fase oxidativa iniciada en la fermentación y se completa la formación de los compuestos del aroma y sabor (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

La eliminación del exceso de humedad, que queda en el grano al finalizar la fermentación, es importante porque evita el desarrollo de mohos que deterioran la calidad (Rohan, 1964) y facilita el almacenamiento (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994), manejo y comercialización del cacao. Sin embargo, la reducción de la humedad debe ser hasta valores del 6 al 7%, máximo 8% (COVENIN, 1995), ya que si se reduce demasiado el grano se vuelve muy quebradizo (Rohan, 1964).

El desarrollo de los pigmentos de color marrón, a partir de los compuestos fenólicos, es otra fase relevante del secado, lo cual solamente ocurre en dicha etapa (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994). Además, los precursores del sabor, tales como aminoácidos libres, péptidos y azúcares no reductores pueden presentar algunos cambios químicos asociados con reacciones térmicas (Puziah *et al.*, 1999), lo cual conjuntamente con los cambios bioquímicos, productos de la fermentación, son determinantes de la calidad del cacao beneficiado, constituyendo un factor de peso en su comercialización y en su utilización en la agroindustria.

El secado natural por exposición al sol es comúnmente usado por los productores de las diversas regiones cacaoteras del país, debido a que es un método simple, económico y que permite el manejo de pequeñas cantidades. Entre las desventajas de este método destacan el tiempo que tarda el proceso, la labor requerida, la necesidad de extensas superficies para secar los granos y además su dependencia de las condiciones climáticas (Jinap *et al.*, 1994), condiciones que pueden variar de una zona a otra y en una misma zona durante el año (Ghosh y Cunha, 1975), lo cual, va a influir sobre las horas de exposición diaria al sol y del tiempo necesario para el secado.

En la zona costera del estado Aragua, el secado es realizado en patios de cemento y se ha observado que la textura del piso y la frecuencia de

remoción de los granos no influyen sobre las características químicas ni sobre el color del grano, en cambio si afectan los porcentajes de cáscara, de granos partidos y múltiples (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2004).

El beneficio del cacao en dicha región se ha venido realizando según costumbres culturales transmitidas por generación, con variaciones entre los productores y entre las zonas, sin dar importancia a las buenas prácticas en el manejo agronómico ni en el beneficio, lo que ejerce un efecto desfavorable sobre la calidad del producto final, ocasionando pérdidas.

Entre las operaciones que contempla el beneficio del cacao el secado ha sido la más relegada, de allí la relevancia de su estudio, por lo que el objetivo de este trabajo consistió en evaluar algunos de los cambios físicos y químicos que ocurren en el secado natural al sol del grano fermentado de cacao tipo criollo de Cuyagua, empleando en la fermentación los dos diseños de los cajones de madera mayormente usados en la región costera del estado Aragua (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a), todo esto con el propósito de generar información que sirva de apoyo a los productores de cacao para la obtención de un producto de alta calidad y a los técnicos para considerar posibles mejoras tecnológicas en el secado del cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en Cuyagua, municipio Costa de Oro del estado Aragua, zona que presenta precipitaciones que oscilan entre 467 y 988,7 mm anuales, temperatura promedio anual de 25,66 °C, evaporación de 900 mm con una humedad relativa promedio de 66% (Galviz, 1994). En el ensayo, fueron utilizadas 120 frutos (mazorcas) de cacao tipo criollo, cosechados en forma aleatoria, sanos y maduros y desgranados manualmente 5 días después de la recolección. Para identificar los árboles de cacao se usaron algunos descriptores taxonómicos sugeridos por Bekele *et al.* (1994) y la madurez de los frutos fue establecida utilizando el criterio señalado por González *et al.* (1999).

Fermentación y secados

En la fermentación fueron usados cajones de madera con dos diseños: el rectangular de dimensiones 30x15x10cm (largo x alto x ancho) y el cuadrado de 20x20x20 cm, ambos construidos con madera saqui-saqui,

Bombacopsi quinata (Jacq) Dugan, y con perforaciones de 0,8 cm de diámetro en el fondo para permitir la salida del exudado. Los fermentadores fueron llenados equitativamente con la masa de cacao (semillas y pulpa) y cubiertos con un plástico grueso y una lona. El proceso tuvo una duración de 5 d con remoción de la masa a las 24 y 48 h.

Para el secado, la masa fermentada fue extendida sobre un piso de cemento, formando una capa de aproximadamente 2 cm de espesor, la cual fue removida y amontonada cada 2 h al día para facilitar la evaporación del agua. El tiempo de secado fue de 6 h diarias (7 a.m. a 1 p.m.) por 5 d. Al final de cada día, los granos eran recogidos y al enfriarse, tapados y guardados en los mismos cajones de fermentación hasta el día siguiente.

En el ensayo se usó un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones, utilizando un experimento factorial mixto 2x5, donde los factores evaluados fueron el diseño del fermentador a dos niveles (cajón cuadrado y rectangular) y el tiempo de secado a 5 niveles (0, 1, 2, 3 y 5 d), estando constituida la unidad experimental por 2 kg.

Análisis físicos

La temperatura ambiente y la humedad relativa (HR) fueron medidas diariamente con un registrador marca DICKSON. Durante el secado, la temperatura se midió cada día en el centro del pilón formado al amontonar los granos, usando un termómetro calibrado de 0 a 100±0,1 °C. El índice de fermentación (ÍF) estuvo calculado de acuerdo con la norma N° 442-78 COVENIN (1978) a los 0, 2 y 5 d de transcurrido el proceso de secado, considerando como granos completamente fermentados aquellos que presentaron color marrón, agrietamiento pronunciado en el cotiledón y color castaño en la radícula (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a).

Para la determinación diaria del color fue utilizado el método indicado por Ortiz de Bertorelli *et al.* (2004) y los resultados expresados en función de los parámetros del color de la escala Hunterlab, en la cual L indica tendencia a la luminosidad (0=negro, 100=blanco), a tendencia al rojo (valores +) y al verde (valores -), b tendencia al amarillo (valores +) y al azul (valores -). El punto final del secado fue establecido de acuerdo con la prueba sensorial de crepitación (Rohan, 1964), la cual se aplicó a partir del 3^{er} d, antes de extender y al recoger los granos en el patio de secado, después de que se enfriaron.

Análisis químicos

Se tomaron muestras del cacao a los 0, 1, 2, 3 y 5 d del secado para efectuar los siguientes análisis según los métodos de la AOAC (1997): Humedad (Nº 931 04); azúcares totales (AT; Nº 925,35); pH (Nº 970,21); acidez total titulable (Nº 942,15); cenizas (Nº 972.15) y proteínas (Nº 970,20) incorporando un desgrasado previo con éter de petróleo por 4 h (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003b). Además fueron determinados los taninos por el método de Folin Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

Análisis estadísticos

A los resultados de los análisis, realizados por triplicado, se les aplicó un análisis de varianza, vía paramétrica o no paramétrica según correspondiese, complementado con una comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de Duncan (SAS, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el proceso de secado, la temperatura ambiente mostró poca variación entre los días, siendo 30 °C el valor más frecuente (Cuadro 1). Cabe destacar que en el 2^{do}, 3^{ro} y 5^{to} d, la radiación solar fue interrumpida por nubarrones e inclusive con lluvia en el día 3, lo que ocasionó un leve descenso en la temperatura ambiente en horas del mediodía.

En relación con la humedad relativa (HR), se observó una tendencia general a aumentar a partir de las 11 a.m., con excepción del d 3 en el que llovió. La lluvia, temperatura ambiente, HR del aire, velocidad del viento y el número de horas de exposición diaria al sol son factores que afectan la velocidad del secado de los granos de cacao (Ghosh y Cunha, 1975), de forma que la insolación insuficiente, las lluvias repentinas y la disminución en los otros factores causan inconvenientes y retrasos en el proceso.

Durante el secado al sol, la temperatura de los granos fue semejante en los cacaos fermentados con distintos diseños del fermentador, como era de esperarse dado que ambos ensayos se realizaron con las mismas condiciones en cuanto a área, volumen y tiempo de exposición, factores que influyen sobre dicha variable (Cuadro 2), en cambio difirieron a un nivel de significación del 5% entre los días (Cuadro 3), debido a las

variaciones climáticas que ocurrieron durante el secado, alcanzándose el mayor valor en el día 4, día en el que las condiciones ambientales fueron favorables al proceso.

CUADRO 1. Variación de la temperatura ambiente y humedad relativa durante el secado al sol del cacao.

Horas del secado	Días									
	1		2		3		4		5	
	T °C amb	% HR								
7:00am	30	56	29	65	29	71	32	63	30	57
8:00am.	30	65	29	67	29	71	31	61	31	58
9:00am.	28	75	30	66	29	68	30	66	31	61
10:00am.	30	71	30	66	31	63	30	61	30	66
11:00am.	30	71	30	66	30	70	30	62	30	63
12:00pm.	30	73	29	71	29	69	30	64	29	66
1:00pm.	31	73	30	72	30	69	30	68	30	72

En el ÍF se observaron valores superiores al 90% en los granos fermentados por 5 d (Cuadro 2), valores que señalaron una posible sobre fermentación durante el proceso fermentativo (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a), siendo más alto el índice del grano fermentado en el cajón cuadrado, lo que indicó que el diseño del fermentador afectó la fermentación, como consecuencia de las mayores temperaturas que se alcanzaron en la masa fermentante al usar dicho cajón (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a).

En el transcurso del secado, el ÍF aumentó y se obtuvo una alta proporción de granos marrones con un valor final ligeramente mayor en el cacao fermentado en el cajón cuadrado. La variación de este índice durante el secado fue ocasionado por la práctica de amontonar el cacao y colocarlo en los mismos cajones fermentadores cubiertos con un plástico grueso después de la exposición diaria al sol, lo cual prolongó la fase fermentativa durante las tardes y noches, causando un incremento en el ÍF de

5,65% en el cacao fermentado en el cajón cuadrado y de 5,18% en el rectangular, diferencia que pudiese no ser significativa en la calidad del cacao y que habría que confirmar mediante pruebas sensoriales.

CUADRO 2. Temperatura de los granos e índice de fermentación durante el secado al sol del cacao fermentado en dos diseños del fermentador.

Días de secado	°C Temperatura*		% Índice de fermentación	
	Cajón cuadrado	Cajón rectangular	Cajón cuadrado	Cajón rectangular
0	----	----	92,80	91,75
1	36,0 ± 4,4	35,8 ± 3,4	----	----
2	34,6 ± 0,97	34,5 ± 1,0	97,25	94,25
3	34,3 ± 1,7	34,0 ± 2,0	----	----
4	38,8 ± 3,5	38,3 ± 3,3	----	----
5	36,9 ± 1,2	37,1 ± 0,8	98,04	96,50

* Medias y desviación estándar.

En cuanto al color, los parámetros L y a_L presentaron un comportamiento fluctuante en el tiempo con variaciones a un nivel de probabilidad del 5% entre los días del secado (Cuadro 4), en los cuales se observó un aumento en el d 1, seguido por un descenso y un nuevo aumento en el d 5, mientras que no difirieron entre los cacaos fermentados en los cajones con distinto diseño (Cuadro 5).

En el parámetro b_L se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los días (Cuadro 4) y entre los cacaos fermentados en los dos fermentadores (Cuadro 5), consistentes en un descenso a medida que transcurrió el proceso de secado y en una menor tendencia hacia el color amarillo en el cacao seco fermentado en el cajón cuadrado.

El aumento de la luminosidad y de la tendencia hacia el color rojo, así como la disminución de la tendencia hacia el amarillo en el secado, se pueden relacionar con la formación de pigmentos de color marrón a partir de los compuestos fenólicos en este proceso (Cros y Jeanjean, 1995; Puziah *et al.*, 1999).

CUADRO 3. Temperatura de los granos de cacao fermentados durante el secado al sol.

Días de secado	°C Temperatura de la masa
1	35,9 c
2	34,6 d
3	34,2 d
4	38,6 a
5	37,0 b

Letras distintas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

Durante el secado, la oxidación enzimática de los polifenoles, por acción de la polifenoloxidasasa en presencia de oxígeno, y la posterior condensación con las proteínas ocasiona el color pardo de los granos (Puziah *et al.*, 1999).

CUADRO 4. Parámetros del color y características químicas del grano de cacao fermentado durante el secado al sol.

Parámetros del color y características químicas	Días de Secado				
	0	1	2	3	5
L	35,53 c	40,05 a	38,28 b	37,17 b	40,04 a
aL	6,30 c	7,68 a	6,98 b	6,21 c	7,71 a
bL	7,78 a	7,14 b	5,26 d	4,18 e	5,78 c
% Humedad	52,44 a	25,15 b	20,57 c	16,43 d	7,95 e
% Azúc. totales	2,38 a	2,30 b	2,13 c	1,90 d	1,78 e
% Acidez total	0,57 a	0,25 b	0,25 b	0,20 b	0,24 b
pH	5,87 b	5,82 b	5,80 b	6,09 a	5,83 b
% Cenizas	3,91 a	3,63 b	3,66 b	3,67 b	3,60 b
% Proteínas	12,87 b	11,51 c	12,81 b	13,40 ab	14,02 a
% Taninos	0,40 b	-----	0,38 b	-----	0,45 a

Letras distintas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

CUADRO 5. Parámetros del color y características químicas del grano de cacao fermentado en dos diseños del fermentador y secado al sol.

Parámetros del color y características químicas	Diseño del fermentador	
	Cuadrado	Rectangular
L	37,96 a	38,06 a
aL	6,86 a	7,05 a
bL	3,54 b	8,25 a
% Humedad	25,68 a	23,34 ab
% Azúc. totales	2,10 a	2,09 b
% Acidez total	0,27 b	0,33 a
pH	6,09 a	5,57 b
% Cenizas	3,52 b	3,84 a
% Proteínas	13,19 a	12,65 b
% Taninos	0,45 a	0,37 b

Letras distintas indican diferencias a un nivel de significación del 5%.

Al comparar con la bibliografía se observó coincidencia con los valores obtenidos con anterioridad (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2003) para L (40,40) y b_L (5,46) en cacao de Cumboto, estado Aragua, fermentado y secado al sol por 4 d con remoción cada 0,5 h, en tanto que difirieron de los valores 33,06 de L, 14,97 de a_L y 15,14 de b_L hallados por Bonaparte *et al.* (1998) en cacao de St. Lucia, Indias Occidentales, fermentado y secado al sol por 5 d, discrepancia que podría atribuirse al uso de materiales de cacao y metodologías distintas.

Las características químicas del grano de cacao fermentado variaron significativamente ($P < 0,05$) durante el transcurso del secado (Cuadro 4). La humedad descendió y la mayor pérdida de este componente ocurrió el 1^{er} d del proceso, en el cual la reducción fue de 52,04%. En la siguiente fase de secado (entre los d 2 y 5) la disminución fue gradual, hasta alcanzar, en el 5^{to} d, un valor coincidente con el rango (6-8%) establecido por COVENIN (1978) como requisito de calidad y requerido

por los mercados internacionales para la comercialización del cacao. La humedad obtenida al final del secado es apropiada porque impide el crecimiento de hongos en el almacenamiento y que el grano se quiebre fácilmente (Rohan, 1964).

Durante el secado al sol del cacao, la velocidad promedio del descenso de la humedad en el grano es función del número de días de secado y varía considerablemente según las condiciones climáticas imperantes al exponer los granos al sol, dependiendo de la temperatura ambiente y velocidad del viento (Ghosh y Cunha, 1975), puesto que el calor y el movimiento del aire contribuyen a la remoción de la humedad (Jinap *et al.*, 1994). En este proceso, la pérdida de agua es gradual y continua (Jinap *et al.*, 1994; Ghosh y Cunha, 1975; Dias y Ávila, 1993).

El contenido de los AT también mostró una disminución a medida que se desarrolló el secado (Cuadro 4). Durante este proceso continúan los cambios químicos y bioquímicos que se inician en la fermentación de los granos y el contenido de los azúcares reductores (AR) es, en parte, reducido por su participación en las reacciones de oscurecimiento no enzimático, esto es en las reacciones de Maillard, para formar fracciones volátiles de pirazinas (Cros y Jeanjean, 1995; Puziah *et al.*, 1999). Esta reacción, que es favorecida por las altas temperaturas, también ocurre cuando éstas son bajas (30-50 °C), ya que cuando el secado procede lentamente, el período de actividad de agua (aw) durante el cual las condiciones para la reacción de Maillard son óptimas es más largo (Cros y Jeanjean, 1995). Por otra parte, la concentración de sacarosa es disminuida por hidrólisis enzimática, reacción que continúa hasta que la enzima invertasa es inactivada por el incremento de la temperatura y la pérdida de humedad (Puziah *et al.*, 1999).

La acidez total de los granos disminuyó en el 1^{er} d de exposición al sol del cacao, en el que se redujo en 56,14%, permaneciendo constante en los días restantes (Cuadro 4). La reducción de la acidez de los granos, coincidió con el mayor descenso de la humedad. Al respecto, varios investigadores observaron que conjuntamente con la pérdida de agua que se produce durante el secado, ocurre una merma de la acidez, específicamente de los ácidos volátiles y libres (Dias y Ávila, 1993). Esta disminución de la acidez es favorecida cuando el secado procede lentamente (Dias y Ávila, 1993) y se establece un balance entre las velocidades de evaporación del líquido en la testa y de la difusión de los líquidos del cotiledón (Jinap *et al.*, 1994).

Respecto al pH, se observó un comportamiento variable durante el secado, de forma que permaneció constante hasta el d 3, en el que aumentó levemente, para luego descender a un valor estadísticamente igual al de los primeros días (Cuadro 4). Al final del secado, el cacao presentó un pH que cayó en el rango (5,50-5,80) fijado por Jinap y Dimick (1990), según el cual incluyen a Venezuela dentro del grupo de países con cacaos de alto pH. Este parámetro presenta una alta correlación (-0,94) con la acidez titulable (Jinap y Dimick, 1990), la cual es considerada como un mejor indicativo de la acidez que el pH (Jinap *et al.*, 1994).

En la concentración de cenizas se detectó un leve descenso en el 1^{er} d de secado, a partir del cual se mantuvo constante hasta el final del proceso (Cuadro 4). Esta disminución pudiese estar relacionada con la mayor eliminación de agua en ese lapso, la cual difunde a través de los poros al medio, arrastrando consigo a minerales hidrosolubles, lo cual también ha sido observado en estudios sobre secado del café (Suárez, 2003). En el resto del tiempo del proceso, la pérdida por difusión de los minerales es limitada por la disminución de la velocidad de reducción de la humedad en el secado.

El porcentaje proteico varió sin mostrar una tendencia definida en el transcurso del proceso. En el d 1 disminuyó y en los d 2 y 5 aumentó, incremento que podría deberse a variabilidad de las muestras. En el secado, la proteólisis que se inicia en la fermentación continúa, siendo favorecida la actividad de la proteínasa aspártica y de la carboxipeptidasa por las temperaturas (36-42 °C) alcanzadas durante la exposición al sol. Estas enzimas originan aminoácidos hidrofóbicos libres y péptidos hidrofílicos e hidrofóbicos, cuya concentración desciende rápidamente al aumentar la temperatura durante el secado (Puziah *et al.*, 1999).

Los aminoácidos libres disminuyen como consecuencia de la degradación de Strecker, que ocurre en la reacción de Maillard, y por su participación en las reacciones de condensación proteína quinona (Brito *et al.*, 2000; Puziah *et al.*, 1999). Además, estos aminoácidos pueden formar aminas y los péptidos dicetopiperazinas por degradación térmica (Puziah *et al.*, 1999).

En relación con los taninos se observó una permanencia constante los primeros días del secado y un incremento en el día 5 (Cuadro 4). En este proceso, los polifenoles son oxidados por la acción de la polifenoloxi-

dasa en presencia del oxígeno, cuyos productos, al ser polimerizados por reacciones de condensación proteína quinona, ocasionan el desarrollo del color marrón de los cotiledones que es uno de los efectos más importantes del secado (Puziah *et al.*, 1999). Esta reacción de oxidación, debida a la penetración por difusión del oxígeno en los cotiledones durante la desecación (Rohan, 1964), es afectada por la velocidad del proceso, siendo favorecida cuando el secado se realiza lentamente (Dias y Avila, 1993).

Los resultados de las características de los granos secos de cacao fueron distintos de los obtenidos en estudios previos en cacao de Cumboto (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2003) en los cuales se encontró un contenido superior de taninos (0,80%) y de acidez total (1,08%) y un pH inferior (4,84). Así mismo, difirieron de los valores de acidez total (0,128 meq NaOH/g muestra) y pH (5,49) obtenidos por Jinap y Dimick (1990) para cacaos fermentados y secos procedentes de Venezuela y de los de Bonaparte *et al.* (1998) para cacao de St. Lucia (20,72 meq NaOH/g 100g y pH de 4,89). Esta discordancia en los valores posiblemente se deba a la utilización de distintos materiales de cacao y procesos.

Respecto a las características químicas, del grano de cacao fermentado en cajones con distintos diseños y secado al sol, la prueba de medias de Duncan mostró diferencias a un nivel de significación del 5%, presentando los mayores valores de humedad, AT, pH, proteínas y taninos el cacao proveniente del cajón cuadrado (Cuadro 5).

Estos resultados, podrían estar relacionados con la mayor temperatura que se alcanzó en la masa de cacao durante la fermentación en dicho cajón, en el cual se logra un mejor aislamiento por su menor área de exposición (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a). Esta temperatura más alta, en la masa fermentante de cacao, causa una aceleración de las reacciones de fermentación con un aumento de la actividad proteolítica (Puziah *et al.*, 1999). Evidentemente, el tipo de fermentador usado en el proceso influye sobre la fermentación, según el cual las reacciones químicas involucradas pueden ser retardadas o aceleradas (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a; Vargas *et al.*, 1989), siendo también afectado el secado por su estrecha relación con el proceso fermentativo. Por lo cual concordando con resultados previos, el cajón cuadrado podría ser considerado como el diseño mas eficiente para beneficiar el cacao (Graziani de Fariñas *et al.*, 2003a).

CONCLUSIÓN

- Las características químicas variaron en función del tiempo de secado y del diseño del fermentador usado en el proceso, mientras que los índices físicos sólo fueron afectados por este último factor.
- La temperatura del grano dependió de las condiciones ambientales. El I^* y los parámetros del color L y a_L aumentaron durante el secado, en tanto que b_L se redujo, siendo este último parámetro el único afectado por el diseño del fermentador, con un menor valor en el cajón cuadrado.
- La humedad, azúcares totales, AT y cenizas disminuyeron y los taninos aumentaron al transcurrir el secado, en cambio el comportamiento de las proteínas y del pH no fue definido, correspondiéndole los mayores valores de humedad, AT, pH, proteínas y taninos al cacao fermentado en el cajón cuadrado, fermentador que pareciera ser el más recomendable para el beneficio del cacao.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Empresa Campesina Cuyagua el suministro de las muestras y al señor Venancio Martínez la colaboración prestada.

BIBLIOGRAFÍA

- ASSOCIATION OF THE ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1997. Official methods of analysis. 16th Edition. Gaithersburg, Maryland, USA. 1997. Cap. 31. p. 1-17.
- BEKELE, F., A KENNEDY, C. Mc DAVID, F. LAUCKNER and I. BEKELE. 1994. Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad. Euphytica. 75(39):231-240.
- BONAPARTE, A., Z. ALIKHANI, C. MADRAMOOTOO and V. REGABAN. 1998. Some quality characteristics of solar dried cacao beans in St. Lucia. J. Sci. Food Agric. 76:553-558.
- BRITO, E., N. PEZOA, M. GALLAO, A. CORTELAZZO, P. FEVE-REIRO, M. BRAGA. 2000. Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation, drying and roasting. Sci. Food Agric. 81:281-288.

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). 1995. Norma venezolana N° 50. Clasificación de lotes de granos de cacao de acuerdo a las proporciones de granos defectuosos. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela. 5 p.

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). 1978. Norma venezolana N° 442-78. Prueba de corte. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela. 4 p.

CROS, E. and N. JEANJEAN. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement*. 24:25-27.

DIAS, J. and M. AVILA. 1993. Influência do sistema de secagem na acidez das amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.). *Agrotrópica*. 5(1):19-24.

GALVIZ, I. 1994. Estudios de los aspectos sociales, económicos, técnicos y agropecuarios de los pequeños productores de Cuyagua, estado Aragua. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 67 p.

GHOSH, B. and J. CUNHA. 1975. Effect of season on sun drying of cocoa beans in Brazil. *Turrialba*. 25(4):396-403.

GONZÁLEZ, F., L. ORTIZ de BERTORELLI, L. GRAZIANI de FARIÑAS, E. MONTEVERDE-PENSO. 1999. Influencia del índice de cosecha de la mazorca sobre algunas características de la grasa de dos cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Rev. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía*. 25(2):159-171.

GRAZIANI de FARIÑAS, L., L. ORTIZ de BERTORELLI, N. ÁLVAREZ y A. TRUJILLO. 2003a. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía Trop*. 53(2):175-187.

GRAZIANI de FARIÑAS, L., L. ORTIZ de BERTORELLI y P. PARRA. 2003b. Características químicas de la semilla de diferentes tipos de cacao de la localidad de Cumboto, Aragua. *Agronomía Trop*. 53(2):133-144.

JINAP, S. and P. DIMICK. 1990. Acidic characteristics of fermented and dried cocoa beans from different countries of origin. *J. Food Sci.* 55 (2):547-550.

JINAP, S., J. THIEN and T. YAP. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 65:67-75.

ORTIZ de BERTORELLI, L., G. CAMACHO y L. GRAZIANI de FARIÑAS. 2004. Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Trop.* 53(4):31-44.

PUZIAH, H., S. JINAP, M. KHARIDAH and A. ASBI. 1999. Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 79:987-994.

ROHAN, T. 1964. El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 223 p.

SINGLETON, V. and J. ROSSI. 1965. Determination of tannins in wines. *J. Enology and Viticulture.* 6(3):114.

SUÁREZ, M. 2003. Estudio de algunas variables del beneficio húmedo ecológico que influyen sobre la calidad del grano de café verde. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 132 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS (SAS). 1998. SAS/STAT User's Guide. Release 6.132 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC., USA. 1 028 p.

VARGAS, V., J. SOTO y G. ENRÍQUEZ. 1989. Métodos de fermentación de cacao para pequeños productores en seis localidades de Costa Rica. Pruebas de calidad. **In:** Memoria. Seminario regional sobre tecnología post cosecha y calidad mejorada del cacao. Turrialba. Costa Rica. p. 147-161.

ÁREA FOLIAR, COMPONENTES DEL ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO DE SEIS GENOTIPOS DE CARAOTA¹

Rosemary Warnock*, Jagger Valenzuela**, América Trujillo*,
Petra Madriz* y Margaret Gutiérrez***

RESUMEN

Los modelos de simulación agroambientales son poderosas herramientas para evaluar escenarios de producción agrícola en forma cuantitativa, pero requieren información de área foliar (ÁF) del cultivo que en Venezuela es escasa. En este estudio se presentan datos de ÁF y de sus componentes, así como de rendimiento, obtenidos de experimentos en campo con seis genotipos de caraota, *Phaseolus vulgaris* L., sembrados durante el mes de noviembre del año 2001, en las localidades de Maracay (MCY) y Samán Mocho (SM) en dos tipos de suelos contrastantes y representativos de la Cuenca del Lago de Valencia. La metodología de campo utilizada permitió la obtención de un conjunto de datos de ÁF confiables y representativos de los genotipos evaluados. Los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno tuvieron mayor grado de crecimiento indeterminado en ambas localidades, el cual se manifestó hasta en el estadio de plena formación de granos (R6). Número, longitud y ancho máximo de folíolos, por sus altas correlaciones con ÁF, pueden ser utilizadas para estimaciones de ÁF mediante el procedimiento de regresión. En SM, las variables componentes del ÁF y los rendimientos (50%) fueron superiores que en MCY. Los genotipos MEM-01-00-16 en SM y AM-03-00-06 en MCY alcanzaron los mayores rendimientos finales y también se destacaron a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF, en cambio el genotipo usado como testigo, Magdaleno, ocupó los valores más bajos.

Palabras Clave: *Phaseolus vulgaris* L.; caraota; área foliar; índice de área foliar; componentes del área foliar; rendimiento.

¹ Trabajo parcialmente financiado por Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH, Proyecto PG-01-30-4537-99) y Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT, Proyecto S1-2001001016).

* Profesoras e **Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela. E-mail: warnockr@agr.ucv.ve

*** Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 03, 2005.

LEAF AREA, LEAF AREA COMPONENTS AND YIELD OF SIX BEAN GENOTYPES

Rosemary Warnock*, Jagger Valenzuela**, América Trujillo*,
Petra Madriz* y Margaret Gutiérrez***

SUMMARY

Simulation models are powerful tools for quantitatively evaluating agricultural production scenarios, but they require leaf area information for the crop to be simulated, which in Venezuela is scarce. Data is presented for leaf area, leaf area components and yield obtained from field experiments planted with six bean, *Phaseolus vulgaris* L., genotypes on November 2001 in Maracay (MCY) and Saman Mocho (SM), Venezuela, using two contrasting soil types which are representative of the Valencia Lake basin. The field methodology employed allowed the procurement of reliable and representative sets of leaf area data for the genotypes evaluated. Genotypes DP-01-98-007 and Magdaleno exhibited a greater degree of indeterminate behaviour in both sites, being displayed as late as the stage of full grain formation (R6). Number, length and maximum width of leaflets may be used for estimating leaf area through regression procedures, due to their high correlations with leaf area. In SM the values of the components of leaf area and yield (50%) were higher than in MCY. Genotypes MEM-01-00-16 in SM and AM-03-00-06 in MCY had the highest final yield values and superior values during the growth cycle for the variables total number of leaflets per plant, leaflet length, leaflet maximum width and leaf area, whereas the genotype used as control, Magdaleno, had the lowest values.

Key Words: *Phaseolus vulgaris* L.; bean; leaf area; leaf area index; leaf area components; yield.

1 Trabajo parcialmente financiado por Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH, Proyecto PG-01-30-4537-99) y Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT, Proyecto S1-2001001016).

* Profesoras e **Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela. E-mail: warnockr@agr.ucv.ve

*** Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 03, 2005.

INTRODUCCIÓN

El área foliar (ÁF) alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos del desarrollo es un dato indispensable para la calibración, adaptación y en general para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Es bien conocido que la magnitud del ÁF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios. En el modelo CROPGRO-Bean (Tsuji *et al.*, 1994), uno de los más difundidos a nivel mundial para simular el crecimiento de caraota, a partir del índice de área foliar (ÍÁF), se estima fotosíntesis y rendimiento final. Aún cuando en el mundo los modelos de simulación son utilizados con éxito como herramientas predictivas de la adaptabilidad de cultivos a diferentes ambientes (Boote *et al.*, 1996, 2001; Egli y Bruening, 1992; Jame y Cutforth, 1996; Pedersen y Lauer, 2002; Rosenzweig e Iglesias, 1998; Ruiz-Nogueira *et al.*, 2001; Villalobos y Retana, 2004), en Venezuela, para el cultivo de caraota, la carencia de información de ÁF de buena calidad limita el uso de esta herramienta.

Además, en los modelos mecanicistas de cultivos, el ÁF es una variable de importancia principal para el modelaje de los mecanismos de intercambio de agua y energía que ayuda a comprender las interacciones cultivo-ambiente (Barradas *et al.*, 1999; Dapaah *et al.*, 2000; Gomes *et al.*, 2000; Jesus *et al.*, 2001; Lieth y Reynolds, 1984; Tsubo y Walker, 2002). En los estudios clásicos de análisis de crecimiento, el ÁF, junto con variables de peso seco de biomasa, número de nudos y ramas, y altura de tallos, puede ser utilizada para describir un resumen de los procesos fisiológicos principales del cultivo y para calcular otros índices derivados como ÍÁF, intensidad de crecimiento relativo (ICR) y área foliar específica (ÁFE), entre otros.

Dentro de una misma especie las diferentes variedades, razas, cultivares o genotipos pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar porque ello depende de la magnitud del ÁF, del arreglo espacial de las hojas y de la evolución de los estadios fenológicos, es decir de los cambios fisiológicos y morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogenético (Boote *et al.*, 2001; Singh, 1991 y White, 1985).

Por ser Venezuela un importante centro de diversificación de genotipos del género *Phaseolus*, en el territorio nacional se encuentran diversos

materiales promisorios que requieren ser caracterizados en cuanto a la dinámica de su ÁF y capacidad productiva (Gutiérrez *et al.*, 2004; Solano, 2005). En consecuencia, actualmente se están realizando investigaciones con genotipos locales colectados por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en varias localidades de Venezuela. Igualmente, se conducen evaluaciones agronómicas de estos materiales con fines de identificar individuos sobresalientes para su uso directo por los agricultores.

Estos estudios forman parte de varios proyectos más amplios relacionados con la evaluación agronómica de genotipos del género *Phaseolus*, para los cuales no existen antecedentes de cuantificación del ÁF y rendimientos. Se pretende por tanto generar información de campo, bajo condiciones de crecimiento óptimo y que reúna los requisitos para ser utilizada como información de referencia para el modelo CROPGRO-Bean, que permita: a) caracterizar y señalar el ÁF de seis genotipos durante cinco estadios significativos de desarrollo; b) determinar y evaluar las variables componentes del ÁF; c) determinar rendimiento; d) estudiar las relaciones y correlaciones entre ÁF, componentes del ÁF y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos a salida de lluvias con riego suplementario, en dos localidades, Maracay (MCY), estado Aragua y Samán Mocho (SM), estado Carabobo, en ambos casos en estaciones experimentales pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. En MCY, se sembró el 16 de noviembre del año 2001 en el Campo Experimental del Instituto de Agronomía (10° 15' latitud norte y 67° 36' longitud oeste, altitud 447 m.s.n.m.) y se cosechó el 31 de enero de 2002. En SM, la siembra se realizó el 1 de noviembre del mismo año en la Estación Experimental Samán Mocho (10° 05' 58" latitud norte y 67° 51' 40" longitud oeste, altitud 425 m.s.n.m.) y la cosecha el 3 y 11 de enero de 2002.

Características Edafoclimáticas

En MCY los suelos son de origen aluvial, franco arenosos a francos arcillo-limosos, heterogéneos; Tortoza (1997) los clasifica como Fluventic Ustropepts, limosa, gruesa, mixta isohipertérmica. En SM

son de origen lacustrino, calcáreos con alto contenido de carbonato de calcio y permeabilidad y drenaje interno rápido, con predominio de las familias Typic Ustifluvents francosa gruesa carbonatica isohipertermica y Mollic Ustifluvents francosa gruesa mixta isohipertermica (Borges *et al.*, 1982). Ambos campos experimentales se ubican dentro de la cuenca del Lago de Valencia.

De acuerdo a los resultados de los análisis de muestras de suelos, éstos mostraron pH de alcalinidad ligera (6,48 en MCY y 6,95 en SM), contenidos de fósforo, potasio y bases intercambiables de calcio y magnesio altos y contenidos de hierro, cobre, zinc y manganeso bajos a muy bajos. En MCY la textura del suelo fue franco con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno, y en SM franco-limosa con alto contenido de materia orgánica y nitrógeno.

Las dos localidades se clasifican dentro de la zona de vida (Ewel *et al.*, 1976) de bosque seco premontano en transición con los bosques muy seco y seco del piso tropical, los cuales presentan precipitación promedio anual comprendida entre 850 y 1 000 mm, distribuidas en dos estaciones bien definidas y época seca que se ubica en general entre diciembre a marzo. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 24 y 26 °C. Durante los ciclos de cultivo, las temperaturas máximas promedio estuvieron entre 31 y 32 °C, las mínimas entre 19 y 20 °C, la radiación entre 16 y 18 MJ m⁻², el fotoperíodo promedio alrededor de 11 h y la precipitación total entre 79 y 84 mm.

Material Vegetal

Se utilizaron cinco genotipos promisorios del género *Phaseolus* y la variedad comercial Magdaleno como testigo. Todos son de hábito de crecimiento indeterminado (Colmenares, 2004) y semilla de color negro. Los genotipos promisorios representan selecciones de materiales recolectados o adquiridos en diferentes regiones del país² y fueron suministrados por el INIA.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada unidad experimental (UE) estuvo estructurada por cuatro hilos de 6 m de

² Delis Pérez y Margaret Gutiérrez, INIA.2001. Comunicación personal.

longitud, separados a 0,60 m y área total de 14,4 m². Los hilos 1 y 3 de cada UE así como el siguiente hilo de la parcela contigua constituyeron los hilos de bordura. En el hilo 2 se realizaron muestreos secuenciales destructivos para evaluaciones de ÁF, tomando tres plantas para cada muestreo, y dejando 0,5 m de bordura en los extremos del hilo y 10 plantas de bordura sobre el hilo, entre un muestreo y el otro. Se estimó rendimiento a partir del hilo 4. El área total aproximada del ensayo fue 317 m².

Se determinó ÁF en 5 estadios de desarrollo fenológico (García, 1996; Warnock y Lizaso, 1995): El estadio V5 ocurre cuando el 50% de las plantas presenta 5 nudos en el tallo principal; R1 cuando el 50% de las plantas presenta una flor en cualquier nudo del tallo principal (inicio de floración); R4 cuando el 50% de las plantas posee una vaina ≥ 2 cm de longitud en cualquiera de los nudos del tallo principal (plena formación de vainas); R6 cuando el 50% de las plantas contiene granos de tamaño normal en cualquiera de los nudos del tallo principal (plena formación de semillas) y R7 cuando el 50% de las plantas presenta vainas en amarillamiento y el 50% de las hojas amarillas (inicio de maduración o madurez fisiológica).

Manejo de los Experimentos

Se mantuvieron las condiciones óptimas para que se manifestara el crecimiento y desarrollo potencial de los genotipos evaluados. En tal sentido, se controlaron competidores bióticos y todos los demás factores como agua y nutrimentos que pudieran suscitar estrés a las plantas. Se prepararon los suelos con 3 pases de rastra y surcado a 0,60 m. La siembra se realizó en forma manual, haciendo orificios sobre un lado de los camellones, con una separación de 0,07 m entre punto y 2 semillas por punto. Se entresacó dejando la población de 238 095 plantas por hectárea (pl ha⁻¹).

En MCY se regó por gravedad y en SM por aspersión con frecuencia de riego de acuerdo a la precipitación de cada localidad y las necesidades hídricas del cultivo. Se fertilizó en bandas a chorro corrido e incorporado, 14 días después de la siembra (DDS) en MCY y 8 DDS en SM, con Nitrofoska 12-12-16/2 a razón de 400 kg ha⁻¹ (144 g por hilera).

VARIABLES EVALUADAS

Se midió el ÁF mediante un lector óptico marca LI-COR, modelo LI-3000A. Para cada folíolo de cada planta se registraron las variables siguientes: longitud medida por la nervadura central (cm), ancho promedio (cm), ancho máximo (cm) y área (cm²). Las variables determinadas por planta fueron: número de folíolos totales, promedio de las longitudes de folíolos (cm), promedio de los anchos promedio de folíolos (cm), promedio de los anchos máximos de folíolos (cm) y área total (cm²).

Para determinar ÍÁF (m² m⁻²) se transformó el área total por planta en cm² a m² y se dividió entre 0,042 m² que representa el área efectiva de suelo ocupada por cada planta de acuerdo a la población de plantas.

El rendimiento se evaluó en un área efectiva de 3 m², extrayendo al azar 10 plantas del hilo cuatro y dejando 0,5 m de bordura en los extremos. Se determinó el rendimiento corregido a 12% de humedad mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{Mg}{ha} \right) = \left(\frac{10\,000 \text{ m}^2}{AEP} \right) P_c$$

ÁEP = Área efectiva de parcela.

P_c = Peso corregido = Peso de semillas obtenidas en los 3 m² * Factor de corrección.

$$F_c = 1 - \left(\frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \right)$$

F_c = Factor de corrección.

H_i = Humedad inicial del grano al momento de la cosecha.

H_f = Humedad final del grano corregida al 12%.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se aplicó el programa para análisis estadístico Statistical Analysis System (Littell *et al.*, 1991) a fin de evaluar la homogeneidad de varianzas de los errores entre las dos localidades (Prueba de Bartlett); la existencia de

diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos (análisis de varianza; ANAVAR); y finalmente para evaluar cuáles genotipos fueron los responsables de las diferencias en cuanto al comportamiento del ÁF o diferencias entre medias (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan; PRMD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las dos localidades mostraron varianzas desiguales, por tanto los mismos se discuten en forma separada. Debido a que para el estadio R7 las plantas no presentaron hojas verdes, ese estadio se omite en la presentación y discusión de los resultados.

Dinámica del Área Foliar (cm) por Planta e ÍÁF

Para la localidad MCY, los resultados del ANAVAR para R1 mostraron diferencias altamente significativas entre los valores de ÁF de los genotipos y para R4 diferencias significativas en R4; mientras que para SM se encontró alta significación en V5 y significación en R1. Los coeficientes de variación alcanzaron valores cercanos a 30% para ambas localidades, lo cual indica 70% de confiabilidad de los datos experimentales. El valor de este coeficiente depende en gran medida del tipo de experimento, del cultivo y de la variable medida. Para ÁF en caraota, no existen antecedentes en la literatura que puedan ser usados como referencia de comparación.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de ÁF medidos y la agrupación de medias de acuerdo a PRMD. Para MCY en el estadio R1 se observó la formación de dos grupos claramente diferenciados. En el grupo *a* se ubicaron los materiales que obtuvieron los valores más altos, los cuales fueron todos excepto el genotipo Magdaleno usado como testigo. Dentro de este grupo se destacan los genotipos DP-02-98-007, MGM-03-99-06 y AM-03-00-06 por sus mayores valores. En el estadio R4 se observó la formación de cuatro grupos.

Los valores más altos fueron alcanzados por los genotipos DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y AM-03-00-06. En SM, en forma general, los genotipos alcanzaron valores mayores de ÁF en comparación con los obtenidos en la localidad de MCY; en V5 el mayor valor lo tuvo DP-01-98-007 y en R1 los genotipos MEM-01-00-16, MGM-03-99-06, DP-02-98-10 y DP-01-98-007. En el estadio R6, los genotipos DP-01-98-007 y

MEM-01-00-16 mostraron valores de ÁF claramente superiores, aunque éstos no se diferenciaron del resto de los materiales en forma significativa de acuerdo a los resultados del ANAVAR y PRMD, probablemente debido a los altos valores de los coeficientes de variación mencionados antes (34,23% en R6). En todos los casos, el genotipo Magdaleno tuvo los menores valores de ÁF.

CUADRO 1. Área foliar (cm²) total por planta (promedio de nueve plantas), resultados de prueba de Rango Múltiple de Duncan de PRMD e Índice de Área Foliar (entre paréntesis) de seis genotipos de caraota en varios estadios de desarrollo para dos localidades.

Genotipo	Estadio							
	V5		R1		R4		R6	
	Localidad		Localidad		Localidad		Localidad	
	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM
AM-03 -00-06	397,4ab (0,95)	379,8c (0,90)	928,8a (2,21)	1 325,7ab (3,16)	1 853,3ab (4,41)	2 137,5a (5,09)	1 256,8b (2,99)	1 856,6a (4,42)
DP-01-98 -007	554,3ab (1,32)	775,5a (1,85)	843,4a (2,01)	1 454,9a (3,46)	1 504,9bc (3,58)	2 162,1a (5,15)	2 223,4a (5,29)	3 317,8a (7,90)
DP-02- 98-10	604,6a (1,44)	629,0ab (1,50)	1 045,1a (2,49)	1 587,2a (3,78)	2 610,5a (6,22)	2 041,6a (4,86)	1 324,6ab (3,15)	1 891,0a (4,50)
Magdaleno	269,8c (0,64)	579,9b (1,38)	363,3b (0,87)	914,7b (2,18)	769,6c (1,83)	1 496,8a (3,56)	1 126,3b (2,68)	2 137,4a (5,09)
MEM-01- 00-16	433,4ab (1,03)	347,4c (0,83)	763,0a (1,82)	1 768,7a (4,21)	2 313,9ab (5,51)	2 072,1a (4,93)	1 753,4ab (4,17)	2 554,3a (6,08)
MGM-03- 99-06	472,4ab (1,12)	528,1bc (1,26)	999,9a (2,38)	1 669,7a (3,98)	1 349,4bc (3,21)	2 028,8a (4,83)	1 256,8b (2,99)	1 883,1a (4,48)
Promedio	458,8 (1,09)	539,9 (1,29)	871,4 (2,07)	1 463,6 (3,48)	1 733,6 (4,13)	1 986,6 (4,73)	1 545,5 (3,68)	2 273,3 (5,41)

*Letras distintas en la columna indican diferencias significativas según PRMD al 5%.

En Maracay el IÁF de los genotipos (Cuadro 1, entre paréntesis) osciló entre un mínimo de 0,64 (30 DDS, V5) a un máximo de 6,2 (48 DDS, R4). En SM, los mismos estadios fueron alcanzados más temprano, entre 23 a 57 DDS con valores de IÁF entre 0,83 en el estadio V5 (23 DDS) a 7,90 en el estadio R6 (57 DDS). Los valores máximos de IÁF, en promedio, fueron 20% mayores en la localidad de SM que en MCY, mostrando por tanto mayor potencial de captación de radiación solar.

En las Figuras 1 y 2 se muestran las curvas de tendencias del IÁF durante el ciclo del cultivo, utilizando funciones ajustadas de polinomios cuadráticos. Los coeficientes de determinación (R^2) de los modelos ajustados para las dos localidades, en su mayoría, tuvieron valores superiores a 98%, sólo en tres casos mostraron valores en el rango de 86 a 90%. La evolución de las tendencias mostró consistencia en ambas localidades de acuerdo a los genotipos. En los genotipos AM-03-00-06, DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06 se observó incremento sostenido del IÁF desde V5 hasta R4 y luego disminución en el estadio R6 para ambas localidades. En cambio los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno continuaron mostrando incrementos del IÁF hasta el último estadio muestreado (R6). Esto indica, para estos últimos genotipos, mayor grado de crecimiento de tipo indeterminado que continua manifestándose en incrementos de IÁF incluso durante el estadio de plena formación de granos.

Los valores de IÁF señalados en este trabajo se encuentran en conformidad con los rangos de valores de IÁF señalados por la literatura para *P. vulgaris* en general, manejado de acuerdo al sistema de monocultivo. Jesus *et al.* (2001) midieron el IÁF de la variedad Carioca de caraota durante 32 a 73 DDS, encontrando valores de IÁF entre cero a cinco. Barradas *et al.* (1999) y Santos *et al.* (2003) mostraron valores de IÁF en caraota durante su ciclo, que oscilaron entre 0,26 a 5,2. En el presente estudio se evaluaron genotipos sin antecedentes previos, cuyos valores de IÁF en algunos casos como el de DP-01-98-007, DP-02-98-10 y MEM-01-00-16 fueron ligeramente mayores a 5, el tope indicado en la literatura (Barradas *et al.*, 1999; Jesus *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2003); lo cual puede atribuirse al genotipo de los materiales y manejo de los experimentos.

Número de Folíolos Totales por Planta

No se encontró significación para esta variable en la localidad MCY, mientras que en SM, el número de folíolos totales por planta fue altamente

significativo en el estadio vegetativo V5 y no significativo en los estadios posteriores. Para ambas localidades, los valores de los coeficientes de variación oscilaron entre 20 y 30%, los cuales se manifiestan como un poco altos y podrían estar influyendo en la incapacidad del ANAVAR para detectar significación estadística en algunos estadios, debido a que sólo se usó tres repeticiones y una sola hilera de muestreo. Sin embargo, en MCY en los estadios R1 y R4 se destacaron los genotipos AM-03-00-06, DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06. Para SM, en el estadio V5, PRMD (Cuadro 2) mostró la formación de 2 grupos.

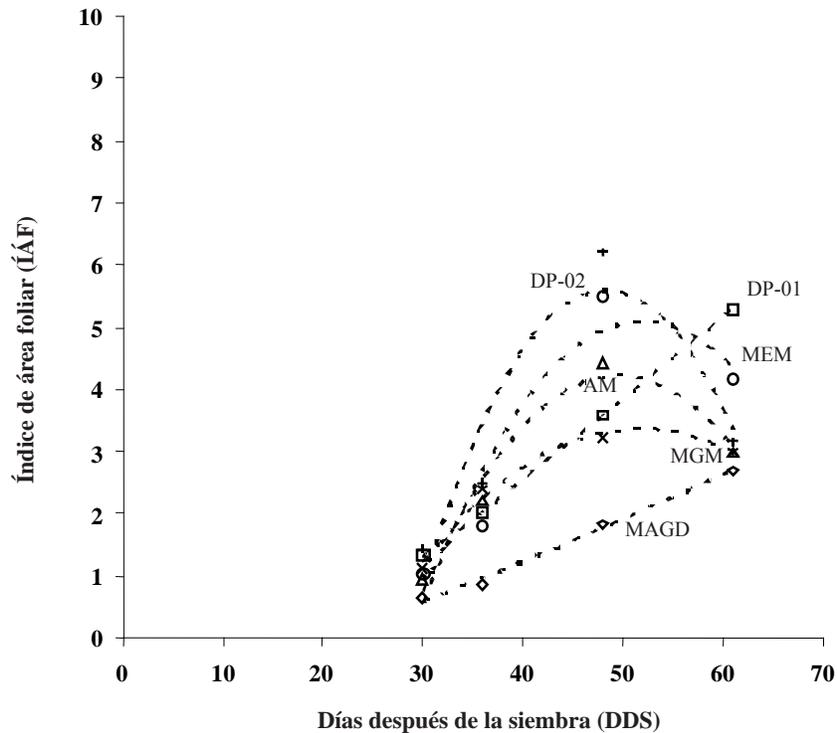


FIGURA 1. Curvas de tendencias del Índice de Área Foliar durante el ciclo de crecimiento para seis genotipos de caraota en la localidad de Maracay (MCY).

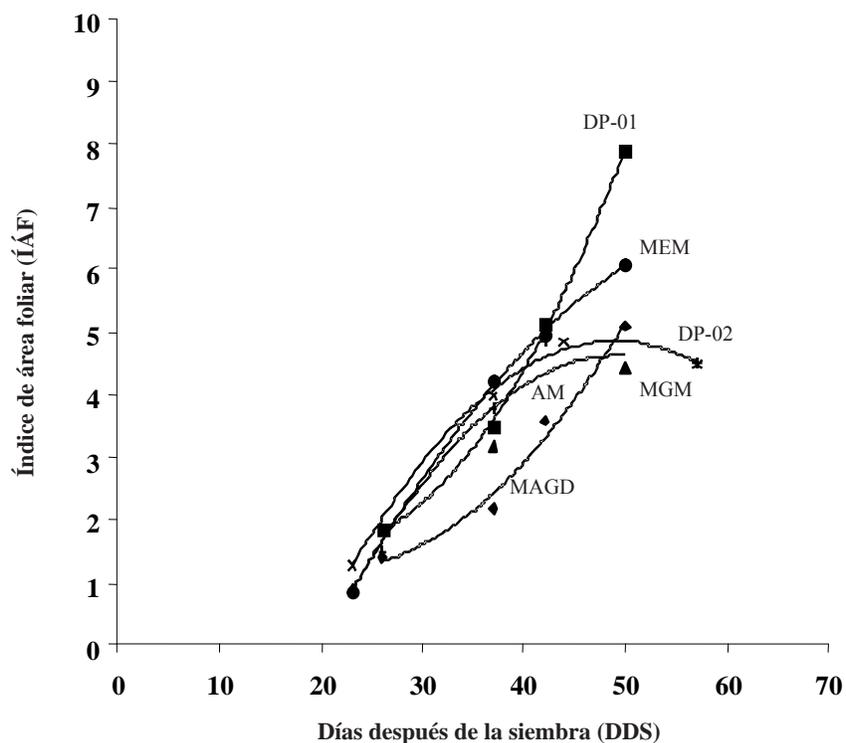


FIGURA 2. Curvas de tendencias del Índice de Área Foliar durante el ciclo de crecimiento para seis genotipos de caraota en la localidad de Samán Mocho (SM).

En el grupo *a* se ubicaron los materiales con valores estadísticos más altos los cuales fueron DP-01-98-007, Magdalena y DP-02-98-10. Para el resto de los estadios, sólo en R1 se presenta una aparente diferenciación numérica de grupos, puesto que el ANAVAR no detectó diferencias estadísticas entre las medias. El genotipo MEM-01-00-16 ocupó el grupo con mayor número de folíolos totales por planta para dicho estadio y continuó produciendo mayor cantidad de hojas hasta el último muestreo.

Los datos del Cuadro 2 permiten discutir varios aspectos de la dinámica del número de folíolos totales por planta durante el ciclo de crecimiento

del cultivo. En ambas localidades, todos los genotipos, unos con mayor intensidad que otros continuaron produciendo hojas en términos de emisión de nuevos folíolos, después de terminada la fase vegetativa de crecimiento, aunque unos con mayor intensidad que otros. Este es un carácter diferenciador de los hábitos de crecimiento indeterminados que exhiben dichos genotipos. Además, se puede observar que los mismos no evolucionaron de manera similar durante el ciclo, es decir algunos alcanzaron su máxima producción de hojas antes que otros.

En MCY, sólo Magdaleno y DP-01-98-007 continuaron emitiendo nuevos folíolos hasta el último estadio de muestreo lo cual concuerda con los aumentos de ÍÁF siempre crecientes que exhibieron estos materiales ya discutidos en la Figura 1. En SM todos los genotipos, excepto AM-03-00-06, mantuvieron un incremento en la producción de hojas hasta el estadio final de muestreo, R6. Los materiales que alcanzaron su tope de emisión de folíolos antes de R6, lo hicieron en la etapa R4, la cual presentó el mayor número de folíolos promedio para MCY. En la literatura no se encontraron referencias acerca de esta variable que permitan realizar comparaciones con los resultados obtenidos en este estudio.

Longitud de Folíolos (cm)

En ambas localidades esta variable presentó alta significación en el estadio V5, además, en MCY presentó diferencias significativas entre las medias durante el estadio R4 y en SM durante el estadio R1, en los posteriores estadios no se encontraron diferencias. Los coeficientes de variación oscilaron entre 8 y 12%.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las pruebas de medias. En casi todos los casos, el genotipo Magdaleno usado como testigo se destacó con los folíolos más cortos. Para MCY, los folíolos más largos, en el estadio V5, los obtuvo el genotipo DP-02-98-10 y en el estadio R4, los genotipos AM-03-00-06 y DP-02-98-10. Para SM, en el estadio V5 los folíolos más largos fueron de los genotipos MGM-03-99-06 y MEM-01-00-16, y en R1 el genotipo DP-01-98-007 obtuvo los valores estadísticos más altos o folíolos más largos. La mayor longitud de folíolos promedio fue alcanzada más temprano en MCY, en general en el estadio de 5 nudos, mientras que en SM en el estadio de inicio de floración. Para esta variable no se encontraron referencias en la literatura que permitieran comparar los valores obtenidos.

CUADRO 2. Número, longitud y ancho de folíolos por planta (promedio de nueve plantas) y resultados de Prueba del Rango Múltiple de Duncan* en seis genotipos de caraota.

Variable	Genotipo	Estado											
		V5		R1		R4		R6					
		Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM				
Número de folíolos totales por planta	AM-03-00-06	19,1a	12,1b	38,1a	45,9abc	71,7ab	71,0a	53,7a	63,7a				
	DP-01-98-007	21,1a	24,9a	31,1ab	42,8c	61,0ab	69,3a	85,3a	82,3a				
	DP-02-98-10	22,0a	22,3a	36,6a	47,7abc	85,7a	62,1a	65,7a	67,7a				
	Magdalena	15,4a	24,6a	24,1b	44,6bc	41,3b	61,1a	67,3a	87,7a				
	MEM-01-00-16	18,4a	10,1b	36,4a	56,6a	92,3a	73,8a	78,0a	88,7a				
	MGM-03-99-06	19,9a	14,2b	35,4a	54,4ab	79,3a	68,0a	73,7a	83,3a				
Promedio	19,3	17,9	33,6	48,3	71,9	67,6	70,6	78,8					
Promedio de longitud de folíolos	AM-03-00-06	7,8c	9,4ab	8,9a	9,4b	9,2a	8,9ab	8,5ab	8,3ab				
	DP-01-98-007	9,3ab	8,8b	8,0ab	10,5a	8,1ab	8,6ab	9,3a	9,2a				
	DP-02-98-10	10,3a	8,7b	8,9a	10,1ab	9,1a	9,4a	7,8b	9,0ab				
	Magdalena	7,6c	7,6c	7,8ab	8,5c	7,6bc	8,4b	7,6b	7,8b				
	MEM-01-00-16	8,0bc	9,8a	7,4b	9,3b	8,5ab	8,5ab	7,9ab	8,1ab				
	MGM-03-99-06	8,4bc	10,0a	8,6ab	9,5b	6,3c	8,2b	8,4ab	8,2ab				
Promedio	8,6	9,1	8,3	9,6	8,4	8,7	8,3	8,4					

./... continúa

./... continuación CUADRO 2

Variable	Genotipo	Estadio											
		V5		R1		R4		R6					
		Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM	Localidad MCY	Localidad SM				
Promedio de ancho máximo de folíolos	AM-03-00-06	7,4a	7,5abc	6,9abc	6,1bc	6,4a	6,8ab	6,5ab	7,5a				
	DP-01-98-007	7,7a	7,4abc	7,2ab	6,7a	6,3a	8,0a	6,7a	8,2a				
	DP-02-98-10	7,7a	7,3bc	7,4a	6,6a	6,5a	7,2ab	6,5ab	7,7a				
	Magdaleno	7,0a	7,2c	6,5c	5,8c	5,4b	6,9ab	5,7c	7,7a				
	MEM-01-00-16	7,6a	8,0ab	6,7bc	6,4ab	6,1a	6,6b	6,1bc	7,6a				
	MGM-03-99-06	7,0a	8,1a	7,1abc	6,1bc	5,4b	7,6ab	6,5ab	7,5a				
	Promedio	7,4	7,6	7,0	6,2	5,9	7,2	6,3	7,7				

*Letras distintas en la columna indican diferencias significativas según PRMD al 5%.

Ancho Máximo de Folíolos (cm)

En MCY, el promedio de ancho máximo de folíolos mostró diferencias significativas en los estadios R4 y R6 (plena formación de semillas) y en SM sólo en el estadio R1, en los demás estadios no se encontraron diferencias significativas. Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos, ubicándose entre 4 y 11%.

Al igual que para promedio de longitud de folíolos, en casi todos los casos el genotipo Magdaleno tuvo los folíolos más angostos. En las dos localidades, los genotipos DP-01-98-007 y DP-02-98-10 se distinguieron dentro del grupo con folíolos más anchos. Los genotipos MEM-01-00-16 y AM-03-00-06 también alcanzaron valores altos de ancho máximo de folíolos en MCY, durante el estadio R4.

En cuanto a la dinámica de la variable durante el ciclo de crecimiento del cultivo, en MCY los máximos valores promedios fueron alcanzados por los materiales en el estadio V5 y los mínimos valores en el estadio R4.

En SM, el promedio de ancho máximo de folíolos varió poco a lo largo del ciclo, siendo R1 el estadio en el cual todos los materiales arrojaron valores más bajos; no obstante, en esta localidad los materiales mostraron tendencia a desarrollar folíolos más anchos hacia los estadios finales R4 y R6. A medida que aumenta el ancho de los folíolos en los diferentes estadios de desarrollo, la planta tendrá una mayor capacidad de interceptar radiación solar y como consecuencia un mayor proceso de fotosíntesis. Al igual que para las variables anteriores, los trabajos previos de medición de ancho máximo de folíolos en los genotipos de caraota no existen.

Correlaciones

En el Cuadro 3 se muestran los valores de las correlaciones simples más sobresalientes entre el ÁF por planta y las otras variables foliares medidas en este trabajo, utilizando en conjunto los datos de las dos localidades. En todos los casos las correlaciones fueron altas, iguales o superiores a 85%. Para todos los genotipos evaluados la variable que presentó mayor correlación (99%) con el área fue el ancho promedio de folíolos, además en el caso de MEM-01-00-16, la variable longitud de folíolos mostró también el valor más alto (99%). En la práctica, las mediciones manuales de ancho promedio de folíolos son laboriosas y exigentes en cuanto a horas de trabajo, y si se hacen con instrumentos ópticos requieren equipos

más sofisticados y costosos, por ello sería deseable encontrar alguna variable sustitutiva para estimar ÁF que presente una buena correlación y que en la práctica sea más expedita manteniendo una adecuada precisión.

CUADRO 3. Correlaciones entre área foliar total por planta (cm²) y varios componentes del área foliar para seis genotipos de caraota.

Genotipo	Folíolos	Longitud Folíolos (cm)	Ancho Promedio Folíolos (cm)	Ancho Máximo Folíolos (cm)
AM-03-00-06	0,97	0,97	0,99	0,97
DP-01-98-007	0,85	0,88	0,92	0,89
DP-02-98-10	0,92	0,94	0,97	0,93
Magdaleno	0,92	0,95	0,97	0,95
MEM-01-00-16	0,97	0,99	0,99	0,97
MGM-03-99-06	0,90	0,96	0,99	0,94

La literatura presenta algunas alternativas de relaciones empíricas entre el ÁF y otras variables relacionadas que permiten estimar ÁF utilizando una ecuación de regresión. Jesús *et al.* (2001) en Brasil emplearon el ancho máximo del folíolo central para estimar el ÁF de plantas de caraota variedad Carioca, con buenos resultados. Lieth y Reynolds (1984) en cambio en Carolina del Norte, Estados Unidos, para la variedad Bush Blue Lake 290, encontraron altas correlaciones entre longitud de folíolo y ÁF, lo cual aprovecharon para construir ecuaciones de regresión con altos coeficientes de determinación ($R^2 \geq 0,99$). En este estudio las correlaciones entre variables difirieron de acuerdo al genotipo: para AM-03-00-06 el número, longitud, y ancho máximo de folíolos tuvieron altas correlaciones (0,97) por lo que cualquiera de éstos pudiera servir para estimaciones de ÁF; para DP-01-98-007 la mejor correlación después del ancho promedio de folíolos se obtuvo con el ancho máximo de folíolos; para DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06 con longitud de folíolos; para Magdaleno longitud de folíolos y ancho máximo de folíolos.

Rendimiento (Mg ha^{-1})

En la Figura 3 se exhiben los rendimientos de los genotipos en las dos localidades. Los rendimientos promedio de SM superaron por $0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ los de MCY, lo que equivale a 50% más de granos en SM. Todos los genotipos, excepto AM-03-00-06, presentaron rendimientos más altos en SM. Los rendimientos más altos de SM concuerdan con los valores más altos de ÍÁF y los suelos más ricos en materia orgánica de dicha localidad.

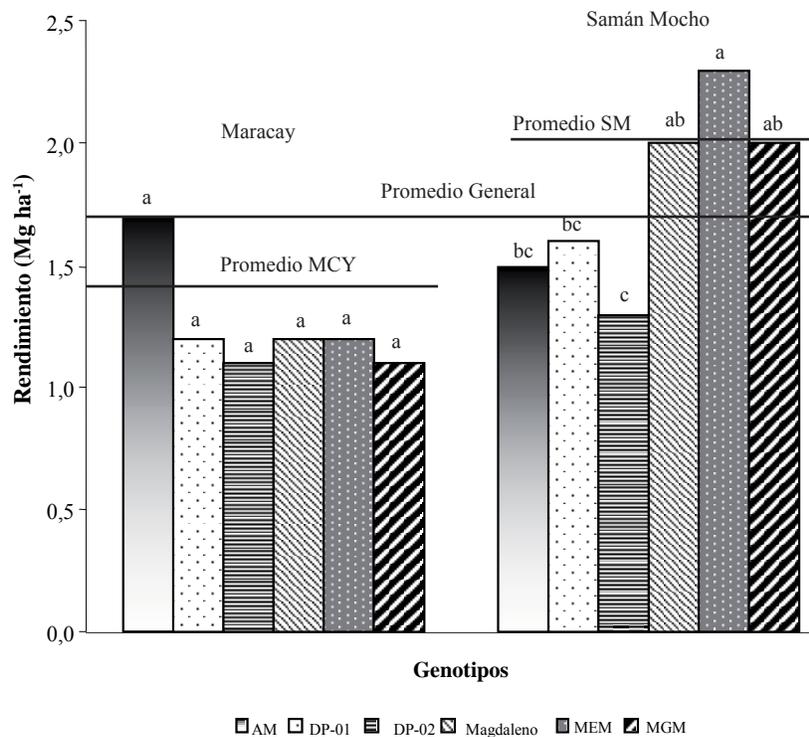


FIGURA 3. Rendimientos de seis genotipos de caraota en Maracay (MCY) y Samán Mocho (SM).

En MCY no se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de los genotipos, no obstante AM-03-00-06 se destacó del resto con el rendimiento más alto de 1,7 Mg ha⁻¹. En SM, el ANAVAR detectó diferencias de rendimiento entre los tratamientos al nivel de 1%.

La PRMD muestra la formación de cuatro grupos. En el primer grupo se ubicó el genotipo MEM-01-00-16 el cual obtuvo el mayor valor de rendimiento (2,3 Mg ha⁻¹), mientras que en el cuarto grupo se ubicó el genotipo DP-02-98-10 el cual presentó el menor valor de rendimiento. En la Figura 3 también se presenta la comparación de los rendimientos entre sí y con los promedios locales y general. Los rendimientos obtenidos en este trabajo se ubican dentro del rango general presentando para el cultivo de caraota en Venezuela (García, 1996).

Al relacionar las diferentes variables estudiadas en este trabajo se nota que los genotipos MEM-01-00-16 y AM-03-00-06 que fueron los que alcanzaron los mayores rendimientos finales, también se destacaron a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF.

CONCLUSIONES

- La metodología de campo utilizada permitió la obtención de un conjunto de datos de ÁF confiables y representativos de los genotipos evaluados.
- Los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno tuvieron mayor grado de crecimiento indeterminado en ambas localidades, el cual se manifestó por un continuo incremento del ÁF hasta en el estadio de plena formación de granos.
- El número, longitud y ancho máximo de folíolos, por sus altas correlaciones con ÁF, pueden ser utilizadas para estimaciones de ÁF mediante el procedimiento de** regresión lineal.
- En la localidad SM, las variables componentes del ÁF y los rendimientos (50%) fueron superiores que en MCY.
- Los genotipos MEM-01-00-16 en SM y AM-03-00-06 en MCY alcanzaron los mayores rendimientos finales y también se destacaron

a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF, en cambio el genotipo usado como testigo, Magdalena, ocupó los valores más bajos.

BIBLIOGRAFÍA

BARRADAS, V., H. JONES and J. CLARK. 1999. Leaf orientation and distribution in a *Phaseolus vulgaris* L. crop and their relation to light microclimate (en línea). Int. J Biometeorol. 43(2):64-70. Consultado 16 de junio de 2005.

BOOTE, K., J. JONES and N. PICKERING. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agron. J. 88:704-716.

BOOTE, K., M. KROPFF and P. BINDRABAN. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. Agric. Syst. 70:395-420.

BORGES, R., A. RAMONES y R. MAURO. 1982. Los suelos de la estación Experimental Samán Mocho. Estudio agroecológico especial. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. pp. 37-39.

COLMENARES, O. 2004. Evaluación fenológica de materiales promisorios de los géneros *Phaseolus* y *Vigna* en el estado Aragua. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 64 p.

DAPAAH, H., B. McKENZIE and G. HILL. 2000. Influence of sowing date and irrigation on the growth and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in a sub-humid temperate environment. Cambridge University Press. The Journal of Agricultural Science Cambridge Journals Online – CUP Abstract Page. Consultado en Internet 21 de febrero de 2005. 134:33-43.

EGLI, D. and W. BRUENING. 1992. Planting date and soybean yield: Evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. Agric. for Meteorol. 62:19-29.

GARCÍA, J. 1996. Fenología de cuatro variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrada en dos localidades y dos fechas del periodo septiembre-enero. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 56 p.

GOMES, A., A. ARAUJO, R. ROSSIELLO e C. PIMENTEL. 2000. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro (en línea). Revista PAB. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Volume 35 Numero 10.

GUTIÉRREZ, M., D. PÉREZ, A. MARQUES, V. SEGOVIA y C. MARÍN. 2004. Prospección y recolección de materiales nativos del género *Phaseolus* en la zona nororiental y andina de Venezuela. Plant Genetic Resources (PGR) Newsletter. 140:32-41.

JAME, Y. and H. CUTFORTH. 1996. Crop growth-models for decision support systems. Can J. Plant Sci. 76:9-19.

JESÚS, W. de, F. do VALE, R. COELHO and L. COSTA. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean (en línea). Agronomy Journal 93:989-991. Consultado el 21 de febrero de 2005.

LIETH, J. and J. REYNOLDS. 1984. A model of canopy irradiance in relation to changing leaf area in a phytotron-grown snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. Int. J. Biometeor. 28(1):61-71.

LITTELL, R., R. FREUND and P. SPECTOR. 1991. SAS System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 329 p.

PEDERSEN, P. and J. LAUER. 2002. Application of the CROPGRO-Soybean Model to predict soybean yield (en línea). Wisconsin. USA. Consultado el 29 de abril de 2004.

ROSENZWEIG, C. and A. IGLESIAS. 1998. The use of crop models for international climate change impact assessment. **In:** Tsuji, Hoogenboom and Thornton, (Eds.) Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers. 267 – 292.

RUIZ-NOGUEIRA, B., K. BOOTE and F. SAU. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions in Galicia, Northwest Spain. Agric. Syst. 68:151-173.

SANTOS, J. DOS, S. PROCOPIO e A. DA SILVA. 2003. Capture and utilization of solar radiation by the soybean and common bean crops and by weeds (en línea). *Bragantia* 62(1):147-153.

SINGH, S. 1991. Bean genetics. **In:** A van Schoonhoven and O Voysest (eds.) *Common beans: Research for crop improvement*. CAB International/CIAT, Wallingford. UK. 199-249.

SOLANO, A. 2005. Reacción de accesiones locales de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) a la quemazón bacteriana. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 87 p.

TORTOZA, J. 1997. Variabilidad del suelo y limitaciones para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el lote E del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 52 p.

TSUBO, M. and S. WALKER. 2002. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy (en línea). *Agricultural and Forest Meteorology*. 110(3):203-215. Consultado el 22 de febrero de 2005. Disponible en <http://www.science.direct.com>

TSUJI, G., G. UEHARA and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244 p.

VILLALOBOS, R. y J. RETANA. 2004. CROPGRO-Dry bean, un modelo de simulación del crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol (en línea). Costa Rica. Consultado el 30 de abril de 2004. Disponible en www.imn.ac.cr/gesdesarrollo/ABSTRAT/CROPGRO.htm

WARNOCK, R. y J. LIZASO. 1995. Importancia de los modelos agronómicos. *Boletín de Post-grado*. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 5(1):9-10.

WHITE, J. 1985. Conceptos básicos de fisiología vegetal del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **In:** M. López, F. Fernández y A. Van Schoonhoven, (eds.) *Frijol: Investigación y Producción*. CIAT. Cali, Colombia. 43-57.

**FUENTE DEL FÓSFORO ABSORBIDO
Y EFECTIVIDAD AGRONÓMICA RELATIVA
EN EL MAÍZ EN UN ULTISOL
DEL ESTADO COJEDES, VENEZUELA¹**

Ana Salas*, Carmen Rivero* y Eduardo Casanova*

RESUMEN

Los fertilizantes fosfatados de mediana solubilidad producidos a partir de roca fosfórica Riecito (RFR) constituyen una alternativa para satisfacer los requerimientos de P de cultivos anuales en el país. La presencia simultánea de formas solubles e insolubles de P en dichos fertilizantes plantea una posible interacción la cual podría mejorar la utilización del P contenido en la RF. Con el propósito de evaluar esta interacción, se emplearon técnicas isotópicas (³²P) a fin de determinar la procedencia del P absorbido por el maíz, *Zea mays* L., y efectividad agronómica relativa (EAR) en mezclas de superfosfato triple (SFT) y RFR a nivel de invernadero. Las cantidades de P absorbido provenientes del suelo (Pdsuelo), la roca fosfórica (Pdfr) y el superfosfato triple (Pdft) en mezclas RFR+SFT fueron comparadas con la absorción de P proveniente de las fuentes aplicadas solas. Los resultados indicaron que la EAR promedio de la mezcla RFR+SFT (72%) fue significativamente superior ($P < 0,01$) al valor obtenido para la RFR (53%), lo cual se atribuyó a una mayor absorción de P proveniente de la mezcla. Valores constantes de Pdft para la RFR y la mezcla RFR+SFT indicaron que la presencia de P soluble en la mezcla no incrementó la utilización de P del suelo. La fuente soluble por el contrario, produjo una disminución del Pdfr ($P < 0,05$) en la mezcla, lo cual indica una menor utilización de la RFR cuando la misma es mezclada con una fuente soluble. No hubo evidencias de mayor solubilización y/o utilización de la roca como resultado de su combinación con SFT. Estos resultados sugieren que la efectividad de la mezcla, en comparación con la RF sola (RFs), estaría más vinculada a una mayor utilización de la fuente soluble o una mejora de la disponibilidad de calcio en el suelo.

Palabras Clave: Fertilizantes fosfatados parcialmente solubles; roca fosfórica riecito (RFR); superfosfato triple (SFT); mezcla RFR+SFT; técnicas isotópicas (³²P).

1 El trabajo fue financiado en el marco del contrato de Cooperación técnica suscrito entre la Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía (Maracay, estado Aragua) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (Viena, Austria).

* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: enero 31, 2004.

**SOURCE OF ABSORBED PHOSPHORUS AND RELATIVE
AGRONOMIC EFFECTIVENESS IN MAIZE GROWING
ON AN ULTISOL OF COJEDES STATE, VENEZUELA**

Ana Salas*, Carmen Rivero* y Eduardo Casanova*

SUMMARY

Partially soluble phosphate fertilizers manufactured from Riecito phosphate rock (RFR) constitute an alternative to meet P demands of annual crops in Venezuela. The presence of soluble and insoluble forms of P in such fertilizers has suggested a positive interaction that could increase P utilization of the RFR by the crops. To evaluate this interaction, a greenhouse experiment was carried out with the aid of isotopic techniques (^{32}P) in order to determine the relative agronomic effectiveness (EAR) and the source of P taken up by maize, *Zea mays* L., in mixtures of RFR and triple superphosphate (SFT). The amount of P taken up by the plant derived from the soil (Pdfs), the phosphate rock (Pdfr) and the triple super phosphate (Pdff) in the mixture RFR+SFT was compared with the amount of P coming from the P sources applied alone. Results indicated a significantly higher EAR ($P < 0.01$) for the mixture RFR+SFT (72%) as compared with the value given by the RFR (53%) which was due to an increase in the amount of P taken up from the mixture. Relatively constant values of Pdfs for the RFR and RFR+SFT treatments suggested that the presence of soluble P in the mixture did not increase the P utilization from the soil. On the contrary, the presence of a soluble form in the mixture significantly decreased the P utilization of the RFR as indicated by the Pdfr results. Thus, there was no evidence of a higher solubilization and/or P utilization of the RFR resulting from its combination with the SFT. These results suggest that the effectiveness of the mixture RFR+SFT, in comparison with the RFR applied alone, might be better associated with an improvement in the utilization of the soluble P form and/or an increase in the soil's Ca availability.

Key Words: Partially soluble phosphate fertilizers; riecito rock phosphate (RR); triple superphosphate (TSP); mixture of RR and TSP; isotopic techniques (^{32}P).

1 El trabajo fue financiado en el marco del contrato de Cooperación técnica suscrito entre la Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía (Maracay, estado Aragua) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (Viena, Austria).

* Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Av. Universidad. Instituto de Edafología. Vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: enero 31, 2004.

INTRODUCCIÓN

La disolución de la roca fosfórica (RF) parcialmente acidulada ha sido estrechamente vinculada con la calidad de la RF empleada en su fabricación (Chien y Menon, 1995) y a la presencia de minerales accesorios, como calcita y dolomita, que reducen significativamente la eficiencia de acidulación (Salas, 1989); contenidos de óxidos de Fe superiores a 1,9% (Menon *et al.*, 1995; Prochnow *et al.*, 1997); presencia de residuos insolubles debido a una disolución preferencial de los componentes más reactivos del apatito; formación de fosfatos insolubles de Fe-Al-Mg y complejos con fluoruros durante el proceso de acidulación (Di *et al.*, 1994 y Condrón *et al.*, 1994).

Estos fertilizantes fosfatados de mediana solubilidad contienen formas solubles e insolubles de fósforo y ello ha sugerido la existencia de una interacción positiva entre dichas formas de P, la cual podría ser responsable en parte, por el incremento en efectividad observada en estos fertilizantes en comparación con las RF solas. Trabajos previos han sugerido que la presencia de la fuente soluble estimularía un desarrollo de las raíces que permitiría una mayor utilización de la porción insoluble contenida en la roca (Chien y Hammond, 1988; Rajan y Watkinson, 1992). La interacción positiva entre ambas formas de P ha sido igualmente atribuida a una solubilización adicional de la roca como consecuencia de su reacción con los protones producidos durante la hidrólisis del fosfato monocalcico presente en el superfosfato triple (Monkwunye y Chien, 1980).

Estos mecanismos de interacción han permanecido como hipótesis de trabajo dada la dificultad de las técnicas convencionales para identificar y cuantificar la procedencia del P utilizado por la planta. Por otra parte, trabajos conducidos con la ayuda de técnicas isotópicas (^{32}P) han arrojado conclusiones diferentes en cuanto a los posibles mecanismos participantes. Chien *et al.*, (1996) por ejemplo, encontraron una mayor utilización de P proveniente de la RF Florida Central cuando dicha roca se mezcló con superfosfato triple (SFT), lo cual atribuyeron a un estímulo en el desarrollo radical. Xiong *et al.* (1996) por su parte, no observaron incremento alguno al usar una mezcla similar, pero si detectaron una mayor utilización del SFT, por lo cual sugirieron que la RF es capaz de mejorar la disponibilidad de P de la fuente soluble o por lo menos su eficiencia de uso.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal la evaluación, mediante técnicas isotópicas, de la utilización del P proveniente de la RF y el SFT en mezclas de ambas fuentes aplicadas en un suelo ácido bajo condiciones de invernadero y usando el maíz como cultivo indicador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado forma parte del horizonte superficial (0-15 cm) de un Typic Paleustult situado 7 km al norte de la localidad de El Pao, estado Cojedes, Venezuela, en una zona agroecológica de bosque seco tropical. El suelo fue secado al aire y tamizado para obtener un tamaño de agregados de 4 mm. Las principales características del suelo se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Características del suelo utilizado en el experimento.

Característica	Resultado
Clasificación taxonómica	Typic Paleustult
Textura:	Franco arenoso
Arcilla (%)	12
Arena (%)	70
Limo (%)	18
pH (1:1, suelo: agua)	4,8
C orgánico total, gC kg ⁻¹	8,7
Pi extraído con resina, µgP g ⁻¹	0,5
P extraído con Bray II, µgP g ⁻¹	7,8
P Total, µgP g ⁻¹	285
P adsorbido obtenido mediante isothermas de adsorción a, µgP g ⁻¹	40
Capacidad de intercambio catiónico, NH ₄ AcO pH 5,0, cmolckg ⁻¹	5,8
Al intercambiable en KCl, cmolckg ⁻¹	0,7

^aP adsorbido requerido para mantener una concentración de P en solución de 0,2 µgP ml⁻¹, obtenido mediante isothermas de adsorción de acuerdo al método de Fox y Kamprath (1970).

Roca fosfórica

Se usó la RFR en su condición natural, ésta proviene del yacimiento ubicado en la región centro-costera del estado Falcón. La composición química de esta roca molida a una granulometría <0,150 mm es la siguiente: P_2O_5 27,1%, CaO 38,3%, MgO 0,11; Al_2O_3 3,91% y Fe_2O_3 1,42% (Fayard y Truong, 1990; Casanova, 1993). La misma es clasificada como una roca de alta reactividad con solubilidades en citrato de amonio (pH 7), ácido cítrico 2% y ácido fórmico 2% de: 11, 53 y 56% del P total, respectivamente (Zapata y Salas, 1991; Fayard y Truong, 1990). La longitud del eje cristalográfico de la francolita contenida en dicha roca es 9,386 Å (McClellan *et al.*, 1982). La RFR finamente molida (100% < 0,15 mm) fue usada como fuente para aplicación directa en la mezcla y como fuente para producir SFT en el laboratorio.

Superfosfato triple

Para la preparación del SFT en el laboratorio se usó RFR molida y ácido fosfórico grado reactivo (85%). La cantidad de ácido fosfórico requerida se calculó basado en la estequiometría de la reacción de acidulación y la composición química de la roca. La acidulación se efectuó mediante el procedimiento establecido por el International Fertilizer Development Center, el cual ha sido utilizado previamente a escala laboratorio para producción de fertilizantes fosfatados de mediana solubilidad a partir de rocas venezolanas (Salas, 1989).

Se usó un tiempo de curado de 1,5 semanas para asegurar la completa solubilización de la RF. La fuente de SFT fue empleada en dos modalidades: no marcado y marcado con ^{32}P . En el segundo caso, se usó el procedimiento ya descrito, sólo que el ácido fosfórico empleado en la acidulación contenía ^{32}P . El ácido fosfórico marcado se preparó al agregar una solución de ^{32}P al ácido fosfórico requerido para la acidulación, la solución se mantuvo en agitación continua por 10 horas para favorecer el intercambio isotópico.

La cantidad de ^{32}P agregada para el marcaje fue estimada para producir un SFT con una actividad específica aproximada de 50 MBq g^{-1} P al momento de la siembra. Al final del período de curado, tanto el SFT marcado como el no marcado fueron secados en estufa a 60 °C por 48 h, luego de lo cual el material fue molido manualmente en un mortero de

ágata. Una muestra de SFT marcado seco se utilizó para la determinación de la actividad específica mediante análisis de ^{32}P y P total en el fertilizante. La actividad del ^{32}P fue determinada en un contador de centelleo líquido con uso del efecto Cerenkov. Los análisis de P total en el SFT marcado y no marcado se efectuaron colorimétricamente, método de Murphy y Riley (1962), después de digerir muestras de los fertilizantes con $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3$ concentrado.

Experimento de invernadero

Se utilizaron técnicas isotópicas a objeto de identificar y cuantificar la procedencia del P absorbido por el maíz, *Zea mays* L., después de la incorporación conjunta de RFR y SFT. El procedimiento básico empleado ha sido previamente descrito por Zapata y Axmann (1995), preparando una solución que contenía ^{32}P y ^{31}P en proporciones tales que 50 mL de la misma aportara 7,4 MBq de ^{32}P y una dosis equivalente de portador (^{31}P) de 5 mgP kg⁻¹ en la forma de KH_2PO_4 . Esta solución marcada con ^{32}P contenía una actividad de 0,148 MBq mL⁻¹. En el experimento en potes de 2 kg de suelo se establecieron cuatro tratamientos como se describe en el Cuadro 2. Las unidades experimentales fueron dispuestas según un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

CUADRO 2. Tratamientos usados en el experimento en potes de 2 kg de suelo y en dosis de P de 0; 12,5; 25; 50 y 100 mgP kg⁻¹

Tratamientos	Fuentes de P	Observaciones
1	Roca Fosfórica (RR)	+ 50 ml de solución marcada
2	Superfosfato Triple (SFT)	+ 50 ml de solución marcada
3	RR + SFT	+ 50 ml de solución marcada (50 % del P total aportado por cada fuente)
4	RR + SFT	SFT marcado

Los nutrimentos fueron incorporados, a los fines de suplir las cantidades óptimas, bajo las siguientes formas: Nitrógeno (100 mg kg^{-1}) como urea, potasio (80 mg kg^{-1}) como K_2SO_4 , magnesio (10 mg kg^{-1}) como MgSO_4 , cobre (3 mg kg^{-1}) como CuSO_4 , zinc (6 mg kg^{-1}) como ZnSO_4 y boro (1 mg kg^{-1}) como ácido bórico. Se sembraron semillas de maíz (Hibrido PB-8) en cada pote, dejando tres plantas en cada uno.

La biomasa aérea fue cosechada siete semanas después de la germinación, y secada a 60°C durante 48 h. El material seco se pesó y molió usando un molino Wiley. Muestras de 1 g de material molido fueron calcinadas a 550°C durante 4 h. Las cenizas se disolvieron con 10 ml de HNO_3 (1:10) y la suspensión transferida cuantitativamente a un balón aforado de 50 ml para análisis de ^{31}P , ^{32}P y Ca.

El P fue determinado colorimétricamente según el método de Murphy y Riley (1962), mientras que el calcio fue determinado por espectroscopía de absorción atómica. El análisis de radioactividad (^{32}P) en el extracto de planta se realizó mediante un contador de centelleo líquido con uso del efecto Cerenkov. Las correcciones por background y quenching químico se realizaron con el uso de blancos preparados a partir de plantas no marcadas. La actividad específica del P absorbido por la planta en cada tratamiento se calculó al dividir la radioactividad total obtenida entre la cantidad total de P en el extracto de planta.

Las cantidades de P absorbidas por la planta, provenientes de cada una de las fuentes evaluadas, se calcularon mediante el método de dilución isotópica descritos por Zapata y Axmann (1995) y Salas (1995).

La cantidad de P absorbida por la planta proveniente de la RFR en la mezcla RFR+SFT se obtuvo al restar la cantidad de P derivado del SFT en la mezcla, obtenido en el tratamiento 4, del P absorbido proveniente de la mezcla RFR+SFT, obtenido en el tratamiento 3. De igual forma, se obtuvieron los porcentajes de P absorbido por la planta proveniente del suelo (%Pdfs), la RFR (%Pdfr) o el SFT (%Pdff); para ello se dividieron las cantidades de P absorbidas provenientes de cada fuente, entre la cantidad total absorbida por la planta en cada tratamiento.

Los resultados de biomasa aérea para cada una de las fuentes evaluadas fueron representados a través de modelos de regresión cuadráticos en los cuales se usó la dosis de P como variable dependiente. Debido a que la cantidad de P absorbido por la planta, proveniente de las diferentes

fuentes, presentó un comportamiento lineal, se utilizó un modelo de regresión lineal con variables dummy a objeto de comparar los diferentes tratamientos.

Por otra parte, se efectuó una comparación de medias para determinadas combinaciones de fuentes y dosis mediante el uso de la prueba de Tukey con una probabilidad de 0,05. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa SAS (1999). La efectividad agronómica relativa (EAR) también fue calculada isotópicamente, empleando para ello la absorción de P derivado de los diferentes tratamientos, según la fórmula general:

$$EAR = \left[\frac{P_{\text{absorbido proveniente del tratamiento}}}{P_{\text{absorbido proveniente del SFT}}} \right] \times 100$$

Del mismo modo, la EAR fue calculada como la relación de coeficientes de regresión lineal obtenidos entre el P absorbido y las dosis de P para los diferentes tratamientos y el SFT, de acuerdo al método sugerido por Chien *et al.* (1990).

Al final del experimento se colectaron muestras de suelo para efectuar diferentes análisis químicos. Muestras de suelo húmedo provenientes de los tratamientos RFR, RFR+SFT y SFT fueron utilizadas para determinar pH en agua (1:1) y Al intercambiable extraído con KCl (1N).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La incorporación conjunta de RFR y SFT en relación 1:1 aumentó significativamente, en un 10 %, la materia seca producida en comparación a la RFR sola (RFs, Figura 1). Un comportamiento cuadrático para la respuesta del cultivo a las diferentes dosis de las fuentes sugiere que el rendimiento máximo potencial estuvo influenciado por la fuente de P utilizada. Mientras que en el caso de los tratamientos RFR y RFR+SFT el máximo rendimiento fue alcanzado a partir de la dosis de 50 mgP kg⁻¹, se observó una respuesta creciente para el SFT en el mismo rango. Lo anterior sugiere una respuesta positiva a la disponibilidad de P y confirma observaciones previas las cuales destacan la influencia de la solubilidad de la fuente en el crecimiento temprano y la absorción de P por el maíz en suelos altamente deficientes en P (Salas, 1995).

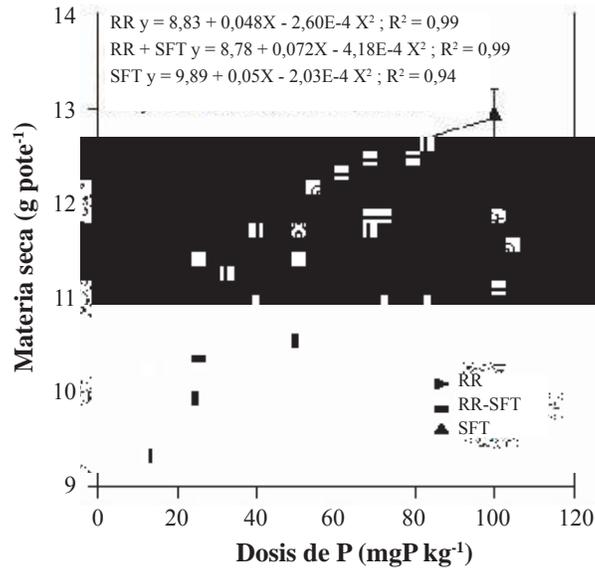


FIGURA 1. Rendimiento en materia seca del maíz en los diferentes tratamientos evaluados a nivel de invernadero.

La aplicación de técnicas isotópicas permitió calcular la cantidad total de P absorbido por el cultivo, proveniente de los diferentes tratamientos (Figura 2). La absorción de P para las diferentes dosis evaluadas presentó un comportamiento lineal influenciado por la fuente de fósforo utilizada. Mientras que no se detectaron diferencias estadísticas entre los coeficientes de regresión lineal obtenidos para el SFT (0,29) y la combinación RFR+SFT (0,28); estos valores fueron significativamente superiores ($P < 0,001$) al valor obtenido para la RFR (0,15). Si se considera cada dosis de P, en forma aislada, los resultados indican una mayor absorción de P proveniente del SFT, en comparación con los respectivos valores de P absorbido proveniente de la RFR sola o la combinación RFR+SFT ($P < 0,05$). Por otra parte, al expresar la absorción de P proveniente de los diferentes tratamientos en términos de efectividad agronómica relativa (EAR; Cuadro 3), se observó, la siguiente secuencia: $RFR < RFR+SFT < SFT$, influenciada por la solubilidad de la fuente utilizada. En este sentido, el tratamiento con menor solubilidad, RFR, mostró una EAR promedio de 53%, mientras que la combinación RFR+SFT obtuvo un valor intermedio de 72%.

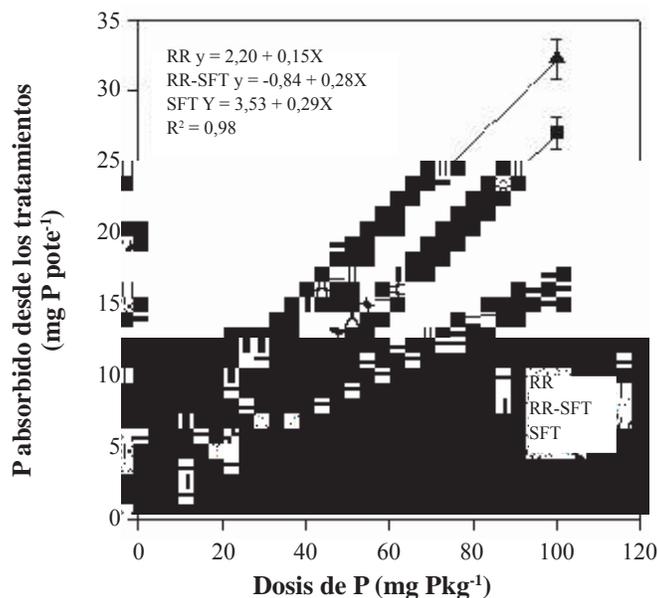


FIGURA 2. Cantidad de fósforo absorbido por el maíz en los diferentes tratamientos evaluados a nivel de invernadero.

El comportamiento intermedio observado para el tratamiento de incorporación conjunta de RFR y SFT se explicaría como el resultado de la incidencia simultánea de varios efectos. Primero, la presencia de una fracción soluble del P puede favorecer un desarrollo radical temprano lo cual promovería una mayor utilización del P disponible.

Resultados similares han sido encontrados por Yao y Barber (1986) quienes demostraron que la utilización de fosfato soluble estimula el desarrollo de raíces a tempranas etapas de crecimiento del maíz. Esta estimulación en el desarrollo radical podría no solamente favorecer una mayor absorción de fósforo proveniente del suelo, sino que también mejoraría la utilización de P proveniente de la RF (Chien y Hammond, 1988; Chien *et al.*, 1996). Un segundo efecto estaría vinculado a la presencia de minerales accesorios presentes en la RF, tales como calcita y dolomita, que podrían alterar la disponibilidad de otros nutrientes, tales como Ca y Mg (Xiong *et al.*, 1996); así como, modificar la capacidad de fijación del P en el suelo (Mokwunye y Chien, 1980).

CUADRO 3. Efectividad agronómica relativa (EAR) para las diferentes dosis y fuentes de P utilizadas en el experimento.

Fuentes de P	Efectividad agronómica relativa (EAR), %			
	Dosis de P, mgP kg ⁻¹			Según Chien <i>et al.</i> (1990)
	25	50	100	
RR	46 a	53	51	51 b
RR + SFT	55	72	84	97
SFT	100	100	100	100

^a EAR = [P absorbido por la planta proveniente del tratamiento/ P absorbido por la planta proveniente del SFT] * 100.

^b EAR calculada como la relación de coeficientes de regresión lineal obtenidos para el tratamiento y el SFT, respectivamente.

Finalmente, se ha sugerido que la incorporación conjunta de SFT y RF induciría una solubilización adicional de la roca debido a la acidificación del suelo producida durante la hidrólisis del SFT (Mokwunye y Chien, 1980).

Para evaluar estos efectos más detalladamente, se determinó el origen del fósforo absorbido por la planta con la ayuda de técnicas isotópicas. Los porcentajes de P absorbido por la planta proveniente tanto del suelo, como de las fuentes de P aplicadas solas o en combinación aparecen en el Cuadro 4. Los resultados indicaron fluctuaciones en el porcentaje de P derivado del suelo (%Pdfs), sin embargo, la cantidad de P en la planta proveniente del suelo resultó relativamente constante (entre 8,9 y 11,6 mgP pote⁻¹), independiente de la fuente o dosis de P utilizada. Estos valores relativamente constantes de P exportado desde el suelo, los cuales no se diferenciaron del control, 9,1 mgP pote⁻¹, sugieren que no hubo limitaciones en cuanto a la accesibilidad del sistema radical a las reservas de P del suelo.

Para evaluar la utilización de la fuente insoluble se determinó el porcentaje de P en la planta proveniente de la RF (%Pdfr) para aplicaciones de RFs y en combinación con SFT (Cuadro 4). En las aplicaciones de RFs, el porcentaje de P derivado de la RFR fluctuó entre 25 y 64%. Como se esperaba, el porcentaje se incrementó con la dosis de RFR utilizada

como consecuencia de un aumento en la contribución de dicha fuente en la nutrición de la planta. Estos valores son, sin embargo, superiores a los señalados por Kato *et al.* (1995) para las RFs de Carolina del Norte y Togo (10-15%).

Los valores más altos de %Pdfr obtenidos podrían atribuirse a la menor cantidad de portador utilizada en este estudio (5 mgP kg^{-1}), en comparación con la cantidad (25 mgP kg^{-1}) usada por Kato *et al.* (1995), lo cual posiblemente contribuyó en este caso, a incrementar la proporción de P proveniente de la RF. Ahora bien, es importante señalar que, dado las severas limitaciones de P existentes en el suelo bajo estudio, y el efecto que puede tener la presencia de portador (^{31}P) sobre la disolución de las RF (Khasawneh y Doll, 1978), se prefirió utilizar una menor cantidad de portador.

CUADRO 4. Porcentaje del fósforo total absorbido por el maíz proveniente de la roca Riecito (%PdRR), SFT (%PdSFT) y el suelo (%Pdsuelo), para cada una de las fuentes evaluadas bajo condiciones de invernadero.

Fuente de P	Dosis de PmgP kg ⁻¹	Pdsuelo mgP pote ⁻¹	%Pdsuelo	%PdRR	%PdSFT
RR	125	89	75	25	
	25	96	66	34	
	50	99	48	52	
	100	92	36	64	
SFT	125	101	68		32
	25	108	50		50
	50	94	35		65
	100	105	25		75
RR+SFT	25	104	62	13	25
	50	112	47	13	40
	100	116	30	16	54
Control		91			
HSD 0,05		20			

En relación a la absorción de P proveniente de la RF en el tratamiento de aplicación conjunta, los resultados (Cuadro 4) revelan que no hubo incremento en la utilización de esta fuente debido a su combinación con el SFT. Los valores promedios de %P_{dfr}, para el tratamiento RFR+SFT (13, 13 y 16%), fueron inferiores a los obtenidos para la RFs (25-64%). Lo anterior sugiere que la fuente de alta solubilidad en la mezcla es utilizada en mayor proporción por el cultivo, lo que disminuyó la participación relativa de la RFR.

Por otra parte, estos valores relativamente constantes de porcentaje P_{dfr} en el tratamiento RFR+SFT, a pesar de la dosis creciente de P, indican que los incrementos en la absorción de P por la planta, se atribuyen mayoritariamente a la fuente soluble y no a un incremento en la utilización de la RFR. En efecto, los resultados indicaron que un incremento en la dosis de P en el tratamiento RFR+SFT provocó sólo un aumento en la utilización del P proveniente del SFT (%P_{dff}), tal como se observa en el Cuadro 4, el cual pasó de 25% para la dosis 25 mg P kg⁻¹ a 54% para la dosis de 100 mg P kg⁻¹. Esto se corresponde con resultados de pH los cuales indican cambios significativos sólo para la RFR, mientras que los otros tratamientos no difirieron estadísticamente del control con pH 4,8 (Cuadro5).

La cantidad absoluta de P absorbido por la planta proveniente de la RFR (P_{dfr}) en aplicaciones de RFs o en combinación RFR+SFT apoyan las conclusiones anteriores. Al comparar las cantidades de P proveniente de la RFR (P_{dfr}) en el tratamiento RFR+SFT con los valores obtenidos para la RFs, se observó una menor utilización ($P < 0,05$) del P de la roca en el tratamiento RFR+SFT. Por ejemplo, a una misma dosis de RFR de 25 mg P kg⁻¹, la planta utilizó 5,0 mg P proveniente de la RFR en el tratamiento RFs, mientras que sólo utilizó 2,2 mgP de dicha fuente en la mezcla RFR+SFT. En promedio, hubo una disminución del 40% en la cantidad de P absorbido proveniente de la RFR cuando la misma fue aplicada en combinación con el SFT. Estos resultados difieren de aquellos obtenidos por Chien *et al.* (1996) al usar RF Florida Central en cultivos de maíz y maní. Estos autores obtuvieron un aumento en la absorción de P proveniente de la RF de 165 y 72% para maíz y maní, respectivamente, en aplicaciones conjuntas de RF y SFT.

El uso de técnicas isotópicas permitió además evaluar el efecto de la aplicación conjunta RFR+SFT sobre la utilización del P proveniente del SFT. A diferencia del comportamiento observado para la absorción de P

proveniente de la RFR, la aplicación de RFR+SFT produjo un incremento significativo en la absorción de P proveniente del SFT para la dosis más alta de SFT (50 mgP kg⁻¹). En este caso, la incorporación conjunta de SFT y RFR incrementó la absorción de P proveniente del SFT en un 20%. No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos RFR sola y RFR+SFT para las dosis de 12,5 y 25 mgP kg⁻¹ de SFT.

CUADRO 5. Efecto de las fuentes evaluadas sobre el pH y Al intercambiable medido al final del experimento^a.

Tratamiento	pH	Al intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)
RFR	5,20 a	0,45 b
SFT	4,61 b	0,81 a
Control	4,80 b	0,70 a

^a Mediciones efectuadas en los tratamientos RR y SFT aplicados a una dosis de 50 mgP kg⁻¹.

El hecho de que la combinación de ambas fuentes haya favorecido relativamente más la absorción de P proveniente de la fuente soluble en comparación con la fuente insoluble, sugiere que la RFR podría contribuir a mejorar la disponibilidad de P del SFT o su eficiencia de uso. Trabajos previos han indicado que aplicaciones de RF pueden mejorar la disponibilidad de P soluble al reducir la capacidad de fijación de P del suelo (Mokwunye y Chien, 1980). A pesar de no existir, en el presente estudio, diferencias en el pH del suelo entre los tratamientos RFR+SFT y el control, los resultados indicaron una disminución significativa del contenido de Al intercambiable en el suelo para el tratamiento RR+SFT (Cuadro 5), ello sugiere una posible reducción de la capacidad de fijación de P al combinar RFR con SFT.

El valor agronómico de las RF de mediana y alta reactividad como fuentes de calcio ha sido ampliamente reconocido, especialmente en suelos ácidos con alta saturación de Al (Hellmuns *et al.*, 1989, Xiong *et al.*, 1996). En el presente estudio, a pesar de que una cantidad significativa de Ca fue incorporada como SFT (12,5 - 50 mg Ca kg⁻¹), el cultivo mostró una mayor absorción del elemento en el tratamiento RFR+SFT, en comparación con el tratamiento que recibió sólo SFT (Cuadro 6).

Esta respuesta positiva a una mayor suplencia de Ca en el tratamiento RFR+SFT hace factible la inferencia de que un mejor estado nutricional de la planta haya contribuido también a una mejor utilización del SFT.

CUADRO 6. Efecto de las fuentes evaluadas sobre la absorción de calcio por el maíz.

Tratamiento	Cantidad de calcio absorbido (mg pote ⁻¹)
RFR	32 a
SFT	41 a
Control	11 b

^a Mediciones efectuadas en los tratamientos RR y SFT aplicados a una dosis de 50 mg P kg⁻¹.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo indican que la incorporación conjunta de RFR con SFT indujo una mayor utilización del P proveniente del SFT.
- Se observó una disminución del 40% en la absorción de P proveniente de la RF cuando la misma se combinó con el SFT. Un uso preferencial del SFT por parte del cultivo; así como, una posible disminución de la disolución de la RF residual, podrían ser algunos de los mecanismos responsables de este comportamiento.
- Los resultados sugirieron por otra parte, una interacción positiva de ambas fuentes en la mezcla RFR+SFT, favorable al uso del SFT, atribuible a un efecto indirecto asociado a la suplencia de otros nutrimentos, posiblemente Ca; o a una mejora en la disponibilidad y absorción de P de la fuente soluble.
- Una EAR promedio de 72% obtenida mediante técnicas isotópicas para la mezcla RFR+SFT, destaca el efecto benéfico de la incorporación conjunta de ambas fuentes.
- La extrapolación de la presente información para representar fertilizantes fosfatados parcialmente solubles queda sujeta a estudios más específicos en esta área.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Drs. Felipe Zapata y Jean-Claude Fardeau por su asistencia y valiosas sugerencias en el transcurso de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

CASANOVA, E. 1993. Las rocas fosfóricas y su uso industrial en Venezuela. Apuntes Técnicos PALMAVEN. PDVSA, Caracas. 124 p.

CHIEN, S. and L. HAMMOND. 1988. Agronomic evaluation of partially acidulated phosphate rock in the tropics: IFDC's experience. Pap. Ser. IFDC-P7. Int. Fert. Dev. Center. Muscle Shoals, AL. 26 p.

CHIEN, S., P. W. SALE and D. FRIESEN. 1990. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in solubility. Fert. Res. 24: 149-157.

CHIEN, S. H. and R. MENON. 1995. Agronomic evaluation of modified phosphate rock products. Fert. Res. 41(3):197-209.

CHIEN, S. H., R. MENON and K. BILLINGHAM. 1996. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. Soil Sci. Am. J. 60(4):1173-1177.

CONDRON, L., H. DI, A. CAMPBELL, K. GOH and R. HARRISON. 1994. Effects of partial acidulation on chemical and mineralogical characteristics of residual phosphate rocks. Fert. Res. 39(3):179-187.

DI, H., L. CONDRON, A. CAMPBELL, K. GOH and I. CORNFORTH. 1994. Causes for the reduced reactivity of phosphate rock residues in partially acidulated phosphate rocks. Aust. J. Soil Res. 32: 95-104.

FAYARD, C. et B. TRUONG. 1990. Caracterisation des phosphates naturels du Venezuela misc an point des engrais pour essais agronomiques. Institutes de Recherches Agronomiques Tropicales et de Cultures Vivrieres. IRAT. 168 p.

FOX, R. and E. KAMPRATH. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:902-907.

HELLUMS, D., S. CHIEN and J. TOUCHTON. 1989. Potencial agronomic value of calcium in some phosphate rocks from South America and West Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53(2):459-462.

KATO, N., F. ZAPATA and H. AXMANN. 1995. Evaluation of the agronomic effectiveness of natural and partially acidulated phosphate rocks in several soils using ^{32}P isotopic dilution techniques. *Fert. Res.* 41(3):235-242.

KHASAWNEH, F. and E. DOLL. 1978. The use of phosphate rock for direct application. *Adv. Agron.* 30:159-206.

McCLELLAN, G. H., F. N. SAAVEDRA and M. COOPER. 1982. Characteristics of some Latin American phosphorites. First Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology. Rio de Janeiro. Brazil. 1:105-113.

MENON, R., S. H. CHIEN and D. HELLUMS. 1995. Iron and aluminum oxide influence on agronomic effectiveness of modified phosphate rocks. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59(6):1.762-1.767.

MOKWUNYE, A. and S. CHIEN. 1980. Reactions of partially acidulated phosphate rock with soils from the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 477-482.

MURPHY, J. and J. P. RILEY. 1962. A modified single method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.

PROCHNOW, L., J. KIEHL and B. VAN RAIJ. 1997. Influence of cationic impurities in acidulated phosphates on the availability of phosphorus to two corn crops. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 28(15-16):1 375-1 391.

RAJAN, S. and J. WATKINSON. 1992. Unacidulated and partially acidulated phosphate rock: Agronomic effectiveness and the rates of dissolution of phosphate rock. *Fert. Res.* 33(3):269-277.

SALAS, A. 1989. Investigation of the utilization of two phosphate rocks from Venezuela. Research Report. IFDC, Muscle Shoals, AL. 17 p.

SALAS, A. 1995. Evaluación de la aplicación de fertilizantes fosfatados de mediana solubilidad en un Paleustult del estado Cojedes. Trabajo de ascenso a la categoría de Asistente. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 78 p.

SAS INSTITUTE. 1999. SAS Users Guide, Vol. 2. Versión 8 ED. SAS Inst. Cary, NC.

XIONG, L., Z. ZHOU and R. LU. 1996. Enhanced plant growth by uniform placement of superphosphate with rock phosphate in acid soils. *Comm. Plant and Soil Anal.* 27(15/17):2837-2850.

YAO, J. and S. BARBER. 1986. Effect of one phosphorus rate placed in different soil volumes on P uptake and growth of wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17:819-827.

ZAPATA, F. and H. AXMANN. 1995. ³²P isotopic techniques for evaluating the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *Fert. Res.* 41(3):189-195.

ZAPATA, R. y A. SALAS. 1991. Uso de la termodinámica para evaluar la reactividad de las rocas fosfóricas venezolanas. II Reunión de la red latinoamericana de roca fosfórica. San Cristóbal, estado Táchira.

EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA EN CULTIVARES DE CACAO VENEZOLANOS¹

**Rosalía Velásquez Salazar*, Yanet Sandra*,
Carmen Betancourt*, Jonás Mata* y Félix García***

RESUMEN

Los métodos tradicionales de propagación del cacao, *Theobroma cacao* L. (vegetativa y sexual) han sido las técnicas mayormente utilizadas por los productores venezolanos; sin embargo, estas no han sido las más favorables, porque se producen plantas con características agronómicas indeseables. Actualmente, dentro de las técnicas de cultivo de tejidos, la embriogénesis somática parece ser el método más eficiente de regeneración y multiplicación de clones de cacao. Para ello, se ajustó un protocolo donde se utilizaron como explantes órganos florales (estaminoidios, pétalos y anteras) y cotiledones inmaduros de los genotipos Choroni-42, Ocumare-77, Ocumare-61 y Porcelana, induciendo la formación de callo con Thidiazuron (TDZ), altas concentraciones de sacarosa y 2,4-D (2,4 diclorofenoxiacético); se indujo la formación de proembriones con cinetina y agua de coco. Los embriones fueron transferidos a un medio con aminoácidos y KNO₃, bajo condiciones de oscuridad y temperatura entre 26–29 °C. Los embriones cotiledonares se subcultivaron bajo condiciones de fotoperíodo 16/8 horas luz-oscuridad para la posterior formación de plantas.

Palabras Clave: Callos; embriones somáticos; *Theobroma cacao* L.; estaminoidios; cotiledones.

¹ Trabajo financiado por Fonacit.

* Investigadores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía (UCV- FAGRO). Instituto de Genética. Apto. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela.
E-mail: urdanet2@telcel.net.ve

RECIBIDO: octubre 04, 2004.

SOMATIC EMBRYOGENESIS IN VENEZUELAN COCOA CULTIVARS

Rosalía Velásquez Salazar*, Yanet Sandra*,
Carmen Betancourt*, Jonás Mata* y Félix García*

SUMMARY

The traditional sexual and asexual methods of cocoa propagation have been widely used in Venezuela and worldwide, however, they have not been successful since plants with undesirable agronomic characteristics are produced. At present, plant regeneration via somatic embryogenesis provides an alternative method for clonally propagating cocoa. Therefore, a protocol was developed in order to use staminode, petal, anther and immature cotyledon explants of genotypes Choroní-42, Ocumare-77, Ocumare-61 and Porcelana. Callus formation was induced with Thidiazuron (TDZ), high sucrose concentration and 2,4-D. Somatic embryos were induced with kinetin and coconut water. Embryos were transferred to a medium containing amino acids and KNO_3 and placed under dark conditions and 26-29 °C. Cotyledonary embryos were subcultivated under photoperiodic conditions of 16/8 hours light-dark for posterior formation of plants.

Key Words: Somatic embryogenesis; cocoa; *Theobroma cacao* L.; staminodes; cotyledon; callus.

¹ Trabajo financiado por Fonacit.

* Investigadores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía (UCV- FAGRO). Instituto de Genética. Apto. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela.
E-mail: urdanet2@telcel.net.ve

RECIBIDO: octubre 04, 2004.

INTRODUCCIÓN

El cacao, *Theobroma cacao* L., es un árbol tropical originario del Amazonas y cultivado ampliamente a escala mundial. La alta variabilidad genética observada en las plantas propagadas sexualmente, el alto costo y baja eficiencia de la propagación asexual, han obligado a los mejoradores y agricultores buscar otras alternativas de multiplicación de esta especie, además que permita mantener la estabilidad genética del cultivo y la calidad de su fruto.

Las técnicas de cultivo de tejidos contribuyen a mejorar el sistema de multiplicación de la especie, ya que es capaz de mantener la uniformidad genética de genotipos deseables. La embriogénesis somática (ES) es un sistema que permite obtener clones con una arquitectura dimorfica normal y un sistema radical de gran anclaje, además de los otros potenciales que esta técnica presenta para el mejoramiento genético, intercambio y conservación de material (Maximova *et al.*, 2002)

La ES en cacao ha sido trabajada desde la década de los 70; sin embargo, los resultados no fueron muy satisfactorios. Se han utilizados diferentes tipos de explantes (florales y foliares), genotipos y mezclas de medios de cultivo a fin de lograr regenerar clones que mantuvieran sus características genéticas en el tiempo (Esan, 1977; Aguilar *et al.*, 1992; López-Báez *et al.*, 1993; Alemanno *et al.*, 1997; López-Báez *et al.*, 2000).

Recientemente, Li *et al.* (1998) desarrollaron un método eficiente de producción de ES a partir de explantes florales y combinaciones de Thidiazuron (TDZ) y 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético).

Tomando en cuenta las necesidades que presentan los productores cacao-teros en Venezuela, el interés de renovar las viejas plantaciones y la demanda que actualmente tiene el producto, la investigación se orientó hacia la obtención de ES a partir de genotipos de importancia nacional por su calidad chocolatera y mediante la evaluación de diferentes explantes: cotiledones, estaminoidios y anteras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades fueron realizadas en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), Universidad Central de Venezuela (UCV), Facultad de Agronomía. El material

vegetal utilizado fue tomado de plantas de cacao adultas, establecidas en el campo de la Estación Experimental del INIA, ubicada en Ocumare de la Costa, estado Aragua y en el campo del Instituto de Genética de la Facultad de Agronomía de la UCV.

Se tomaron explantes florales y cotiledones inmaduros de los siguientes genotipos: Ocumare 61 (OC-61), Ocumare 77 (OC-77), Choroni 42 (CHO-42) y Porcelana UCV (Porc. - UCV), dividiéndose el experimento en dos ensayos de acuerdo al tipo de explante a utilizar.

1er. Ensayo. Explantes Florales

Botones florales sanos, totalmente cerrados, y longitud de 3,5 - 5 mm, se recolectaron en horas de la mañana, colocándolos en un envase de vidrio con agua destilada estéril fría y mantenidos en una cava con hielo hasta llegar al laboratorio. La desinfección de los botones florales se realizó con una solución de cloro al 5% por 10 minutos, el exceso de cloro fue eliminado con agua destilada estéril.

Para la inducción de callos, los explantes (estaminoidios, anteras y pétalos) fueron sembrados en el medio inicial que contenía las sales básicas de Driver y Kuniyuki (1984; DKW) tal como se observa en el Cuadro 1, suplementado con 22,7nM TDZ, dos concentraciones de sacarosa (40 y 80 g l⁻¹) y tres concentraciones de 2,4-D (4, 6 y 8 mg l⁻¹).

Una vez formados los callos fueron transferidos a un medio con las sales básicas de Lloyd y McCown (1981) presentado en el Cuadro 1, suplementado con 2,5 mg l⁻¹ cinetina, 50 ml l⁻¹ agua de coco y la concentración de sacarosa que mejor resultado dio en la fase anterior (80g l⁻¹).

Las masas pro embriogénicas se transfirieron a un medio de DKW rico en aminoácidos (0,044mg l⁻¹ arginina, 0,019 mg l⁻¹ glicina, 0,033 mg l⁻¹ leucina, 0,046 mg l⁻¹ lisina y 0,051 mg l⁻¹ triptofano) suplementado con 0,3 g l⁻¹ de KNO₃. Una vez iniciada la formación de embriones estos se subcultivaron en un medio con las sales básicas de DKW. Las condiciones de cultivo fueron de total oscuridad y temperatura de 26 – 29 °C.

2do. Ensayo. Explantes: Cotiledones inmaduros

Se recolectaron mazorcas de apariencia sana y en un estado de madurez intermedio, de aproximadamente 90 días, las mismas fueron desinfectadas con agua jabonosa y etanol al 70%. Una vez esterilizadas se desprende

el pericarpio, descubriendo las semillas, y sumergidas en una solución de cloro al 20% por 30 min, el exceso de cloro fue eliminado con agua destilada estéril. Las semillas inmaduras se cortaron transversalmente para descubrir el cotiledón y el embrión, sembrándolos individualmente en los medios de cultivo para inducir la formación de callos.

CUADRO 1. Composición de sales básicas usadas en la preparación de los medios de cultivo.

Sales Básicas	Murashige y Skoog	DKW	Loyd y McCown
Macros (mg l⁻¹)			
KNO ₃	1 900	---	---
NH ₄ NO ₃	1 650	1 416	400
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	---	1 969	556
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	149	96
MgSO ₄ ·7H ₂ O	370	740	370
K ₂ SO ₄	---	1 559	---
KH ₂ PO ₄	170	265	170
Micros (mg l⁻¹)			
KI	0,83	---	---
H ₃ BO ₃	0,62	0,48	6,2
MnSO ₄ ·4H ₂ O	155	---	29,43
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,86	---	8,6
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	0,39	0,25
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	0,025	0,25
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	---	---
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	---	17 000	---
MnSO ₄ ·H ₂ O	---	33 400	---
CaCl ₂	3	---	---
Ca(NO ₃) ₂	3	---	---

./... continúa

.../... continuación CUADRO 1.

Sales Básicas	Murashige y Skoog	DKW	LLoyd y McCown
Solución de Hierro			
FeSO ₄ 7H ₂ O	2 780	33 800	27,8
NA ₂ EDTA	3 730	45 400	37,3
Vitaminas			
Inositol	200	200	---
Glutamina	250	250	---
Ac. Nicotínico	1	1	---
Glicina	2	2	---
Tiamina	2	2	---
Vit. Gamborg	---	---	Si
TDZ	22,7nM	22,7nM	---
Phytigel (g l ⁻¹)	2	2	2,2
pH	5,8	5,8	5,7
Aminoácidos (mg l⁻¹)			
Arginina	-	0,04355	-
Glicina	-	0,01876	-
Leucina	-	0,03280	-
Lisina	-	0,04565	-
Triptofano	-	0,05105	-

Los medios a evaluar estaban compuestos por las sales básicas de Murashige y Skoog (1962; MS) y DKW (Cuadro 1) suplementado con tres concentraciones de sacarosa (40, 60 y 80 g l⁻¹) y tres de 2,4-D (4, 6 y 8 mg l⁻¹).

Con el objetivo de inducir la formación de estructuras embriogénicas, los callos formados fueron transferidos a un medio DKW suplementado con 0,4 mg l⁻¹ de Bencilaminopurina (BAP) y la concentración de sacarosa que arrojó los mejores resultados para la inducción de callos (60 g l⁻¹).

Los embriones fueron individualizados y transferidos al medio básico DKW suplementado con aminoácidos (0,044 mg l⁻¹ arginina, 0,019 mg l⁻¹ glicina, 0,033 mg l⁻¹ leucina, 0,046 mg l⁻¹ lisina y 0,051 mg l⁻¹ triptofano) y 0,3 g l⁻¹ de KNO₃, bajo condiciones de oscuridad y temperatura entre 26-29 °C.

Para el estudio de los resultados se utilizaron métodos no paramétricos en el análisis de varianza con el objeto de ver si existen o no diferencias entre los tratamientos aplicados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo I. Explantes Florales

Después de siete días de haber iniciado la implantación *in vitro*, se observó una duplicación del volumen de los explantes, indicio de respuesta callogénica; sin embargo, no se evidenció formación de callos, ni cambio de color de los explantes. Trece días más tarde, se observaron callos de color cristalino y apariencia higroscópica no compacta para los explantes pétalo y anteras; en contraste, los estaminoides fueron los que produjeron callos friables y de color cremoso, parámetros indicadores de la capacidad embriogénica del callo, siendo este el explante que mejor capacidad callogénica presentó.

Las concentraciones de sacarosa y 2,4-D que mejores resultados presentaron para el crecimiento y diferenciación de los estaminoides fueron las correspondientes al tratamiento T₄ (80 g l⁻¹ sacarosa + 4 mg l⁻¹ 2,4-D), debido a la respuesta callogénica encontrada a los 15 d de implantado el explante para los genotipos evaluados (Cuadro 2). Se encontró un 100% de formación de callos para el genotipo CHO-42, seguido por 24% y 20% para los genotipos OC-61 y Porc.-UCV, respectivamente.

En líneas generales el explante que logró duplicar su volumen y formar callos a los 15 días de la implantación en el medio en los distintos tratamientos fueron los estaminoides; sin embargo, para los tratamientos T₂ y T₃ no se observó duplicación del volumen de los explantes, observándose el más bajo porcentaje de formación de callos para todos los genotipos evaluados. Estos resultados indican que los explantes florales de cacao no responden eficientemente a la concentración de 40 g l⁻¹ de sacarosa. Además se observó una marcada respuesta genotípica, asociado al tipo de explante utilizado.

CUADRO 2. Porcentaje de estaminoides que duplicaron su volumen y formaron callos después de la implantación de los explantes en el medio.

Trat.	7 días									15 días								
	CHO-42			OC-61			Porc-UCV			CHO-42			OC-61			Porc-UCV		
	E	P	A	E	P	A	E	P	A	E	P	A	E	P	A	E	P	A
T ₁	60	20	8	8	28	4	40	16	36	80	64	60	12	28	20	8	28	4
T ₂	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	4	NC	NC	NC	NC	8	NC	NC	NC
T ₃	NC	NC	NC	NC	NC	NC	12	NC	NC	12	8	20	NC	NC	NC	NC	NC	NC
T ₄	100	24	48	20	NC	NC	20	16	24	100	96	64	24	NC	4	20	NC	NC
T ₅	60	20	64	20	NC	NC	32	12	28	64	36	64	20	NC	NC	20	NC	NC
T ₆	76	4	4	40	NC	NC	24	4	36	84	44	60	44	20	8	40	NC	NC

NC: No hubo formación de callos

E: estaminoides; P: Pétalos; A: Anteras

Porc.- UCV fue el único genotipo que dio una respuesta embriogénica, observándose las distintas fases de desarrollo de los ES (Figura 1). Una vez desarrollados los embriones cotiledonares (Figura 1b y 1c), estos fueron individualizados y subcultivados cada 14 d, con un fotoperíodo de 16/8 h luz/oscuridad para su diferenciación (Figura 1d y 1e). Los genotipos OC-61 y CHO-42 indujeron formación de raíces, a pesar de que los callos tenían apariencia embriogénica.

Ensayo II. Explantes Cotiledones inmaduros

Los análisis estadísticos (Cuadro 3) demostraron diferencias entre los tratamientos, formándose tres grupos de medias. El grupo a fue el que presentó mejor respuesta callogénica y estuvo representado por las sales básicas de DKW suplementado con 80g l⁻¹ sacarosa y 4mg l⁻¹ 2,4-D, igualmente mostró el mayor número de ES formados por callo. Los tratamientos que presentaban una alta concentración de 2,4-D (8mg l⁻¹) no respondieron satisfactoriamente a la inducción de callo, observándose además una baja o nula formación de embriones (grupo b); sin embargo, se observaron diferencias genotípicas para algunos tratamientos. El tercer grupo (ab) agrupo a la mayoría de los tratamientos, esto parece indicar que no existe diferencias entre los medios de cultivo durante el proceso de inducción de callos pero sí sobre la formación de ES.

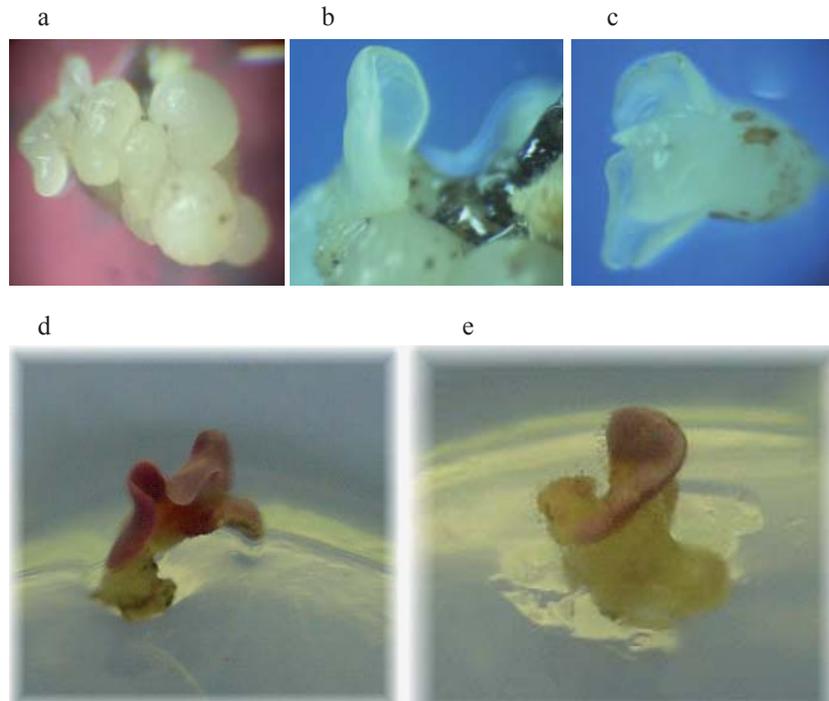


FIGURA 1. **a)** Embriones somáticos globulares; **b y c)** Embriones somáticos en fase cotiledonar; **d y e)** Embriones somáticos cotiledonares bajo condiciones de fotoperíodo 16/8 horas (luz/oscuridad); Provenientes de estaminoides del genotipo Porcelana (Porc.-UCV).

Se evidenciaron diferencias en la estructura y apariencia del callo. Se observaron callos de aspecto más uniforme en la concentración de 60 gr l⁻¹ de sacarosa, en comparación con las otras concentraciones donde los callos, para ambos genotipos, presentaban porciones hídricas y compactas. La mayoría de los callos fueron de apariencia friable y color crema; sin embargo, se pudo observar callos hiperhídricos en los tratamientos que contenían las sales básicas de MS y altas concentraciones de 2,4-D.

CUADRO 3. Porcentaje de inducción de callos y ES a partir de embriones cigóticos inmaduros en los genotipos OC-61 y OC-77.

Tratamiento	% Callos		% Embriones		N. ES/Cotiledón		
	OC-61	OC-77	OC-61	OC-77	OC-61	OC-77	
	T ₁	60 ab	60 ab	30	20	1,8	1,2
	T ₂	70 ab	60 ab	20	30	1,4	1,8
	T ₃	70 ab	80 ab	30	30	2,1	2,4
	T ₄	70 ab	70 ab	ne	ne	0	0
MS	T ₅	60 ab	40 ab	ne	ne	0	0
	T ₆	60 ab	60 ab	ne	ne	0	0
	T ₇	70 ab	70 ab	ne	ne	0	0
	T ₈	10 b	10 b	ne	ne	0	0
	T ₉	10 b	20 ab	ne	ne	0	0
	T ₁₀	60 ab	50 ab	50	20	2,5	1
	T ₁₁	70 ab	70 ab	50	30	3,5	2,1
	T ₁₂	80 a	90 a	50	30	4	2,7
	T ₁₃	50 ab	20 b	80	90	4	1,8
DKW	T ₁₄	50 ab	30 ab	70	70	3,5	2,1
	T ₁₅	50 ab	30 ab	60	50	3	1,5
	T ₁₆	30 ab		30	20	0,9	0,4
	T ₁₇	30 ab	20 b	30	20	0,9	0,4
	T ₁₈	30 ab	30 ab	30	30	0,9	0,9

Después de 7 d de transferidos los callos de apariencia embriogénica al medio de inducción de embriones, se observaron ES en estado globular (Figuras 2a y 3a) para los dos genotipos evaluados. La diferenciación de los embriones en sus diferentes etapas de desarrollo (corazón, torpedo y cotiledonar) ocurrió a los 14 d después de transferidos al medio básico (Figuras 2b, 2c, 3b y 3c).

Se observaron diferencias entre el porcentaje de ES formados y los medios de inducción; sin embargo, los callos embriogénicos subcultivados en los medios que contenían las sales básicas de MS tendían a necrosarse después de varios subcultivos y finalmente morían, por el contrario, en el medio de DKW y 60 g l⁻¹ de sacarosa, los callos embriogénicos permanecieron friables. Estos resultados coinciden con los encontrados por Li *et al.* (1998), al evaluar distintos tipos de explantes y dos medios de cultivo, señalando una rápida senescencia, necrosis de tejido y de ES formados.

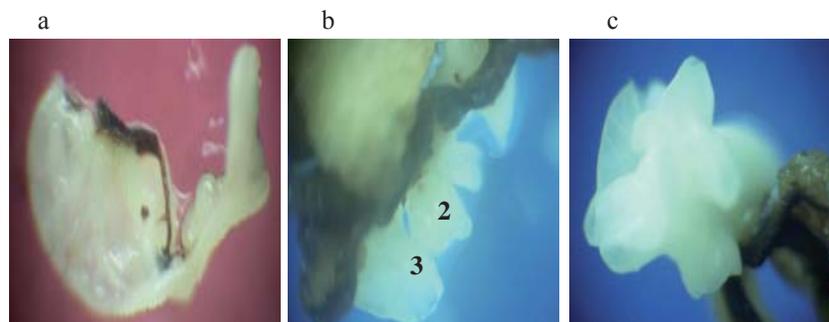


FIGURA 2. a) Embriones somáticos en fase globular; **b.1)** Embrión somático en fase de torpedo; **b.2-3)** Embrión somático en fase cotiledonar temprana y avanzada; **c)** Embriones cotiledonares, algunos con hojas expandidas; Provenientes de embriones cigóticos inmaduros del Genotipo Ocumare-77.

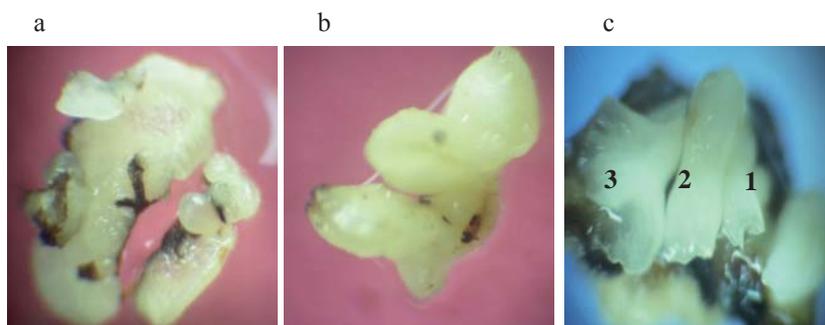


FIGURA 3. a) Embriones somáticos en fase globular; b) Embrión somático en fase acorazonada; c.1) Embrión somático en fase de torpedo temprano; c.2) Embrión somático en fase de torpedo tardío; c.3) Embrión somático en fase cotiledonar; Provenientes de embriones cigóticos inmaduros del genotipo Ocumare-61.

La concentración de calcio, azufre y magnesio aplicada al medio de DKW, juega un papel esencial en el proceso de diferenciación celular de tejidos recalcitrantes como son los de cacao (Pedroso *et al.*, 1996; Li *et al.*, 1998; Tan y Furtek, 2003).

CONCLUSIONES

- Los estaminoides son los explantes que mejores resultados dieron para la inducción de callos embriogénicos en los distintos genotipos, al utilizar una concentración de 80g l⁻¹ sacarosa y 4 mg l⁻¹ 2,4-D. Sin embargo, el genotipo Porc.-UCV fue el único que formó ES en las distintas fases de desarrollo, demostrándose así diferencias entre los genotipos evaluados.
- La concentración de sacarosa (80g l⁻¹) y 2,4-D (4 mg l⁻¹) fue la que indujo una mayor cantidad de callos embriogénicos a partir de cotiledones inmaduros, para los genotipos OC-61 y OC-77. Los genotipos Porc.-UCV y CHO-42 no formaron callos.

- Las sales básicas de DKW inducen de manera más eficiente la formación de callos embriogénicos en comparación con el medio que posee las sales básicas de MS.
- No se observó diferencias genotípicas para los cultivares OC-61 y OC-77 en relación con la formación de ES a partir de cotiledones inmaduros.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, M. E., V. VILLALOBOS and N. VÁSQUEZ. 1992. Production of cocoa plants (*Theobroma cacao* L.) via micrografting of somatic embryos. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 28:15-19.

ALEMANNI, L., M. BERTHOULY and N. MICHAUX-FERRIÈRE. 1997. A comparison between *Theobroma cacao* L. zygotic embryogenesis and somatic embryogenesis from floral explants. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 33:163-172.

DRIVER, J. A. and A. H. KUNYUKI. 1984. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock. *Hortsci.* 19:507-509.

ESAN, E. B. 1977. Tissue culture studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) A supplementation of current research. **In:** Proc. 5th Int. Cacao Res. Conf. 1975. Ibadan. Cacao Res. Inst. Nigeria: 116-125.

LI, Z., A. TRAORE, S. MAXIMOVA and M. GUILTINAN. 1998. Somatic embryogenesis and plant regeneration from floral explants of cacao (*Theobroma cacao* L.) using Thidiazuron. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 34: 293-299.

LÓPEZ-BAEZ, O., H. BOLLÓN and A. ESKES. 1993. Embriogénese somatique de cacaoyer *Theobroma cacao* L., a partir de pièces florales. *C.R. Acad. Sci. Paris* 316:579-584.

LÓPEZ-BAEZ, O., J. MORENO-MARTÍNEZ y S. PACHECO-RODAS. 2000. Avances en propagación de cacao *Theobroma cacao* L. por embriogénesis somática en México. International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding. Kota Kinabalu, Sabah, Malasia. 163-177 pp.

LOYD, G. and B. McCOWN. 1981. Commercially feasible micropropagation of mountain laurel *Kalmia latifolia* by use of shoot tip culture. Proc. Int. Plant Prop. Soc. 30:421-427.

MAXIMOVA, S., L. ALEMANO, 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.

MURASHIGE, T. and F. A. SKOOG. 1962. Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15:473-497.

MURCH, S. J., J. M. VICTOR, S. KRISHNARAJ and P. K. SAXENA. 1999. The role of proline in thidiazuron induce somatic embryogenesis of peanut. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 35:102-105.

PEDROSO, M., R. TAVRES and T. LINO-NETO. 1996. Early events in somatic embryogenesis induction. **In:** Somatic Cell Genetics and Molecular Genetics of Trees. The Netherlands. Kluwer Acad. Publishers. 17-22 pp.

TAN, C. and D. B. FURTEK. 2003. Development of an *in vitro* regeneration system for *Theobroma cacao* L. from mature tissue. *Plant Sci.* 164: 407-412.

PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS Y ROTACIÓN CON QUINCHONCHO ALTERNATIVAS SUSTENTABLES PARA LOS AGROECOSISTEMAS DE SABANAS DE GUÁRICO, VENEZUELA¹

Marisol López*, Ángela Bolívar*, Manuel Salas**
y María De Gouveia**

RESUMEN

En suelo ácido de sabanas se evaluó el efecto de prácticas conservacionistas: mínima labranza, uso de cultivares tolerantes a la acidez, uso de abonos orgánicos combinados con inorgánicos en bajas dosis y la rotación sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Möench, quinchoncho, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en la productividad del suelo, y los rendimientos en grano y biomasa aérea del quinchoncho. Las fuentes de fósforo fueron: roca fosfórica de Riecito (RFR) natural y RFR parcialmente acidulada (RFRPA) y la fuente industrial: fosfato diamónico (FDA). Los tratamientos inorgánicos: T₁ (N+0P+K), T₂ (N +P-RFR+K), T₃ (N+ P-RFRA K+) y T₄ (N+P-FDA+ K). Aplicando en kg ha⁻¹ 100 de N + 80 de P + 60 de K en sorgo y 15 de N + 60 de P + 45 de K + 5,7 de S + 0,2 de Mo en quinchoncho, se aplicaron dentro de las parcelas de abonos orgánicos: SR = sin residuos y RG = residuos de gramínea. Después de 3 años de manejo conservacionista, usando bajos insumos y principios agroecológicos se evidencian incrementos en los rendimientos de quinchoncho, atribuido al aumento en la capacidad productividad del suelo por efecto combinado de abonos orgánicos e inorgánicos. Los rendimientos en grano del quinchoncho fueron aumentando progresivamente, el 1^{er} año osciló entre 672 y 882 kg ha⁻¹ y el rendimiento del vástago fue superior a 800 kg ha⁻¹, 2^{do} año, estuvo entre 700 y 863 kg ha⁻¹ y del vástago entre 750 y 890 kg ha⁻¹, el 3^{er} año los valores fueron 850 y 1 000 en SR y entre 1 000 y 1 300 en RG, correspondiendo los mayores rendimientos a las parcelas donde se combinó abono orgánico (restos de cosecha, RG con abonos inorgánicos (RFR y RFRPA).

Palabras Clave: *Cajanus cajan* (L.) Millsp; sustentabilidad; suelos ácidos; manejo conservacionista.

¹ El proceso de Investigación estuvo financiado por Fonacit a través del Proyecto: S1-2002000391, a la AIEA, VEN 10962R3, N 10962R3 y el INIA.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas (CENIAP). Zona Universitaria. Apdo. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: lopezmar4@hotmail.com.

** Investigadores. INIA. CIAE Yaracuy y CIAE Guárico, respectivamente.

RECIBIDO: agosto 31, 2005.

**CONSERVACIONIST PRACTICES AND ROTATION WITH
PIGEONPEA AS A SUSTANAIBLE ALTERNATIVE
FOR THE AGROECOSYSTEMS OF SAVANNAHS
OF GUARICO, VENEZUELAN**

Marisol López*, Ángela Bolívar*, Manuel Salas
y María De Gouveia*****

SUMMARY

On an acid soil of Guarico state savannas, the effect of conservation practices such as minimum tillage, acid tolerant cultivars, organic combined with inorganic fertilizers at low rates and the rotation sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Möench, pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), on soil productivity, grain yield and aerial biomass of pigeon pea was evaluated. Phosphorus sources evaluated were natural Riecito phosphoric rock (RFR), partially acidulated Riecito phosphoric rock (RFRPA) and industrial diammonium phosphate (FDA). Inorganic treatments were T1 (N+0P+K), T2 (N +P-RFR+K), T3 (N+ P-RFRA K+) and T4 (N+P-FDA+ K). The levels of fertilizers applied on sorghum were 100 (kg ha⁻¹) of N+80 of P+60 of K and on pigeon pea 15 of N+60 of P+45 of K+5,7 of S+0,2 of Mo. Former treatments were applied within the following organic treatment plots: without residues (SR) and with gramineous residues (RG). After 3 years of conservation management, using low inputs and agroecological principles, increments in pigeon pea yields were evidenced, due mainly to an increase in soil productivity induced by the combined management of organic and inorganic fertilizers, among other practices. Pigeon pea grain yields increased progressively. During the first year grain yield oscillated between 672 and 882 kg ha⁻¹ and shoot biomass exceeded 800 kg ha⁻¹. During the second year variations in grain yield occurred between 700 and 863 kg ha⁻¹ and in shoot biomass between 750 and 890 kg ha⁻¹. Finally, during the third year, grain yield were between 850 and 1000 kg ha⁻¹ in SR and between 1000 and 1300 kg ha⁻¹ in RG. Highest yields were achieved by treatments where organic fertilizers (crop residues, RG) and inorganic fertilizers (RFR and RFRPA) were combined.

Key Words: Sustainable; pigeon pea; acid soil; conservationist management.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas (CENIAP). Zona Universitaria. Apdo. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: lopezmar4@hotmail.com.

** Investigador. INIA. CIAE Yaracuy.

*** Investigadora. INIA. CIAE Guárico.

RECIBIDO: agosto 31, 2005.

INTRODUCCIÓN

La baja capacidad de sustentación animal de las especies vegetales predominantes en el nororiente del estado Guárico, es uno de los factores que ha contribuido a la expansión acelerada de áreas destinadas a la producción de cereales en la región central de Guárico (Míreles *et al.*, 1998). Ante esta situación, los productores, para alimentar la población bovina durante el período de sequía, han adoptado alternativas tales como: el uso de restos de cosecha (maíz, algodón y sorgo) y la soca de sorgo, a objeto de aumentar la oferta forrajera. Sin embargo, este tipo de uso de la tierra, constituido por los sistemas de producción mixtos: carne-cereales, ha contribuido al deterioro de los suelos (López, 2002, Torres *et al.*, 2005), debido al uso de prácticas de manejo inadecuadas.

En sus trabajos, López (2002) advierte que los sistemas de producción mixtos (ganadería–cereal) han contribuido al deterioro físico, químico y biológico de los suelos debido al uso de prácticas de manejo en monocultivos altamente mecanizados que involucra preparación del suelo seco, uso de varios pases de rastra y arado en suelos desprotegidos (sobrepastoreo) y uso de altas dosis y frecuencia de fertilizantes inorgánicos entre otros agrotóxicos. Esta problemática, hace necesario la evaluación de alternativas de manejo conservacionista que contribuyan a un uso más eficiente de insumos y energía, y que promuevan una agricultura más dependiente de procesos biológicos.

El cultivo de quinchoncho, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., cv. *Aroita*, obtenido por selección sobre la línea Aroa con ciclo de 110 a 130 d a la cosecha, altura de 80 a 120 cm, flor púrpura, tallo con grosor de 12 mm, crecimiento determinado, vainas de 5 celdas, grano crema y con potencial de cosecha mecanizada de grano seco. Seleccionado por presentar potencial de fijación biológica de nitrógeno en experimentos previamente conducidos en condiciones de invernadero por España *et al.* (2006). Con potencialidad para contribuir a la sustentabilidad de los sistemas de producción de la zona de sabanas, por:

- a) Su alto potencial para ser utilizado como complemento en alimentación animal, pudiendo ser usado como forraje y como materia prima en la elaboración de raciones nutricionales para la alimentación del ganado en la época seca, o bien como complemento proteico o consumo directo de los animales bajo pastoreo (Higuera *et al.*, 1998; 2001; Martínez *et al.*, 2003).

- b)** Por su capacidad adaptativa, ya que puede contribuir al pool de nitrógeno en el agrosistema a partir de la fijación del N-atmosférico vía fijación biológica del N₂ (España *et al.*, 2006).
- c)** La alta capacidad de adaptación a zonas adversas manifestada a través de mecanismos fisiológicos (exudados radicales, actividad enzimática) y morfológicos (mayor longitud radical, menor diámetro y mayor cantidad de pelos radicales) permitiéndole utilizar formas de fósforo no disponible comúnmente a las plantas, (Hocking *et al.*, 1997; Ae *et al.*, 1991; McLaughlin; James, 1991; Weil, 2000).
- d)** Representa una fuente barata de proteína vegetal (entre 20 y 30%), siendo una alternativa para contribuir a conformar una dieta balanceada para el agricultor, su familia y la comunidad en general.

El quinchoncho es un cultivo producido en diversos países (India, Myanmar, Kenya, Uganda, República Dominicana, Puerto Rico, Venezuela) Nene y Shela (1990) bajo diferentes modalidades de siembra (Chauan, 1990). En Venezuela se localiza en toda la geografía nacional, especialmente, en patios, conucos y plantaciones bajo la modalidad de monocultivo y/o asociado en la localidad de Espino, estado Guárico. El manejo del cultivo esta basado en el conocimiento agrícola local, pudiéndose encontrar algunos sistemas de producción (SP) que incorporan referenciales tecnológicos provenientes de casas comerciales o centros de investigación.

La mayoría de los materiales genéticos utilizados provienen de semillas de materiales “locales” que los agricultores conservan de cosechas anteriores, o intercambio de semillas entre ellos. Los cultivares comúnmente utilizados son de ciclo largo (entre 200 a 240 d a cosecha), plantas de porte alto, tallo grueso (> 12 cm de diámetro), cosechado manualmente y con rendimientos bajos, siendo el promedios de 600 kg ha⁻¹, aún cuando pudieran encontrarse materiales locales de altos rendimientos. Las estadísticas del Ministerio de Producción y Comercio MPC (2001), señalan una superficie de siembra de quinchoncho de 1948 ha, con una producción de 1 475 t y rendimientos de 757 kg ha⁻¹. Su contribución a la producción nacional es baja comparada con otros granos de leguminosas. Sin embargo, este cultivo presenta potencialidades desde el punto de vista social, económico ambiental y técnico que deberían considerarse para el manejo de sistemas sustentables.

Sobre la base de lo expuesto, el cultivo de quinchoncho, combinado con prácticas conservacionistas, encierra principios agroecológicos que coadyuvan al desarrollo sustentable, el cual es conceptualizado como un proceso dinámico donde el manejo de los recursos naturales, la potencialización del ser humano, la concientización y participación ciudadana, la orientación de la economía y los principios éticos de responsabilidad ambiental, ayuden a satisfacer las necesidades básicas actuales, sin destruir la base ecológica de las que depende el desarrollo socioeconómico y la calidad de vida futura (Ramírez, 2000).

Entre las prácticas conservacionistas, el uso de abonos orgánicos es una alternativa viable no sólo por las mejoras nutricionales que ejerce sobre las plantas, sino que tiene un alcance en todos los componentes relacionados con la fertilidad y productividad del suelo agrícola. Entre los principales efectos regenerativos se encuentran: estimulación inmediata de la actividad biológica (Clement *et al.*, 1995; López *et al.*, 2001a; Barrios, 2001; España *et al.*, 2002; Thorup- Kristensen, 2003) mejoras en las propiedades físicas (Torres *et al.*, 2005; Rivas, 1993; León, 1993; Bravo y Florentino, 1999; Rivero *et al.*, 1998; Barrios, 2001), en bioquímica (España y López, 2003; España, 2003) y químicas (Franco-Viscaíno, 1997; López *et al.*, 2006).

Igualmente, el uso de fuentes de fósforo inorgánicas, tanto natural (roca fosfórica de Riecito, roca fosfórica de Riecito parcialmente acidulado, como industrial (fosfato diamónico), constituyen una de las prácticas alternativas para aumentar la capacidad productiva de suelos ácidos, cuando son utilizadas racionalmente y combinadas con fuentes orgánicas, pudiendo ambas fuentes (orgánicas e inorgánicas) representar una de las alternativas viable, técnica, ecológica y económica en la localidad (Nene y Sheila, 1990).

En el país se han realizado trabajos en suelos de los estados Guárico, Apure y Portuguesa, utilizando como cultivos indicadores, maíz, sorgo y soya, encontrándose alta eficiencia agronómica con la RFR al compararla con la roca de Monte Fresco (RFMF), siendo la RFR acidulada al 40% tan eficiente como la fuente altamente soluble (superfosfato triple); lo cual ha sido corroborado por Ramírez y López (2000) y por López *et al.* (2006), quienes encontraron una alta respuesta de cultivares de sorgo granífero tolerantes a la acidez, fertilizados con RFR. López *et al.* (2003) señalan mejoras en la fertilidad de dos suelos Ultisoles ubicados en diferentes paisajes de altiplanicie del estado Guárico, al ser sometidos a prácticas

de manejo que incluyeron uso combinado de abonos orgánicos (abonos verdes, restos de cosecha) e inorgánicos (N+P+K+S) con fuentes de P-solubles (SFT) y poco solubles (RFR y RFRPA).

Dentro de esta perspectiva, los objetivos específicos de este trabajo fueron: **1)** determinar el efecto de las prácticas conservacionistas sobre la producción de grano y biomasa aérea del quinchoncho y su potencial para ser usado en rotación sorgo-leguminosa en un suelo ácido de baja capacidad productiva y **2)** evaluar el efecto de las prácticas conservacionistas sobre la calidad del suelo, reflejada en mejoras en su capacidad productiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento fue desarrollado, en un sitio representativo del paisaje de altiplanicie de mesa conservada del estado Guárico, en un suelo ácido de sabanas, clasificado taxonómicamente como Typic Paleustults, Fg, caolínica isohipertérmica. El lote experimental se encuentra entre las coordenadas geográficas 8° 25' 30" de latitud norte y 66° 05' 11" de longitud oeste.

Características edafoclimáticas del sitio experimental

La zona agroclimáticamente se caracteriza por presentar un promedio de precipitación anual de 1 176 mm con distribución en el tiempo unimodal, siendo su máximo en julio con 215,1 mm, distribuidas en 5 a 6 meses (mayo-octubre), las lluvias son erráticas, de alta intensidad y de corta duración. La temperatura oscila entre 25 y 30 °C. Vegetación típica de bosque seco tropical, de acuerdo a la clasificación de Holdridge (Ewel *et al.*, 1972).

Los suelos son de muy baja fertilidad natural, presentando limitaciones por baja disponibilidad de fósforo-Olsen ($<3 \text{ mg kg}^{-1}$), potasio-Olsen (20 mg kg^{-1}), calcio-Morgan ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$) y magnesio-Morgan ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$), $\text{pH}_{\text{suelo*agua:1:2,5}}$: ácido ($< 5,4$) y de textura gruesa, areno franco (aF) y franco arenoso (Fa). El drenaje, externo es lento, el interno rápido, siendo la permeabilidad moderadamente rápida y clase de drenaje: bien drenado (López *et al.*, 2006).

Genotipos usados como cultivos indicadores y abono orgánico

Se evaluó el cultivar Chaguaramas VII, de sorgo, *Sorghum bicolor* L. Möench, tolerante a la acidez del suelo, el cual pertenece la familia de las gramíneas y el cultivar Aroita, de quinchoncho proveniente de padres tolerantes a la acidez, obtenido por selección masal sobre líneas ingresadas del ICRISAT por el INIA-Yaracuy, (Remanandan 1990).

Mecanización: Se utilizó labranza mínima, la cual consistió de dos pases de rastra al incorporarse el abono verde y restos de cosecha como fuente de abono orgánico al inicio del experimento, primer año. Posteriormente, antes de la siembra de los cultivos indicadores los residuos dejados sobre la superficie en el ciclo anterior fueron incorporados, con un motocultor.

Muestreo de suelo

Al inicio del experimento, se tomaron muestras compuestas por parcela de abono orgánico o de residuos, a la profundidad de 0 a 20 cm. En los años subsiguientes, para estudiar la dinámica de los nutrimentos se realizaron muestreos de suelo a cuatro profundidades, de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm dentro de cada microparcela de abono inorgánico (T₁-T₄).

Cosecha y cálculo de rendimiento

Al finalizar cada ciclo del cultivo se procedió a cosechar los cultivos indicadores sorgo y quinchoncho. La biomasa vegetal tanto de grano como de vástago fue pesada para estimar el rendimiento en grano y materia seca del vástago. Se tomaron submuestras de vástago, se pesó, secándose en estufa a 70 °C hasta obtener peso constante. El rendimiento de materia seca (MS) fue calculado al multiplicar el peso seco por superficie efectiva, expresada en kg ha⁻¹.

Descripción de los tratamientos orgánicos

Abonos orgánicos: Están asociados con las prácticas conservacionistas representadas por la parcela testigo (SR), y las cultivadas con especies nativas e introducidas. Crotalaria, *Crotalaria juncea*. Leguminosa introducida para la parcela de residuos de leguminosas. Añil, *Indigofera lespedezioides*, leguminosa nativa utilizada en la parcela de residuos nativos, ver Figura 3. Sorgo sembrado en la parcela de RG (López *et al.*, 2006).

Parcelas Principales: Parcela Sin residuos (SR): Después de la cosecha, la biomasa aérea fue extraída, dejando en suelo descubierto, simulando la actividad realizada comúnmente por el productor al introducir el componente animal para pastorear los restos de cosecha y soca del sorgo simulando el sobrepastoreo (práctica muy común en la localidad).

Parcela Residuos nativos (RN): Se dejó crecer la vegetación nativo añil + ciperáceas. La leguminosa en floración fue cosechada, dejándose sobre la superficie, para incorporar antes de sembrar el cultivo indicador del próximo ciclo.

Parcela Residuos gramínea (RG): Consistió en sembrar el sorgo y al llegar el momento óptimo de cosecha, se cosechó el grano, el cual fue pesado para obtener el rendimiento. Se cosechó la biomasa aérea, para luego pesar y dejar sobre la superficie del suelo hasta el momento de ser incorporada antes de la siembra del próximo ciclo.

Parcela Residuos de leguminosa (RL): Esta parcela representó uno de los tratamientos de abono verde, la leguminosa *Crotalaria juncea*.

Parcela de barbecho (B): Testigo absoluto. Área sin alterar.

Las parcelas: SR, RN, RG y RL recibieron una fertilización inorgánica: T₁ (N+0P+K), T₂ (N+P-RFR+K), T₃ (N+P-RFRAK+) y T₄ (N+P-FDA+K) en los ciclos evaluados, antes de sembrar los cultivos de rotación (sorgo-quinchoncho y/o quinchoncho-sorgo). Para efectos de este trabajo sólo se presentan los rendimientos del quinchoncho, el cual fue evaluado únicamente en las parcelas SR y RG, así como resultados de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, a fin de estimar cambios químicos en el suelo. Igualmente, se presentan los resultados obtenidos en las parcelas SR en contraste con las parcelas, RG, el efecto de las prácticas de manejo combinación de abonos inorgánicos y abono orgánico (restos de cosecha). Los resultados obtenidos en las parcelas SR, RG, RN, RL y B con sorgo son mostrados por López *et al.* (2006).

Descripción de los tratamientos inorgánicos aplicados

Los abonos orgánicos e inorgánicos fueron aplicados a inicio del período de lluvias en la parroquia Espino, entre el 15 de junio al 15 de julio.

N= nitrógeno, K= potasio, OP= sin fósforo. T₁ (N+0P+K), T₂ (N+P-RFR+K), T₃ (N+P-RFRAK+) y T₄ (N+P-FDA+K). **Fuentes de fósforo:**

RFR= roca fosfórica de Riecito micronizada (14% P-total; 4,36% P-soluble; 39% de CaO; EA entre 80-90%; P-soluble 9,98% P_2O_5 en citrato de amonio neutro); RFRPA = roca fosfórica de Riecito parcialmente acidulada (11,94% P-total; 5,37% P-soluble; 34,86% de CaO; EA mayor de 90%; P-soluble: 12,29% P_2O_5 en citrato de amonio neutro); FDA = fosfato diamónico (16% N, 46% P_2O_5). **Fuentes de nitrógeno:** Sulfato de amonio (21% N, 24% S) en quinchoncho y urea-46%N en sorgo. **Fuente de potasio:** Cloruro de potasio (KCL-60 % K₂O) en sorgo y quinchoncho.

Según Diamond (1979), y Hammond y León (1983) ambas rocas: RFR y RFRPA son de alta reactividad, ya que el porcentaje de solubilidad (P_2O_5) en citrato de amonio neutro es mayor a 5,4 (Diamond, 1979) y mayor a 5,9 (Hammond y León, 1983), estos últimos autores mencionan que una eficiencia agronómica mayor a 90% es un indicador de alta solubilidad de las rocas fosfóricas.

Dosis de nutrientes aplicados (kg ha⁻¹) en cada ciclo del cultivo. En sorgo: 100 de N + 80 de P + 60 de K. En quinchoncho: 15 de N + 60 de P + 45 de K + 5,7 de S + 0,2 Mo.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones en arreglo de parcelas divididas. Los datos obtenidos fueron homogeneizados y analizados de acuerdo a la variable evaluada utilizando los procedimientos mostrados en Herrera (2004). Para disponibilidad de nutrientes se utilizó un análisis de parcelas subdivididas, siendo el tipo de residuo o abono orgánico (SR, RG) designado como efecto principal, la fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) como efecto secundario y la profundidad de muestreo efecto terciario. Para el caso de rendimiento en grano y biomasa aérea, los datos fueron analizados como parcelas divididas, el efecto principal considerado representó el tipo de residuo (abono orgánico RG y SR) y el efecto secundario fue el tratamiento inorgánico (T_1 , T_2 , T_3 y T_4).

Determinaciones químicas en suelo

Metodologías utilizadas en las determinaciones químicas en suelo, análisis con fines de fertilización: Textura: distribución y tamaño de la partícula (Bouyoucos)* pH (Relación suelo agua: 1: 2,5)*; Fósforo (Olsen, 1954)*; Potasio (Olsen,)*; Calcio (Morgan)*; materia orgánica

(MO; Combustión humedad, Walkey and Black modificado)*; Aluminio intercambiable, (extraído con 0,5 M de BaCl₂ relación 1: 10)* y CE (ms/cm 25 °C conductímetro)*

*En manual de métodos y procedimiento del FONAIAP, Gilabert *et al.* (1990).

Métodos empleados en las variables físicas

La densidad aparente (Da) se determinó como criterio de evaluación de la severidad de la degradación. Esta variable fue determinada tomando muestras de suelo no alteradas con toma muestras tipo Uhland, utilizando la mesa de tensión descrito por Plá (1983) y basada en masa de suelo seco a 105 °C y al volumen total de suelo. $Da = m_{ss \text{ a } 105 \text{ } ^\circ\text{C}} / Vt \text{ de suelo}$ (Mg m⁻³).

Análisis de fraccionamiento y tamaño de partículas (Day, 1965).

Nivel de productividad del suelo en el sitio experimental

Al inicio de experimento, el suelo presentó evidencias de muy baja capacidad productiva, los resultados de esta evaluación inicial son mostrados por López *et al.* (2005; 2006) y corresponden a las Cuadros 1, 2 y 3, en donde se muestran los valores de las variables físicas, y químicas, mientras que las variables bioquímicas son señaladas por España y López (2003). En estos trabajos se muestran indicadores químicos, físicos y bioquímicas que reflejan la baja capacidad productiva del suelo al inicio del experimento. Los resultados de la caracterización de suelo realizados con fines de fertilización, muestran la muy baja fertilidad del lote experimental, siendo la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio de 2, 22, 80 y 22 mg kg⁻¹, respectivamente. Dichos niveles, junto a los bajos contenidos de MO (7g kg⁻¹) reflejan la baja fertilidad natural del suelo al inició del estudio, el valor de pH indica una reacción del suelo ácido (< 5,5) y el porcentaje de saturación con aluminio alto (57%), todos son factores que limitan el crecimiento de plantas susceptibles a la toxicidad de aluminio y de altos requerimientos nutricionales.

La textura del suelo es franco arenoso, reflejando un drenaje interno rápido y buena aireación, valores que se corresponden con los obtenidos por López *et al.* (2001b) en un diagnóstico realizado con fines de fertili-

zación y manejo de los suelos en los Llanos Centrales. Durante la caracterización física y clasificación taxonómica del suelo, López *et al.* (2003) señalaron valores en las variables físicas que le confieren susceptibilidad a la degradación, tal como se observó en distribución de tamaño de partículas, porcentaje total de arena, limo y arcilla, y en químicas: cationes cambiabiles y aluminio intercambiable (Cuadro 1).

CUADRO 1. Caracterización química del sitio experimental, Espino, estado Guárico.

Profundidad (cm)	Cationes Intercambiables (cmol kg ⁻¹)				
	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Potasio (K)	Aluminio Intercambiable (cmol kg de suelo ⁻¹)
0-22	0,37	0,16	0,01	0,09	0,35
22-42	0,1	0,06	0,03	0,02	0,65
43-72	0,35	0,15	0,04	0,03	1,55
73-120	0,28	0,14	0,01	0,01	0,85
120-152	4,37	0,22	0,01	0,01	0,85
152+	0,37	0,24	0,02	0,01	0,50

Fuente: López *et al.* (2003).

Mientras que los valores de humedad gravimétrica del suelo al inicio del experimento correspondientes a diferentes potenciales mátricos (Kpa) en cada uno de los horizontes identificados en el perfil, se presentan en el Cuadro 2.

El porcentaje de CaCO₃ equivalente ponderado a 60 cm de profundidad fue de 0,20 y la humedad saturada de 22,83%. La distribución en el tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla fue de 81, 10 y 9%, respectivamente. El promedio ponderado a 60 cm de profundidad para distribución de tamaño de partículas indica que es un suelo de textura gruesa, areno-franco (aF) y franco arenoso (Fa), predominando la arena en todo el perfil (Cuadro 3).

CUADRO 2. Retención de humedad (g g^{-1}) del suelo.

Profundidad (cm)	Contenido de humedad ($\%, \text{g g}^{-1}$)					
	Potencial métrico (Kpa)					
	-10	-33,33	-100	-500	-1 000	-1 500
0-22	13,84	12,15	10,06	7,92	7,06	6,02
22-42	7,6	5,78	4,86	3,52	2,51	2,39
43-72	13,47	12,1	11,14	9,53	8,1	7,74
73-120	15,48	13,06	11,90	8,45	7,52	7,04
120-152	16,08	15,05	11,25	9,33	8,16	7,90
152+	13,41	12,14	11,05	3,38	7,03	6,02

Fuente: López *et al.* (2003).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es muy baja, así como el contenido de MO, con predominio de partículas gruesas (>80% de arena). Esta baja CIC, significa que estos suelos poseen muy baja capacidad de retener por mucho tiempo en su complejo de intercambio, las bases intercambiables liberadas en él, mediante la fertilización química tanto inorgánica (fertilizantes) como orgánica (abonos verdes y restos de cosecha), lo cual hace que estos nutrientes liberados queden expuestos a procesos de lixiviación y arrastre durante el período de lluvias. El agua potencialmente aprovechable, lámina de agua almacenada (mm) a -10 y -1 500 Kpa fue de 119,52 y 54,65, respectivamente, valores muy bajos, pero en correspondencia con las características texturales de este suelo, lo cual indica que para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo que se va a desarrollar se requiere la aplicación de riego complementario.

Los valores de D_a encontrados en todo el lote experimental son altos, de acuerdo a los niveles señalados para un suelo de clase textural 1 (arenoso-areno franco) por Florentino (1998). La media ponderada fue de $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$. Plá (1983), señala valores críticos de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ para estos suelos y Grossman *et al.* (1997), basado en la máxima D_a dentro del horizonte superficial, a los primeros 20 cm de profundidad, señalan que valores de D_a mayores a $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ en suelos con porcentaje de arcilla menor a 15% corresponden a la clase 5, cuya limitación agrícola

es muy alta. Los valores de pH obtenidos tanto en relación suelo agua 1:1 como en KCl 1:1,2, estuvieron bajos, lo que clasifica el suelo entre extremada y moderadamente ácido y el porcentaje de saturación de aluminio es alto (60%), Cuadro 3.

CUADRO 3. Características químicas y físicas del suelo ubicado en lote experimental Espino, promedio primeros 60 cm de profundidad.

Profun. (cm)	Clase Textural	% A			Da (Mg m ³)	MO (g kg ⁻¹)	pH		CIC (cmol kg ⁻¹)	Sat A1 %	
		A	L	A			Agua 1:1	KCl 1:12			
0-60	aF-Fa	81	10	9	1,71	7	1,28	4,38	3,82	1,28	60,22

Fuente: López *et al.* (2003).

El sorgo presenta menor contenido de celulosa que los otros materiales usados (leguminosas, datos mostrados en López *et al.*, 2006), este componente pudiera favorecer la mineralización del material, sin embargo, el contenido de lignina también es mayor en las leguminosas que en el sorgo y este polisacárido es considerado negativo en la transformación de los residuos (Cuadro 4).

Abono incorporado: La cantidad de residuo aplicado al suelo varió entre los tratamientos orgánicos (residuos), y los tratamientos inorgánicos (T₁, T₂, T₃, T₄). El año cero, en la parcela SR fue de 0 y en RG se aplicó 1 200 kg ha⁻¹. En el año 1, se incrementó la cantidad de residuo aplicado, oscilando entre 1 041,1 y 3 370 kg ha⁻¹ de RG. En el año 2, la cantidad de residuos de quinchoncho aplicado oscilaron entre 917,5 (T₁) y 1 473 (T₃) kg ha⁻¹, mientras que los residuos de sorgo oscilaron entre 992,75 (T₁) y 3 090,75 (T₄). Sin embargo, la cantidad de residuos de sorgo y quinchoncho aplicados aún son bajos, para cada año, pero el total aplicado en los tres primeros años evaluados fue significativamente importante en la secuencia: Sorgo-sorgo-quinchoncho-sorgo (24 719,5 kg ha⁻¹), mientras que el total en las parcelas donde se siguió la secuencia sorgo-soya-sorgo-quinchoncho fue menor (7 780,16 kg ha⁻¹), debido a que se ha señalado, que en condiciones tropicales debe aplicarse más de 20 Mg ha⁻¹ para

poder obtener resultados positivos por efecto de estos abonos en el suelo (Velásquez *et al.*, 2002), valores que fueron superados en las parcelas que se aplicó 24 719,5 kg ha⁻¹.

CUADRO 4. Características de material utilizado como abono orgánico (residuos de cosecha de sorgo).

Análisis bromatológico									
Abono orgánico	Materia Seca %	Ceniza %	Proteína cruda %	FDA %	Lignina %	Celulosa %	N %	C %	C/N
Sobre base seca									
Sorgo vástago	95,59	3,13	9,72	40,11	7,68	31,67	1,56	26	16:1

Análisis nutricional				
Abono orgánico	Fósforo (P) kg kg ⁻¹	Potasio (K) kg kg ⁻¹	Calcio (Ca) kg kg ⁻¹	Magnesio (Mg) kg kg ⁻¹
Sorgo vástago	0,22	0,5	0,4	0,28

Los valores corresponden a promedios de cuatro repeticiones. MS = materia seca; PC = proteína cruda; FAD = fibra ácido detergente; N = Nitrógeno; C = Carbono; C/N = Relación Carbono - Nitrógeno. Fuente: López *et al.* (2006).

En las parcelas correspondientes a las leguminosas usadas como abono verde la cantidad (RN, RL, Figuras 1 y 2) de material incorporado fue mayor a 20 Mg ha⁻¹ (López *et al.*, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de productividad del suelo en el sitio experimental

En el primer año de evaluación, se encontró un incremento en la disponibilidad de los nutrientes P, K, y Ca principalmente, debido posiblemente al efecto de la fertilización inorgánica inicial aplicada al sembrar los abonos verdes junto al aporte de los materiales orgánicos incorporados, ya que este incremento fue mayor en las parcelas donde se aplicó residuos

(RG), lo que pudiera estar indicando un posible aporte de la fertilización orgánica (residuos de cosecha y abonos verdes). Sin embargo, estos valores de disponibilidad, aún se consideran bajos en todas las parcelas de residuos evaluadas, observándose una estratificación del fósforo, potasio y calcio en los primeros 10 cm de profundidad, estos valores disminuyeron drásticamente con la profundidad del suelo.

El pH osciló entre 4,9 y 5,4 en el primer estrato, reflejando ligeros incrementos, los cuales van desde 0,2 a 0,7 décimas. Dichos valores muestran tendencia a una disminución de la acidez, sin embargo, el suelo sigue manteniendo una reacción ácida, que amerita hacer monitoreos del efecto de las prácticas en esta variable. El porcentaje de saturación de aluminio es bajo en los primeros 10 cm de profundidad, pero incrementa en el segundo estrato después de los 10 cm, reflejándose problemas de alto contenido de este elemento en la zona de mayor desarrollo radical.

En el segundo año de evaluación, se observa un mayor efecto del manejo combinado del abono orgánico e inorgánico (Cuadro 5).

La disponibilidad de fósforo, calcio, azufre, valor de pH y contenido de aluminio fueron afectados por la fertilización orgánica e inorgánica, encontrándose respuestas altamente significativas con respecto a los tratamientos de residuo (RG), tratamientos inorgánicos (T_2 , T_3 y T_4), profundidad de muestreo y las interacciones fertilización orgánica por fertilización inorgánica (Forg*Finorg), fertilización orgánica por profundidad (Forg*prof), fertilización inorgánica por profundidad (Finorg * Prof) y fertilización orgánica por fertilización inorgánica y por profundidad (Forg*Finorg*Prof). Las interacciones encontradas indican el efecto positivo de aplicar conjuntamente fertilizantes orgánicos (F org) e inorgánicos (Finorg), así como las diferencias de estos en la profundidad (prof). Esto pudiera estar sugiriendo que no se debe separar el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, ya que se obtendrían otros resultados menos promisorios.

Se evidencian cambios favorables en los indicadores químicos y biológicos atribuidos al manejo conservacionista. Con relación a las variables químicas, se ha encontrado aumentos en la disponibilidad de los nutrientes, tales como fósforo (15-40 mg kg⁻¹), calcio (hasta 130 mg kg⁻¹), potasio (40-120 mg kg⁻¹) y azufre (hasta 14 mg kg⁻¹) y una disminución del aluminio intercambiable (< 0,5 cmol kg⁻¹).



FIGURA 1. Crotalaria (*Crotalaria juncea*).

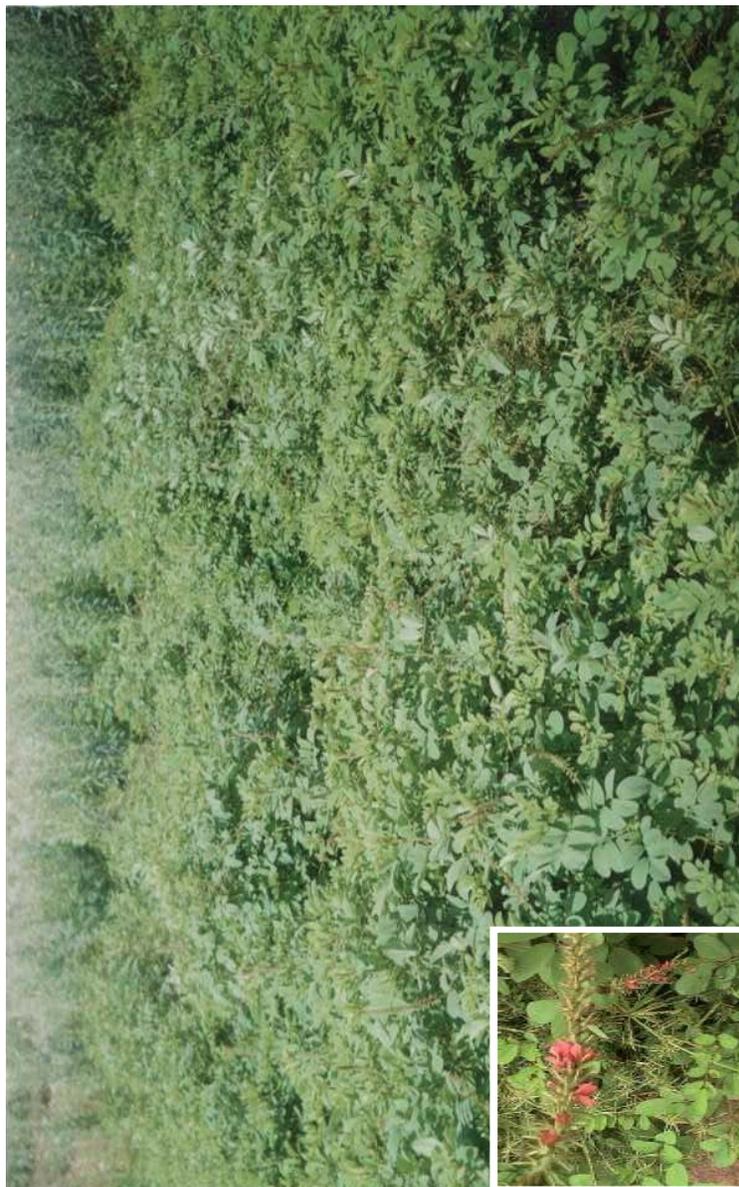


FIGURA 2. Añil (*Indigosfera lespedicioides*).

CUADRO 5. Resumen del análisis de varianza de los resultados de suelo con fines de fertilización obtenidos del lote experimental de tres profundidades. 2do año.

Variables	Causa de Variación						CV (%)			
	Forg	Finorg	Forg* Finorg	Prof	Forg* Prof	Finorg* Prof	Forg*Fin org*Prof	A	B	C
P (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	**	**	23,328	33,530	30,311
K (mg kg ⁻¹)	NS	NS	NS	**	**	NS	NS	25,064	16,215	26,440
Ca (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	**	NS	18,051	16,396	23,772
Al ³⁺ (cmol kg ⁻¹)	NS	**	NS	**	**	**	NS	14,788	17,535	31,252
pH (relación Suelo-Agua 1:2,5)	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	21,055	15,518	7,897
S (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	NS	**	30,531	33,67	40,128

** Altamente significativo 0,001 * significativo 0,05. CV = Coeficiente de variación.
A = parcela principal; B = parcela secundaria; C = parcela terciaria.

En las variables biológicas, se ha incrementado el contenido de MO (hasta 15 g kg⁻¹). En este mismo lote experimental, Toro *et al.* (2002), indicaron ligeros incrementos en el porcentaje de raíz micorrizada (2-20%), los cuales son significativos comparando con los valores obtenidos al inicio del experimento, al realizar la caracterización del suelo desde el punto de vista químico, físico, biológico y bioquímico, encontrando valores de MO alrededor de 10 g kg⁻¹ y de porcentaje de raíz micorrizada entre 0 y 10 (muy bajo).

Con respecto a las variables bioquímicas, España y López (2003) han encontrado incrementos significativos en este lote experimental sobre la actividad de la enzima deshidrogenasa, lo cual pudo estar asociado al incremento en el carbono orgánico, siendo significativamente superior en la parcela RG al ser comparada con la parcela sin residuo SR. Debido a que esta enzima es intracelular, estos incrementos en la deshidrogenada indican mayor actividad biológica del suelo, demostrado así, la necesidad de incorporar abono orgánico en estos suelos. En el caso de la fosfatasa ácida hubo una disminución significativa en la rizosfera de sorgo, en los tratamientos que generaron mayor disponibilidad de P en el suelo.

En todas las parcelas de residuos donde el fósforo se incrementó hasta alcanzar valores de disponibilidad de medios a altos, constituyó un

indicador de la calidad del suelo, ya que la actividad de fosfatasa ácida osciló entre 0,16 y 0,41 $\mu\text{mol PNF gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y la de deshidrogenasa (enzima intracelular, usada como indicadora de la actividad biológica) logró valores mayores a 3,15 $\text{mg TFF gs}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en las secuencias de las parcelas RG + sorgo, y RG + quinchoncho, en donde la actividad de esta enzima estuvo alrededor de 3 $\text{mg TFF gs}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$; mientras que, en la secuencia SR + quinchoncho, estuvo alrededor de 2 $\text{mg TFF gs}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ en las parcelas donde se incorporó abono orgánico (Figura 1, 2 y 3), lo cual es un indicador del aumento en la actividad biológica por efecto del uso combinado de abonos orgánicos e inorgánicos.

El incremento en la disponibilidad de P puede ser considerado importante, debido a que corresponde al efecto residual después de cosechar los cultivos indicadores, sorgo y quinchoncho, y antes de fertilizar y sembrar el cultivo del ciclo siguiente. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Mokolobate y Haynes (2002), quienes encontraron incrementos en P, K, N y Ca después de aplicar abonos orgánicos. Todas las fuentes de P, tanto de RFR, RFRPA y SFT contribuyeron a incrementar la disponibilidad de este elemento en el suelo; sin embargo, la mayor o menor contribución de la fuente de P en la disponibilidad del elemento estuvo influenciada por la secuencia de los cultivos (López *et al.*, 2006), siendo las secuencias residuo nativo (RN)-Sorgo y residuo leguminosa (RL)-Sorgo las rotaciones que mayor P-residual disponible dejaron en el suelo, lo cual pudo estar relacionado con la calidad y cantidad de residuos aplicados (López *et al.*, 2006).

En las parcelas de residuos de gramíneas (RG), Figura 3 este incremento fue menor comparado con el encontrado en el mismo lote experimental por López *et al.* (2006) en residuos nativos (RN) y residuos de leguminosa (RL) pudiendo ser debido a la muy baja cantidad de residuos aplicado (menos de 10 Mg ha^{-1}), durante los dos primeros años de evaluación, ya que investigadores como Velásquez *et al.* (2002) señalan la necesidad de aplicar residuos de cosecha y abonos verdes mayores a 20 Mg ha^{-1} para obtener resultados favorables, tanto por mejoras en la fertilidad química, física, biológica y bioquímica como por su mayor efecto en proteger y reducir la erosión. Estos resultados, también pueden ser atribuidos a un proceso de transformación del P, el cual puede estar predominando en otras formas no disponibles, como ha sido señalado por Cavigelli y Thien (2003). Los resultados obtenidos en nuestra investigación, son indicadores del incremento en la calidad del suelo.

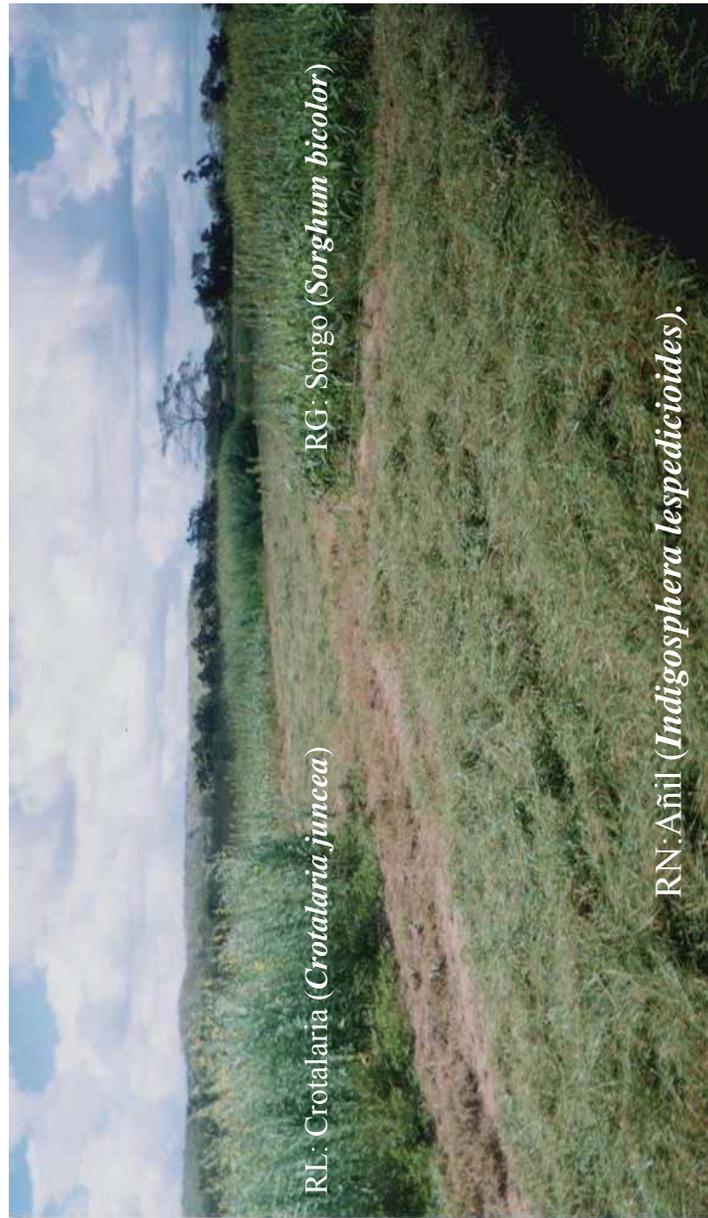


FIGURA 3. Distribución de parcelas con abonos orgánicos utilizados. RG= sorgo; RL= *Crotalaria juncea*; RN= *Indigosphaera lespedicioides*.

El primer año de evaluación se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para rendimiento en grano y vástago para todas las causas de variación, residuos (RG, SR), tratamiento inorgánico (T_1, T_2, T_3, T_4), y la interacción residuo o abono orgánico y abono inorgánico. Los rendimientos oscilaron entre 672 y 880 kg ha^{-1} (Figura 4).

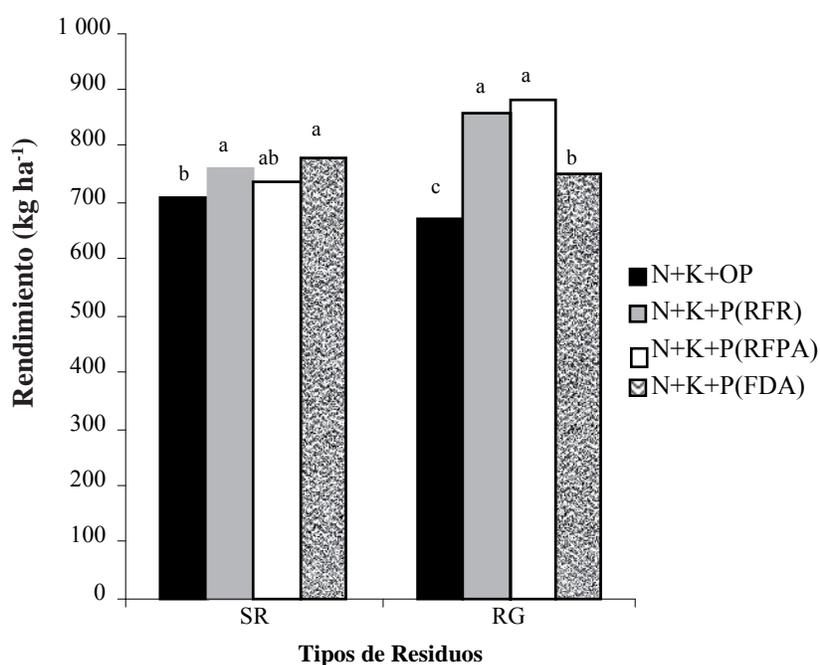


FIGURA 4. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1, T_2, T_3, T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en grano de *Cajanus cajan*. Año 1. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

Dentro de la parcela SR (sin residuos), se encontró iguales y mayores rendimientos en grano con las fuentes de fósforo P-RFR- T_2 y P-FDA- T_4 , seguido del tratamiento P-RFRPA- T_3 y los rendimientos más bajos fueron obtenidos con el testigo, sin fósforo (OP- T_1). Mientras que con RG (restos de cosecha de sorgo) los mayores rendimientos fueron con

las fuentes de P de menor solubilidad (RFR y RFRPA). Estos resultados, muestran el mayor efecto en los rendimientos obtenidos con las fuentes de fósforo naturales, tanto micronizada (RFR) como acidulada (RFRPA), lo que pudiera estar indicando un efecto positivo, además del P y del calcio proveniente de estas RF. También se observa mejores rendimientos en la parcela que se incorporó los residuos de gramínea (RG), lo cual, pudiera estar indicando efecto de la descomposición de los residuos sobre la disponibilidad del P y Ca proveniente de las RF (Cuadro 6).

CUADRO 6. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y de materia seca (MS) del vástago en *Cajanus cajan* en las parcelas SR, RG, Año 1.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha ⁻¹)	**	**	**	0,699	2,410
Vástago (kg ha ⁻¹)	**	**	**	1,860	3,429

** Altamente significativo 0,001. * significativo 0,05. CV = Coeficiente de variación. A= parcela principal, B= parcela secundaria.

En SR, el rendimiento del vástago fue significativamente mayor con RFRPA seguido de RFR y por último FDA y el testigo (T). Igualmente en la parcela RG los mayores rendimientos fueron con RFRPA, seguido de RFR, lo cual puede estar confirmando las hipótesis y supuestos señalados al discutir los resultados de rendimiento en grano (Figura 5).

El segundo año, se obtuvo diferencias altamente significativas en las causas de variación al igual que el primer año. Los mayores rendimientos correspondieron con las fuentes de fósforo de menor solubilidad (T² y T₃) seguido de FDA (T₄), Figuras 6 y 7. En la parcela SR la respuesta del quinchoncho para rendimiento en grano fue mayor con la fuente de P soluble (FDA-T₄), seguido del tratamiento que incluyó RFR-T₂ y significativamente inferior con OP- T₁. Igualmente para el rendimiento del vástago, los mayores valores en MS fueron obtenidos con la fuente soluble de P (FDA-T₄) en la parcela SR, mientras que en la parcela con abono orgánico (RG) se encontró respuesta altamente significativa con la

fuente de P menos soluble (RFR), lo cual es coincidente con el primer año de evaluación y demuestran un posible efecto de los residuos aplicados en la solubilización de la RFR (Cuadro 7).

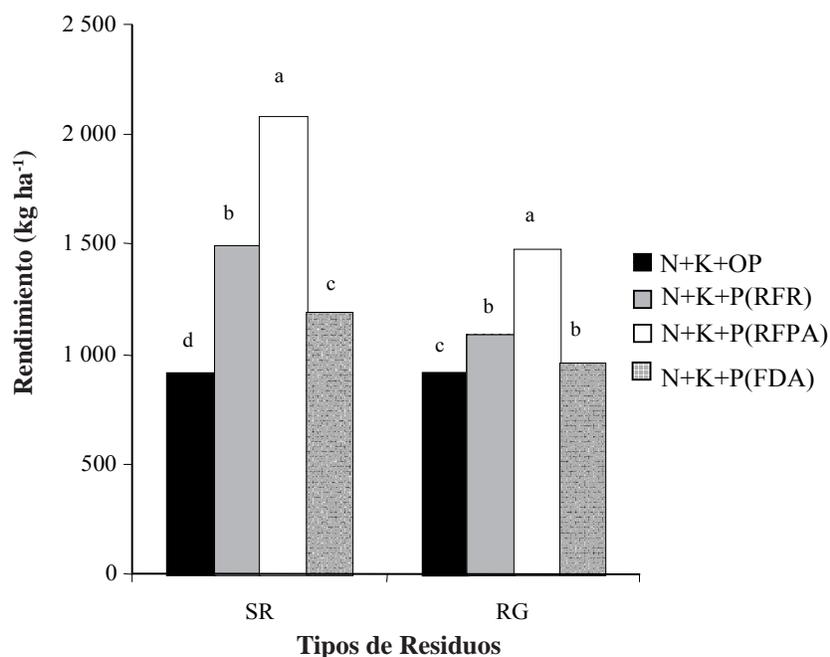


FIGURA 5. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en rebrotes de *Cajanus cajan*. Año 1.

En la parcela RG, estos residuos de sorgo pudieran estar contribuyendo a la formación de condiciones que favorecen la disolución de la RFR. Pero en la parcela SR los mayores rendimientos fueron con la fuente de P-FDA soluble. Con respecto al rendimiento en vástago, la mayor respuesta fue obtenida con el tratamiento P-FDA.

Hubo un incremento en el rendimiento del quinchoncho significativamente mayor en las parcelas donde se aplicó RG, en comparación con los rendimientos obtenidos donde no se aplicó SR. El rendimiento

en grano del quinchoncho en el tercer año, fue mayor que los obtenidos el primer (672-883 kg ha⁻¹) y segundo (700-863 kg ha⁻¹), año, lo cual parece estar relacionado con el aumento en la fertilidad integral del suelo (química y biológica) y con la mejor distribución y cantidad de lluvias registradas. Durante el tercer año, de evaluación, una mejor distribución y cantidad de lluvias durante el ciclo del cultivo, pudo haber favorecido los procesos biológicos y las condiciones químicas de la zona radicular, favoreciendo la mayor disponibilidad de nutrientes, así como la absorción y uso por parte de la planta (Cuadro 8, Figura 8).

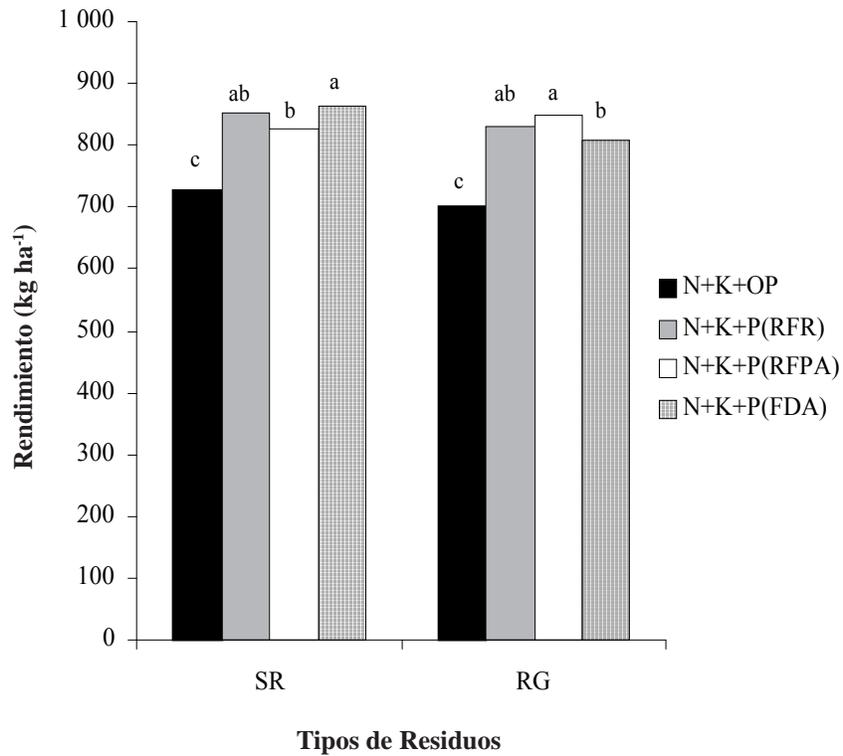


FIGURA 6. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en grano de *Cajanus cajan*. Año 2.

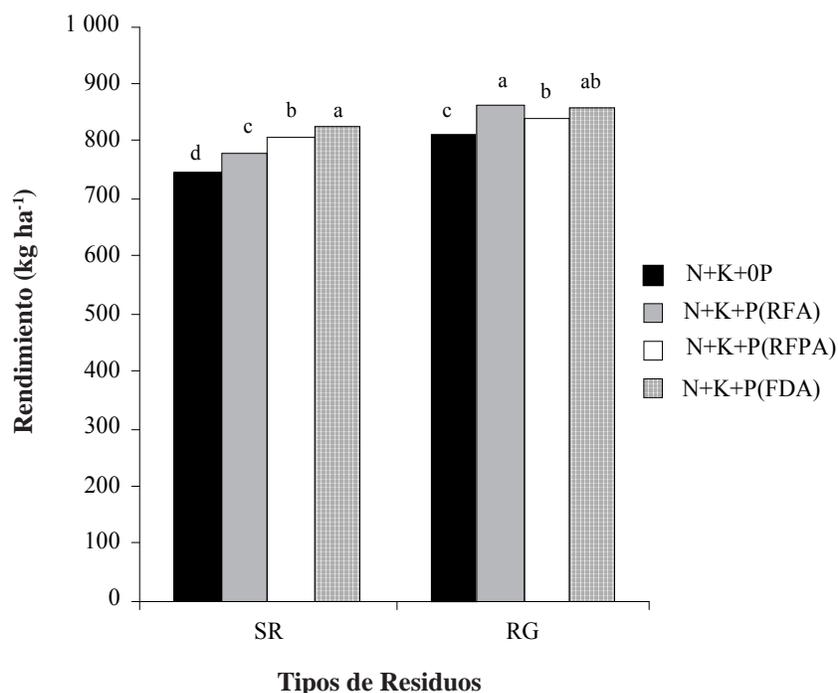


FIGURA 7. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento del vástago de *Cajanus cajan*. Año 2.

Estos resultados obtenidos, tanto rendimiento en grano como en vástago, puede estar indicando, por una parte, expresión de mecanismos fisiológicos del cultivar de *Cajanus cajan* (Aroita) para aprovechar fósforo proveniente de las RF; mecanismo sustentado en numerosas investigaciones, entre ellas, las señaladas por Hocking *et al.* (1997); Ae *et al.* (1991); McLaughlin y James (1991); Weil (2000), quienes han encontrado que el *Cajanus cajan* presenta estrategias fisiológicas (exudados radicales, actividad enzimática) y morfológicas (cambios radiculares) en suelos deficientes en fósforo.

Otras de las razones puede ser debida al requerimiento nutricional del quinchoncho, el cual pudiera estimular la expresión de mecanismo, para aprovechar el calcio de las RF. Esto pudiera estar contribuyendo a cubrir la demanda nutricional de este elemento, ya que el suelo

donde se desarrolló el experimento tiene muy baja disponibilidad de Ca ($< 50 \text{ mg kg}^{-1}$) en el año cero (0) antes de sembrar los abonos verdes e iniciar las evaluaciones correspondientes.

CUADRO 7. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y del rebrote de *Cajanus cajan* en las parcelas SR y RG. Año 2.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha^{-1})	**	**	**	0,931	1,951
Vástago (kg ha^{-1})	**	**	**	0,742	1,041

** Altamente significativo 0,001; * Significativo 0,05; CV = Coeficiente de variación.
A= Parcela principal, B= Parcela secundaria.

En el primer año, aún cuando se encontraron incrementos en la disponibilidad de calcio, este se mantuvo bajo, entre 50 y 90 mg kg^{-1} en la parcela de barbecho (testigo absoluto), entre 48 y 65 mg kg^{-1} en la parcela de SR y entre 50 y 114 mg kg^{-1} en la parcela donde se incorporó residuos de cosecha de sorgo (RG). En esta última parcela, los valores de calcio incrementaron hasta valores medios en los primeros 10 cm de profundidad.

CUADRO 8. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y del vástago de *Cajanus cajan* en las parcelas SR y RG. Año 3.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha^{-1})	**	**	**	1,657	2,882
Vástago (kg ha^{-1})	N.S.	N.S.	N.S.	8,798	14,703

** Altamente significativo $< 0,01$; * significativo $< 0,05$; NS no significativo; CV= Coeficiente de variación; A= parcela principal; B= parcela secundaria.

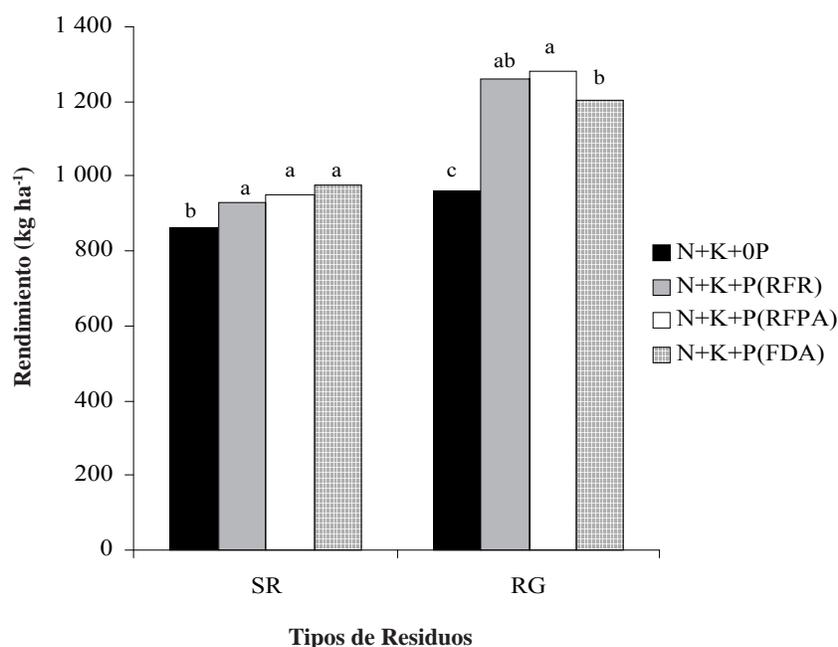


FIGURA 8. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento de granos de *Cajanus cajan*. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Duncan, $P \leq 0,05$). Año 3.

En este sentido, los trabajos de Weil (2002) señalan que las leguminosas para mantener el balance iónico interno (catión-anión) exudan protones (H^+), los cuales acidifican la rizosfera y pueden hacer disponible P y Ca a partir de fuentes de fósforo cálcicas, como las RF. El investigador antes referido encontró que entre los exudados radiculares de quinchoncho, predominó el ácido piscídico, el cual actúa sobre formas de P ligado al Fe y hace disponible el P a la planta. Estos procesos son facilitados cuando las plantas están micorrizadas con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), los cuales han sido encontrados en la rizosfera de los cultivos indicadores (sorgo y quinchoncho) por Toro *et al.* (2002) en estas condiciones de manejo y en el mismo lote experimental. Además, pueden estar interactuando microorganismos solubilizadores de fósforo

como las bacterias solubilizadoras de fosfato cálcico: *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus circulans*, indentificadas por Toro *et al.* (2002) en el lote experimental.

Estos resultados, hacen suponer, que bajo estas condiciones de manejo conservacionista, las interacciones de microorganismos simbióticos y asimbióticos (asociativos), junto a la habilidad del quinchoncho para adaptarse a estas condiciones adversas, pudieran estar contribuyendo a promover procesos físicos-químicos -biológicos que permiten a la planta acceder a P y Ca de fuentes de poca disponibilidad, tanto proveniente de los fertilizantes inorgánicos naturales (RFR, RFRPA) como de las formas retenidas que existen en suelos ácidos (P-Fe, P-Al), y que pudieran ser explicadas a través de trabajos previos y complementarios desarrollados en estas condiciones de manejo durante el proceso de investigación que se lleva a cabo (Toro *et al.*, 2002; España y López, 2003, López *et al.*, 2004).

Dichas investigaciones han demostrado el efecto positivo del manejo combinado de abonos orgánicos (abonos verdes, residuos de cosecha) con abonos inorgánicos, principalmente con las fuentes de P-RFR, tanto natural como acidulada, encontrándose que los residuos de cosecha y abonos verdes mejoran la calidad del suelo, tanto por el tipo de organismos, actividad y comportamiento de estos en determinadas condiciones, como por las mejoras desde el punto de vista integral en la fertilidad del suelo, incrementando así, la capacidad productiva de los suelos ácidos de sabana de muy baja fertilidad natural.

Por otra parte, los resultados también reflejan la reactividad de las RF utilizadas (RFR, RFRPA) en suelos ácidos y sustentan la hipótesis de que estos fertilizantes fosfatados son una importante alternativa para fertilizar suelos bajos en P y con problemas de acidez. La respuesta importante obtenida con los tratamientos de RF micronizada (RFR) y la parcialmente acidulada (RFRPA), puede estar relacionada como fue explicado antes con la suplencia de calcio proveniente de este fertilizante inorgánico, ya que estos suelos son bajos en este elemento y las leguminosas requieren de este catión para cubrir sus requerimientos y realizar el proceso de fijación de nitrógeno.

En este sentido, López *et al.* (2005) y España *et al.* (2006) en estas mismas condiciones agroecológicas y usando N_{15} y la técnica del valor A, evaluaron la eficiencia de recuperación de N del fertilizante

y la fijación biológica de nitrógeno (FBN) utilizando quinchoncho, cultivar Aroita y la RFRPA como fuente de fósforo, encontrando que el quinchoncho aprovechó 3% de los 15 kg ha⁻¹ al aplicar como fertilizante (sulfato de amonio), lo cual significa que de aproximadamente 49 kg ha⁻¹ de N acumulado en la planta del quinchoncho, provino del proceso de FBN y que esta fijación fue de aproximadamente 79% del total presente en la planta, siendo esta eficiencia de fijación de N alta comparada con la obtenida por Mafongoya *et al.* (2004) y Gathumbi *et al.* (2002) quienes han señalado valores de FBN en *Cajanus cajan* de 62 en el primer caso y entre 55 y 67% en el segundo caso, lo cual demuestra la potencialidad del cultivar Aroita para ser usado en rotación de cultivos en suelos ácidos de baja capacidad productiva y bajo manejo conservacionista y de bajos insumos.

En general, los rendimientos de quinchoncho fueron significativamente superiores en las parcelas donde se aplicó RG (abono orgánico) combinado con abono inorgánico (T₁-T₄), en comparación con los rendimientos obtenidos en la parcela SR, la cual solo recibió fertilización orgánica.

CONCLUSIONES

- La susceptibilidad a la degradación que presentan los ecosistemas en la región natural de los Llanos Centrales de Venezuela, en altiplanicie de mesa conservada, caso Parroquia Agrícola de Espino, estado Guárico, debido entre otras causas a las características propias del trópico, condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de flora y fauna y las prácticas de manejo inadecuadas de los sistemas de producción, hacen necesario implementar alternativas de manejo conservacionistas que promuevan la sustentabilidad de estos agrosistemas.
- El Quinchoncho, *Cajanus cajan*, cv Aroita, es una leguminosa de grano con alto potencial para ser usado en agrosistemas susceptibles a la degradación, presentando mecanismos de adaptación a suelos ácidos al contribuir significativamente en el desarrollo sustentable de la región cuando es utilizada en prácticas de manejo conservacionistas.
- En suelos ácidos de muy baja fertilidad y fragilidad estructural, las prácticas de manejo que combinan abonos inorgánicos (fuentes

naturales de P, RFR, RFRPA y fuentes industriales (N, P, K, en dosis bajas) y orgánicas (abonos verdes, residuos de cosecha), son una alternativa viable técnica, ecológica y económica, que contribuye a aumentar la calidad del suelo y por ende su capacidad productiva.

- Los abonos inorgánicos naturales, tales como la RFR y la RFRPA, representan la fuente de fósforo y calcio alternativa para suelos ácidos con prácticas de manejo conservacionista, los cuales al aportan P y Ca al suelo, mejoran sus condiciones químicas, e incrementan la disponibilidad de P y Ca en el suelo y proveen a los cultivos indicadores de estos macronutrientes esenciales.
- Incrementos en la disponibilidad de los nutrientes Ca, P, K, S y N, en la MO del suelo, disminución en el Al^{+3} y los ligeros incrementos en el pH del suelo; así como los aumentos en los rendimientos del quinchoncho, son indicadores de mejoras en la calidad del suelo y aumentos en su capacidad productiva. Dichas características se convierten en elementos claves para visualizar la tendencia de agrosistemas con suelos ácidos a lograr su sustentabilidad ecológica y económica a mediano plazo al mantener prácticas conservacionistas como las evaluadas en el presente estudio (rotación cereal-leguminosa, uso de cultivares tolerantes a la acidez del suelo, manejo combinado de abonos orgánicos e inorgánicos, labranza mínima y uso racional de insumos).

AGRADECIMIENTO

Al productor Sr. Carlos Bastardo y su honorable familia por el apoyo, confianza y amistad durante el desarrollo de este experimento, permitiéndonos utilizar espacios de su unidad de producción de forma incondicional.

BIBLIOGRAFÍA

AE, N., J. ARIHARA and OKADA. 1991. Phosphorus uptake mechanisms of Pigeonpea grown in alfisol and vertisols. ICRISAT. International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics 1991. Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi arid tropics (Johansen, C., Lee, K. K. And Sahwat, K. L., eds) Patancheru A. p. 502-324.

BARRIOS, E. 2001. Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. **In:** Resumen XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero-Cuba.

BRAVO, C. y A. FLORENTINO. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y agua bajo diferentes sistemas de labranza. *Rev. Fac. Agron.* 25:57-74.

CAVIGELLI, M. A. and J. THIEN STEVE. 2003. Phosphorus Bioavailability following incorporation of green manure crop. *Soil Science Society of America Journal.* 67:1 186-1 194.

CHAUHAN Y.S.1990. Pigeonpea: Optimum agronomic management Chapter 11. 257 - 278p. *In:* Nene. Y .L.; S D Hall y V. K. Sheila (Ed). The pigeonpea. CAB International Wallinford UK. 490p.

CLEMENT, A., J. K. LADHA and F. P. CHALIFOUR. 1995. Crop residue effects on nitrogen mineralization, microbial biomass, and rice yield in submerged soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1 595-1 603.

DAY, P. R. 1965. Particle fractionation and size analysis. **In:** *Methods of Soil Analysis*, Monograph No 9. Am.Soc. Agron., Madison, WI. pp. 545-567.

DIAMOND, R. B. 1979. Views on marketing of phosphate rock for direct application. **In:** IFDC, ed. Seminar on phosphate rock for direct application Special Publication SP-1. Muscle Shoals, USA, IFDC.

ESPAÑA, M. 2003. La influencia del sistema de manejo en la microbiología de los suelos de sabanas en Venezuela. **In:** memorias del “Taller Internacional Sobre Manejo Sostenible de las Sabanas Tropicales Suramericanas”. P. Procitropicos, IICA, CIAT, Corpoica.

ESPAÑA, M. y M. LÓPEZ. 2003. Actividad de la deshidrogenasa del suelo bajo diferentes tipos de residuo en sabanas ácidas de Venezuela. Dehydrogenase activity the soil with different type of residue in acid savannahs of Venezuela. En el suelo como sistema viviente-Simposio. **In:** V Congreso Venezolano de Ecología. Isla Margarita-Venezuela.

ESPAÑA M., E. CABRERA-BISBAL and M. LÓPEZ. 2006. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from Venezuelan savannas using ¹⁵N. *Interciencia.* 31:197-201.

ESPAÑA, M., B. RODRÍGUEZ, E. BISBAL y B. CECCANTI. 2002. Actividades enzimáticas y contribución de los residuos de cosecha de maíz al N del suelo en diferentes sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra* 20 (1):81-86.

EWEL, J. 1972. Zonas de vida de Venezuela: Memória explicativa sobre el mapa geológico. Primera edición. Caracas. Venezuela. 265 pp.

FLORENTINO de A., A. 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: Selección de Indicadores Físicos. Valores Críticos. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 12 p.

FRANCO-VIZCAÍNO. 1997. Comparative soil quality in maize rotations with high or low residue diversity. *Biol. Fertl Soils*. 24:32-38.

GATHUMBI, S. M., G. CADISCH and K. E. GILLER. 2002. ¹⁵N natural abundance as a tool for assessing N₂-fixation of herbaceous, shrub and tree legumes in improved fallows. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1 059-1 071

GILABERT de BRITO, J., I. LÓPEZ de ROJAS y R. ROBERTI. 1990. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. **In:** Manual de métodos y procedimientos de referencia. FONAIAP-CENIAP. Maracay. Capítulos. 4.1-5.1. (Serie. D. Nº 26).

GROSSMAN, R. B., D. S. HARMS, G. B. MUCKEL and C. D. FRANKS. 1997. Aspects of Evaluation of Soil Quality Proposed for the U.S. Soil Survey. USDA. Natural Resources Conservation Service, Lincoln, Nebraska, USA. 10 p.

HAMMOND, L. L. and L. A. LEON. 1983. Agronomic effectiveness of natural and altered phosphate rocks from Latin America. **In:** IMPHOS, ed. 3rd International Congress on Phosphorus Compounds. Brussels. p 503-518.

HERRERA S, L. A. 2004. Análisis conjunto de experimentos en parcelas subdivididas. Trabajo de ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Ingeniería Agrícola. 86 pp.

HIGUERA, A., L. CASTILLO, C. GARCÍA, I. SOTO, L. SANDOVAL y R. LOBO. 1998. Efecto de la frecuencia y altura de corte sobre el rendimiento y calidad de forraje de diferentes variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Rev. Fac. Agron. LUZ 15:188-198.

HIGUERA, A., O. FERRER, D. BOSCÁN, A. CANELÓN, M. MONTIEL y C. CASTRO de R. 2001. Efecto de la altura y tiempo de corte sobre el contenido mineral de hojas y tallos de tres variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp con fines de alimentación animal. Rev. Cientif. FCV-LUZ XI (6): 491-500.

HOCKING, P. J., G. KEERTHISINGHE, F. W. SMITH and P. J. RANDALL. 1997. Comparison of the ability of different crop species to access poorly-available soil phosphorus. T. Ando *et al.* (Eds). Plant nutrition for sustainable food production and environment.305-308.

LEÓN, M. 1993. Efecto de sistemas de labranza conservacionista con uso de leguminosa en un alfisol de la zona maicera de Yaracuy. Tesis Msc Cs. Maracay. Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 147 p.

LÓPEZ, M. 2002. Muestreo de suelo y fertilización eficiente en sorgo". **In:** Memorias: IV curso sobre producción de sorgo: ASOPORTUGUESA CIAE-PORTUGUESA. P (113-122). 187 pp.

LÓPEZ, M., H. MENA y A. BOLÍVAR. 2001a. Contribución de abonos verdes y Roca fosfórica en la fertilidad de un suelo ácido de Guárico, Venezuela. **In:** XV Congreso Latino americano y V Cubano de la Ciencia del suelo. Memorias. Editada en formato electrónico (CD-ROM). 5 p.

LÓPEZ, M., E. CABRERA de B., M. ESPAÑA, A. FLORENTINO, M. TORO y N. ALFONZO. 2003. Desarrollo de Estrategias para el Manejo Sostenible de Sabanas Ácidas de Venezuela. Tercer Informe de Avance de Resultados. Convenio: INIA-AIEA-FAO-Contrato N° 10962R1. 72 p.

LÓPEZ, M., E. CABRERA de B., M. ESPAÑA, A. FLORENTINO, M. TORO y N. ALFONZO. 2004. Desarrollo de Estrategias para el Manejo Sostenible de Sabanas Ácidas de Venezuela. Informe Final. Convenio: INIA-AIEA-FAO-Contrato VEN N° 10962R0R3. 103 p.

LÓPEZ, M., M. ESPAÑA y E. CABRERA de B.. 2005. Aportes de nitrógeno por FBN en la rotación *Sorghum bicolor-Cajanus cajan*, usando 15N en un suelo ácido del estado Guárico-Venezuela. **In:** Memorias del XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay-Venezuela del 17 al 19 de mayo de 2005. 4 p.

LÓPEZ, M., N. ALFONZO, S. CANACHE, S. GUERRERO y L. BRICEÑO L. 2001b. Caracterización de suelos ácidos del Nororiente de Guárico y centro Norte de Cojedes. IV Jornadas Técnicas del CENIAP realizadas en el marco de los 50 años del Centro. Maracay del 12 al 14 de septiembre de 2001. En memorias. Formato electrónico CD.

LÓPEZ, M., N. ALFONZO, A. FLORENTINO y M. PÉREZ. 2006. Dinámica del Fósforo y Reducción del Aluminio Intercambiable en un Suelo Ultisol Sometido a Manejo Conservacionista en Venezuela; *Interciencia*, 31: 293-299.

MAFONGOYA, P., K. E. GILLER, D. ODEE, S. GATHUMBI, S. K. NDUFA and S. M. SITOMPUL. 2004. Benefiting from N₂-fixation and managing rhizobia. **In:** Van Noordwijk; G. Cadisch and C.K. Ong (eds). Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Concepts and models with multiple plant component. CAB-International. Wallingford, UK. 16 p.

MARTÍNEZ, J., L. LEONTE, G. CASTELLANO y A. HIGUERA. 2003. Evaluación de 25 líneas de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp con fines de selección para uso como leguminosa arbustiva forrajera. *Rev. Científica. FCV-LUZ*. XIII (3):173-181.

McLAUGHLIN, Y. and T. R. JAMES. 1991. Effect of phosphorus supply to the surface roots wheat on root extension and rhizosphere chemistry in an acidic subsoil. *Plan and Soil*. 134:73-82.

MÍRELES, M., J. COMERMA y F. QUINTERO. 1998. Tipos de Usos de la Tierra en el Nororiente de Guárico. Maracay, Ven. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 34 p. (Serie C. Nº 11).

MOKOLOBATE M., S. and R. J. HAYNES. 2002. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biology Fertility Soil*. 35:79-85.

NENE, Y. L. and V. K. SHEILA. 1990. Pigeonpea: Geography and Importance. Chapter 1. 1-14p. **In:** Nene. Y. L.; S. D. Hall y V. K. Sheila (Ed) 1990. The pigeonpea. CAB International Wallingford UK. 490 p.

PLÁ, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista Alcance. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. No 32.

RAMÍREZ, L. 2000. Ventanas de Sostenibilidad: un modelo para la promoción del desarrollo sostenible. IICA-GTZ Costa Rica material de consulta técnica pp. 1-15.

RAMÍREZ, R. y M. LÓPEZ. 2000. Agronomy effectiveness of phosphate rock and superphosphate for aluminum tolerant and non-tolerant *sorghum cultivars*. Communication in Soil Science and Analysis. 31(9 y 10):1 169-1 178.

REMANANDAN, P. 1990. Pigeonpea: Genetic Resources. Chapter 4. 89 a 115 p. **In:** Nene Y. L.; S. D. Hall y V. K. Sheila (Ed) 1990. The pigeonpea. CAB International Wallingford UK. 490 p.

RIVAS, E. 1993. Efecto de la labranza mínima y prácticas agronómicas asociadas sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de maíz de los Llanos altos del estado Monagas. Tesis de maestría. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 105 pp.

RIVERO, C., D. LOBO y A. LÓPEZ. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. Revista Venesuelos. 6 (1 y 2): 9-33.

THORUP-KRISTENSEN, K. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Adv. Agrn. 79:228-302.

TORO, M., M. LÓPEZ y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 2002. Primer informe de avance del proyecto: "Efecto de las prácticas agrícolas sobre el funcionamiento de las micorrizas arbusculares y su incidencia en el desarrollo sostenible de agroecosistemas" S1-2000000649. Caracas. 30 p.

COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE ESPÁRRAGO VERDE A DIFERENTES DENSIDADES INICIADO MEDIANTE EL SISTEMA TRADICIONAL DE ARAÑAS

Ana M. Castagnino*, Patricia Sastre Vásquez* y Atoine Menest**

RESUMEN

Para que una esparraguera (espárragos, *Asparagus officinalis*) pueda lograr un óptimo rendimiento productivo y turiones de elevada calidad es fundamental la realización de una buena plantación y la elección de una adecuada densidad. El objetivo del trabajo es estudiar el efecto de dos densidades de cultivo en plantaciones efectuadas mediante el empleo de arañas. La plantación se realizó el 12/09/2003 utilizando arañas de aproximadamente 100 g con las siguientes densidades: D1= 25 000 pl ha⁻¹ y D2: 17 857 pl ha⁻¹, correspondientes a los siguientes marco de plantación: 1,60 x 0,25 y 1,60 x 0,35, respectivamente. Este trabajo corresponde a la primera cosecha realizada en el 2005. Se evaluó: peso fresco total cosechado y para cada cosecha, número de turiones y calibre de cada turión, utilizando las normas USDA. La menor densidad considerada permitió obtener 202 kg ha⁻¹cosecha⁻¹, mientras que para la mayor densidad, se lograron 167 kg ha⁻¹ cosecha⁻¹, correspondientes a 4 844 kg ha⁻¹ (a) para la densidad 1 y 4 008 kg ha⁻¹ (b) para la densidad 2. Posiblemente este resultado se deba a que si bien se trata de una plantación joven, se les brindó a las plantas el tiempo necesario para que puedan desarrollar un buen sistema radical y es así entonces que ya en su primer año de cosecha mostraron competencia según densidad. Respecto del número de turiones producidos por planta, la menor densidad permitió lograr 13 turiones, que pesaron en total 225 g, mientras que la mayor densidad, 9 turiones que pesaron 179 g. Se logró una mayor proporción de turiones M, seguido de S y de L.

Palabras Clave: *Asparagus officinalis*; coronas; marco de plantación; sistema de inicio.

* Profesoras. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). C.C. 47 (7300) Azul. Pcia. De Bs As Argentina. E-mail: amc@faa.unicen.edu.ar

** Alumno pasante del Instituto Nacional Agronómico. Paris-Grignon (INIA-G). Francia.

RECIBIDO: diciembre 23, 2005.

BEHAVIOR OF A GREEN ASPARAGUS CROP AT DIFFERENT DENSITIES INITIATED BY THE TRADITIONAL SYSTEM OF CROWNS

Ana M. Castagnino*, Patricia Sastre Vásquez* y Atoine Menest**

SUMMARY

For an asparagus bed to be able to reach optimal yield and produce high quality spears, it is essential to perform a good plantation and choose an adequate density. The aim of this paper is to study the effect of two planting densities performed in two plantations using crowns. Planting was done on 12/09/2003 using crowns of about 100 g, with the following densities: D1= 25,000 pl ha⁻¹ and D2= 17,857 pl ha⁻¹ corresponding to the following planting frames 1,6 x 0,25 and 1,6 x 0,35, respectively. This paper reports results of the first harvest performed in 2005. Total fresh weight harvested was evaluated, as well as spear number and thickness for each harvest, following USDA norms. The lowest density produced 202 kg ha⁻¹ harvest⁻¹, while the highest density produced 167 kg ha⁻¹ harvest⁻¹, corresponding 4,844 kg ha⁻¹ (a) for density 1 and 4,008 kg ha⁻¹ (b) for density 2. These results may be due to the fact that although it was a young plantation, plants were given the necessary time to develop a good rooting system and therefore in its first year the crop results exhibited competition according to density. Concerning the number of spears produced per plant, the lowest density yielded 13 spears that weighed a total of 225 g, whereas the highest density produced 9 spears that weighed 179 g. A greater proportion of M spears, followed by S and L were obtained.

Key Words: Crowns; planting frame; initiation system.

* Profesoras. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). C.C. 47 (7300) Azul. Pcia. De Bs As Argentina. E-mail: amc@faa.unicen.edu.ar

** Alumno pasante del Instituto Nacional Agronómico. Paris-Grignon (INIA-G). Francia.

RECIBIDO: diciembre 23, 2005.

INTRODUCCIÓN

Una de las decisiones más importantes en el inicio del cultivo de espárrago, *Asparagus officianalis*, es la densidad a utilizar, ya que la misma repercutirá en los resultados productivos durante toda la vida de la esparraguera.

El cultivo de espárrago es plurianual, por lo tanto los errores cometidos en esta etapa no son fácilmente solucionables. Una buena plantación requiere tener en cuenta muchos aspectos complementarios, referidos a la individualización del terreno más oportuno, a una adecuada preparación del mismo, a la precisión del manejo cultural, a la fertilización de fondo, a la época y modalidad del trasplante (Sportelli, 2002), a la opción entre plantines y arañas para el inicio del cultivo y finalmente la densidad a utilizar. Algunos autores como Falavigna (1988), han sostenido que este cultivo no admite improvisaciones o arbitrarias variaciones de técnicas y requiere intervenciones precisas y rigurosas.

Resulta de gran importancia para el cultivo del espárrago la elección entre plantines o arañas. Entre las ventajas de ambos sistemas se destacan que los plantines presentan mayor plasticidad en la programación de los trasplantes, y una más elevada seguridad sanitaria; mientras que las arañas si bien demandan un año para su producción, una vez trasplantadas, desarrollan un sistema radical muy vigoroso y admiten desde el comienzo un manejo de la plantación de secano, en aquellos lugares en los que las precipitaciones normales de la zona son de aproximadamente 1 000 mm anuales. La producción de estas últimas tampoco requiere de tecnologías específicas como es el caso de los plantines.

Mientras las arañas deben ser trasplantadas a fines del invierno siguiente a su siembra, o en la primavera, ya que las yemas de las coronas deben estar dormidas, los plantines pueden ser trasplantados en primavera o al comienzo del verano (Sportelli, 2002), lo que permite anticipar en prácticamente un año el inicio definitivo del cultivo.

El espárrago tiene un período promedio de cosecha de 10 años y llega al máximo de producción a los cuatro o cinco años (Ellison, 1986 y Asprelli *et al.*, 2005). La extensión de la vida total de la plantación depende de la densidad de cultivo utilizada.

La comercialización de este producto tanto en el mercado interno como en el externo se basa en un producto de calidad excelente, por tipicidad, seguridad alimentaria y trazabilidad y sobre una moderna organización comercial. Para mantener el mercado es necesario que los turiones sean verdes en los menos 80% de su largo, que estén presentados turgentes, bien formados, sanos.

Para la plantación ya sea que se trate de espárrago verde o blanco, es preferible efectuar un implante precoz de modo que las plantas dispongan de más meses de vegetación (Cattivelo *et al.*, 2002).

Dado que los calibres de los turiones cosechados dependen del tamaño de las yemas (y por ende del calibre de la corona que le da origen) y que los distintos mercados de exportación demandan calibres diferentes, es necesario ajustar la densidad de cultivo en correspondencia con los calibres exigidos por el mercado objetivo. El mercado europeo en general demanda los mayores calibres mientras que EE UU requiere turiones delgados (diámetro de 7-17 mm). Esto ha motivado a los productores a tratar de ajustar la densidad de sus cultivos, tendientes a lograr un rendimiento y distribución de calibres acorde a su mercado de destino.

El tamaño de las yemas está positivamente correlacionado con el tamaño de los turiones (Nichols y Woolley, 1985). La dimensión de los brotes que la planta puede producir estaría gobernada por procesos genéticamente determinados, aunque sería afectada por el tipo de manejo y el nivel de reservas (Blasberg, 1932).

En experimentos realizados en Chile, con el fin de determinar el efecto poblacional sobre el rendimiento total, rendimiento comercial y calidad de los turiones a través del tiempo, empleando diferentes híbridos, los resultados indicaron que al aumentar la población, los rendimientos total y comercial subieron hasta alcanzar un punto de estabilización, que dependió del cultivar. En las poblaciones más altas se tendió a mantener el calibre o el peso de los turiones, disminuyendo la cantidad de turiones por planta. Al doblar la población habitual en Chile, el peso promedio de los turiones disminuyó 9% como máximo. La calidad no varió en forma importante entre poblaciones, sí entre cultivares. En dicho estudio se concluyó que UC-157 F1 continúa siendo un cultivar conveniente pero que debería plantarse en una población de 44 444 plantas ha⁻¹, y que nuevos híbridos como Pacific 2000 ameritan ser evaluados más amplias y exhaustivamente (Fariás *et al.*, 2003).

La tendencia actual en países del hemisferio sur es realizar plantaciones más densas buscando, por un lado, mayor rendimiento y, por otro, disminuir el calibre de los turiones (González y Del Pozo, 2002), de acuerdo a las demandas del mercado internacional (Paske, 1996).

La adecuada selección del cultivar es un factor prioritario para el éxito de cualquier cultivo. Esto es aún más significativo en especies perennes como el espárrago, ya que su vida productiva debiera ser normalmente superior a los diez años. En la selección debe considerarse no sólo su rendimiento total, sino también la calidad de sus turiones, ya que el porcentaje de desecho puede variar significativamente entre cultivares (González y Del Pozo, 2002). Dentro del desecho, el mayor porcentaje medido en peso o número de turiones, suele estar dado por espárragos ramificados; esta fracción es variable según cultivar y las condiciones de producción (temperatura, altura de corte, diámetro del turión, densidad, etc). En estudios de cultivares realizados por Krarup y Contreras (2002) en Chile, en la VIII Región, por Nichols y Woolley (1985) en Nueva Zelanda, lograron fracciones no exportables de la producción total que variaron entre 15-50% y 34-88%, respectivamente.

El crecimiento de los turiones de espárrago depende de la temperatura. Existe concordancia entre diferentes autores en que las tasas de elongación diaria de los turiones aumentan entre temperaturas mínimas de 7 a 10 °C hasta máximas de 25 a 30 °C, y que dichas tasas aumentan también en la medida que el turión es más largo (Blumenfield *et al.*, 1961; Nichols y Woolley, 1985; Souther, 1987; Dean, 1999).

En sus ensayos Blumenfield *et al.* (1961) calcularon, mediante análisis de regresión, que aumentos de temperatura de 1 °C generaban aumentos de 0,57 cm en las tasas de elongación diaria, mientras que aumentos de 1 cm en la longitud del turión significaban aumentos de 0,35 cm en las mismas tasas. Krarup y Mann (1997) presentaron tasas de elongación de 5,6; 7,4; y 7,7 cm día⁻¹, en turiones de más de 10 cm, asociadas a temperaturas medias de 15,5; 16,6; y 19,8 °C, respectivamente. Además, existen algunas evidencias que distintos cultivares presentarían diferencias en sus tasas de elongación (Krarup y Mann, 1997; Wilson *et al.*, 1999) y altura de ramificación (Krarup y Mann, 1997; Nichols y Fisher, 1999).

En el manejo verde la inducción de las yemas está determinada por el aumento de temperatura del suelo (Drost, 1997), mientras que el crecimiento de los turiones depende fundamentalmente de la temperatura del

aire (Krarup y Krarup, 1987), ya que la mayor velocidad de crecimiento se ubica por debajo del extremo apical del turión (Keuls y Post, 1957).

El rendimiento y calidad de cualquier cultivo está determinado por un componente genético y un componente ambiental (Holliday, 1960). El componente genético está dado por el cultivar utilizado y el componente ambiental está dado por numerosos factores, entre ellos, la población de plantas por unidad de superficie. El turión o producto comercial del espárrago, por ser una estructura vegetativa, al aumentar la población presenta una respuesta en sus rendimientos que se define como una curva de hipérbola rectangular (Holliday, 1960).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de dos densidades en el cultivo de espárrago verde en una plantación efectuada mediante el empleo de arañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se inició en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía, sobre la Ruta Nacional número 3, km 305, en el partido de Azul, Provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Argiduo típico el 12/09/2003, a través de la plantación de arañas de espárragos verdes.

Etapas de realización de almácigo: La siembra del almácigo se efectuó el 20/08/01 manualmente, a una profundidad de 2 cm y con un marco de siembra de 1,40 m entre hileras y 0,10 m entre plantas. Para el control de malezas durante la etapa de almácigo se utilizó, en preemergencia, Linurón y se complementó dicha aplicación con limpieza manual en la hilera y mecánicas con motocultivador entre filas. Como las condiciones climáticas del año de siembra no resultaron muy favorables debido a lluvias excesivas, a bajas temperaturas que dificultaron la emergencia y a un período estival posterior con pocas precipitaciones, se resolvió extender un año más la etapa de almácigo a fin de facilitar que las arañas adquirieran un tamaño adecuado para el trasplante definitivo. Fue así que recién se cosecharon las mismas al invierno siguiente al que estaba previsto.

Las arañas una vez extraídas en forma semi-mecanizada (efectuando el descalzado mecánico y la extracción manual) fueron lavadas, seleccionadas y desinfectadas mediante el empleo de 2 fungicidas: uno sistémico (Benomil) y uno de contacto (Captan).

La preparación del lote consistió en dos cinceladas cruzadas, dos pasadas de rastra de discos y una de motocultivador. Previo al trasplante se abrieron surcos a una profundidad de 25cm con motocultivador equipado con aporcador. Se efectuó fertilización de fondo en bandas de 0,30 m con fosfato diamónico. Las dosis utilizadas fueron de 300 kg ha⁻¹.

Se realizaron controles de malezas químicos, manuales y mecánicos durante el año de implantación. En el primer caso se utilizó Linurón a razón de 2 l ha⁻¹.

Etapas de plantación de ensayo a campo: La plantación a campo se efectuó el día 12 de septiembre de 2003, utilizando un diseño completamente al azar con 2 tratamientos de densidad: 1) D1 densidad de siembra de las arañas a 25 000 pl ha⁻¹; 2) D2 densidad de siembra de las arañas a 17.857 pl ha⁻¹, correspondientes a los siguientes marcos de plantación: 1,60 x 0,25 m y 1,60 x 0,35 m, respectivamente.

La profundidad de plantación fue de 0,30 m. El número de surcos parcela⁻¹ fue de 3 y el total de 8, incluyendo borduras. El largo del ensayo fue de 48 m. Se emplearon arañas de entre 100 y 150 g cada una.

A partir de la plantación se procedió a efectuar las labores culturales necesarias para el mantenimiento de dicho ensayo libre de malezas y de plagas. Se realizaron controles de malezas químicos, manuales y mecánicos durante el año de implantación. En el primer caso se utilizó Linurón a razón de 2 l ha⁻¹. Se efectuaron remociones superficiales con motocultivador en entrefila y manuales en las hileras a razón de cinco anuales con una periodicidad promedio de 1,5 meses. El producto aplicado el segundo año fue el mismo que durante el primero y al tercer año se procedió a aplicar Atrazina en preemergencia de las malezas. Para el control de plagas se utilizó un insecticida sistémico, Imidacloprid.

Primer período de cosecha: El primer año de evaluación de rendimiento correspondió 2005, en el período comprendido entre el 24/09/05-04/11/05. La frecuencia de cosecha utilizada fue día por medio al comienzo y posteriormente diaria, acompañando la evolución de la temperatura y precipitaciones (ver Figura 1). Los espárragos una vez cosechados fueron lavados, cortados a 22 cm de largo y posteriormente calibrados y pesados.

Para las determinaciones de peso se utilizó una balanza electrónica "Sensotronic" SE 500.

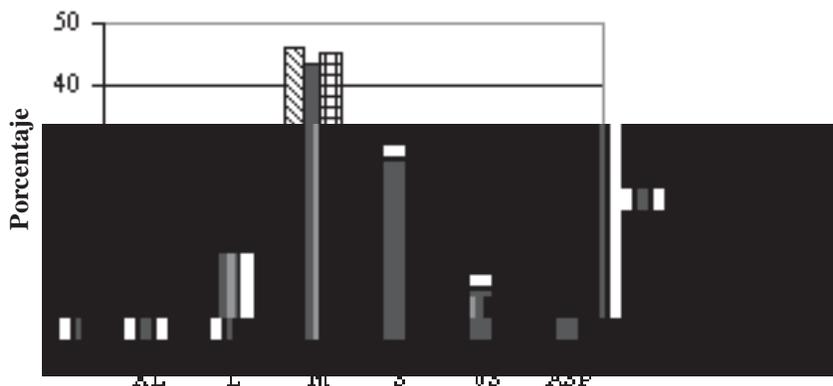


FIGURA 1. Distribución porcentual de calibres según densidad.

Evaluaciones efectuadas: Se evaluaron las siguientes variables: peso fresco total cosechado y para cada cosecha, número de turiones y calibre de cada turión, utilizando las normas USDA definidas para *Asparagus officinalis* para los distintos calibres: XL, L, M, S, XS y *asparagina*. Se realizó un análisis de la varianza, con un diseño completamente al azar y con cuatro repeticiones, considerando como factor: la densidad de plantación. Para determinar las diferencias entre medias se usó la prueba de rangos múltiples de Duncan. Se utilizó un nivel de confianza del 5% para todas las pruebas estadísticas.

Las precipitaciones del año de evaluación fueron en total de 730 mm, tal como se muestra en la Figura 2 a continuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento total

Promedio general

La producción total del ensayo fue de 4 426 kg ha⁻¹ y de 184 kg ha⁻¹ cosecha⁻¹. La producción en número de turiones fue de 227 876 y 9 495 por cosecha.

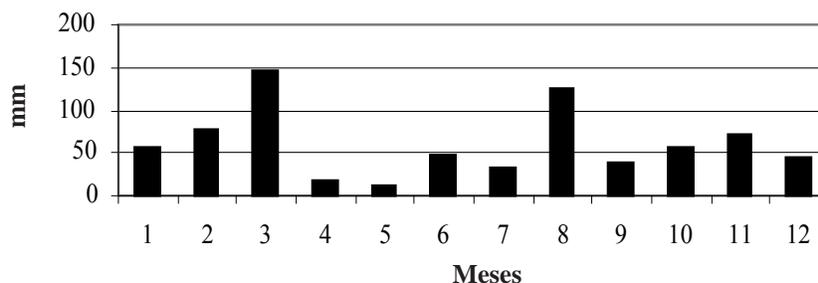


FIGURA 2. Precipitaciones del año 2005 correspondiente al primer año de cosecha.

Rendimiento según densidad

Como resultado general de todo el período de cosecha, se logró una diferencia significativa para la menor densidad considerada que en promedio permitió obtener 202 kg ha^{-1} cosecha⁻¹, mientras que para la mayor densidad, se lograron 167 kg ha^{-1} cosecha⁻¹. Como rendimiento total del período, se obtuvieron $4\,844 \text{ kg ha}^{-1}$ (a) para la densidad 1 y $4\,008 \text{ kg ha}^{-1}$ (b) para la densidad 2.

Posiblemente este resultado se deba a que si bien se trata de una plantación joven, se les brindó a las plantas el tiempo necesario para que puedan desarrollar un buen sistema radical y es así entonces que ya en su primer año de cosecha mostraron competencia según densidad.

Si bien la densidad 1 permitió lograr una mayor producción, en general del período, tal como se muestra en el Cuadro 1, los resultados individuales obtenidos a lo largo de las 24 cosechas realizadas no resultaron significativos para la gran mayoría de las mismas, tal como se observa en la Figura 3, respecto de las dos densidades consideradas. Posiblemente esto se deba a que, al tratarse de una esparraguera joven en su primer año de producción aún las plantas que la integran no muestran competencia entre sí, en muchas de las cosechas individuales.

En este caso, el rendimiento depende del tamaño de turiones y este a su vez depende del tamaño adquirido por las yemas de las arañas que les dieron origen. Las dimensiones adquiridas por dichas arañas estarían definidas por la densidad utilizada. Este hecho tendría su origen en los

procesos fisiológicos que regulan el crecimiento vegetativo, ya que el diámetro del turión está relacionado con el tamaño de la araña, el número de yemas y la cantidad de carbohidratos disponibles (Blasberg, 1932). Evolución a lo largo del período de cosecha es observable en la Figura 3.

CUADRO 1. Influencia de la densidad de plantación sobre el rendimiento comercial de espárrago verde, en número de turiones y en peso fresco.

	Rendimiento	Densidad 1	Densidad 2
Peso Fresco	Promedio cosecha ⁻¹ (kg ha ⁻¹)	201,85 (a)	167,00 (b)
	Total kg ha ⁻¹ 2005	4 844,4 (a)	4 008,0 (b)
Número de turiones	Promedio cosecha ⁻¹ (kg ha ⁻¹)	9 447 (a)	9 543 (a)
	Total kg ha ⁻¹ 2005	226 728 (a)	229 025 (a)

Del mismo modo que la producción en kg ha⁻¹ en la mayoría de las cosechas individuales efectuadas resultó significativo solo para algunas de ellas, el número de turiones cosechados por cosecha mostró el mismo comportamiento, tal como lo indica en la Figura 4 a continuación.

Un aumento de temperatura induciría una actividad metabólica superior, promoviendo el desdoblamiento más rápido de reservas, y al poner una mayor cantidad de azúcares a disposición de las yemas en un período más corto se incrementaría notablemente la tasa de emisión de turiones cuando las plantas brotan más tardíamente (Drost, 1997). Evolución de la producción de turiones para los distintos calibres es observada en el Cuadro 2, Figura 4.

Por tratarse del primer año de cosecha, como era de esperarse se logró una mayor proporción de turiones M, seguido de S y de L, tal como se muestra en el Cuadro 2. Posiblemente a medida que dicha plantación vaya evolucionando en edad, permita lograr una mayor proporción de turiones XL y L. No se cosechó un gran número de espárragos de muy bajo calibre comúnmente denominados *asparagina* debido a que se tuvo la precaución de respetar los indicadores de cosecha, y se concluyó el período de cosecha ni bien la esparraguera comenzó a producir una mayor proporción de espárragos de los menores calibres.

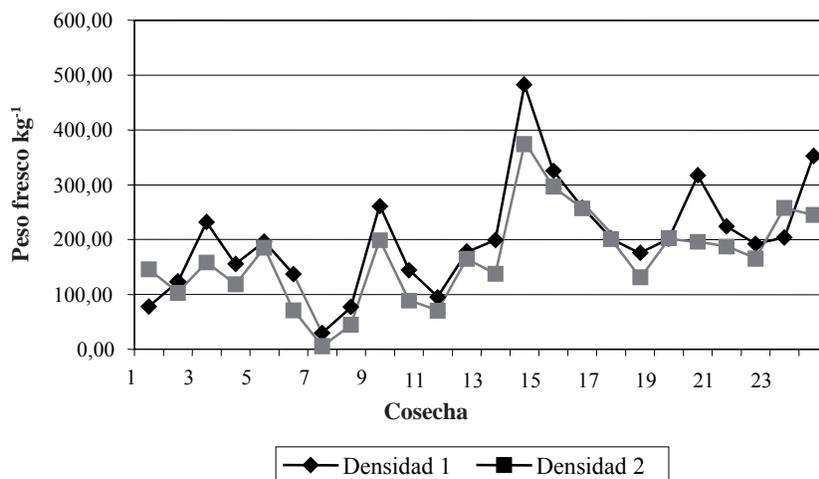


FIGURA 3. Evolución del peso fresco de turiones cosechados a lo largo del período de cosecha.

Con la menor densidad de plantación utilizada fue posible obtener una mayor proporción de turiones de los tres mayores calibres, mientras que con la mayor densidad se logró una mayor proporción de turiones de los tres menores calibres, tal como se observa en Figura 1. Posiblemente dicho resultado se debe al mayor tamaño adquirido por las coronas y por las yemas que las componen, utilizando la menor densidad.

Por tratarse del primer año de cosecha de esta esparraguera, el rendimiento promedio general de $4\,426\text{ kg ha}^{-1}$, correspondió a un peso promedio por turión de $19,4\text{ g}$, lo que resulta alentador.

La menor densidad permitió lograr turiones de peso promedio superior, correspondiente a 21 g , por lo que puede suponerse que la misma resulta más conveniente para aquellos casos, en los que el objetivo productivo es la comercialización de turiones de mayor calibre. Por el contrario, la mayor densidad permitió lograr turiones de peso significativamente inferior, correspondiente a $17,5\text{ g}$, aptos para el mercado de EE. UU.

En número de turiones, la evolución a lo largo de las cosechas fue similar, mientras que dado el peso promedio por turión mencionado, la densidad 1 resultó significativamente más favorable, ya que las arañas

al disponer de mayor espacio, lograron yemas más grandes apta para la producción de turiones más grandes respecto de la densidad 2.

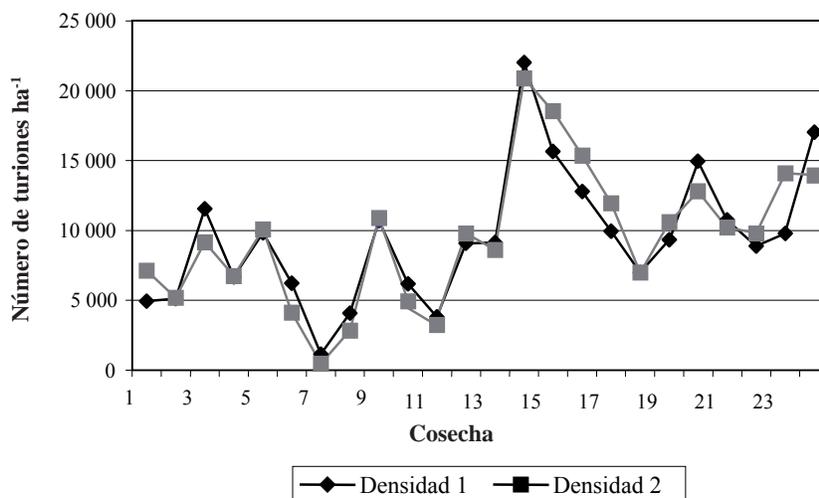


FIGURA 4. Evolución del número de turiones a lo largo de las sucesivas de cosechas.

La porción perenne de la planta produciría año tras año un número mayor de yemas que dan origen a turiones de tamaño comercial y no por un aumento del diámetro de las yemas en sí mismas, ya que el grosor de los turiones es un carácter que queda definido en el primer año productivo para toda la vida útil de la esparraguera (Cointry *et al.*, 2000). Esto indicaría la necesidad de plantar coronas de buen calibre, de 100 a 150 g.

En el caso del espárrago, la cantidad de fotoasimilados almacenados en las raíces actuaría como recurso limitante en la determinación del número y el diámetro de los turiones de modo que un mayor número implica un menor diámetro y viceversa, existiendo una compensación entre ellos (Cointry *et al.*, 2000). Como lo encontrado por Ellison en 1986, trabajando con las mismas plantas durante tres años consecutivos, se observó que los rendimientos máximos provinieron de plantas que tenían muchos turiones grandes, y que las plantas con muchos turiones pequeños o con pocos turiones grandes no tuvieron altos rendimientos.

CUADRO 2. Efecto de la densidad de siembra sobre la distribución de calibres en la producción turiones total obtenida (Nº turiones ha⁻¹).

	Densidad					
	1		2		Total	
	Promedio	Porcentaje	Promedio	Porcentaje	Promedio	Porcentaje
XL	16 277	7	6 661	3	11 469	5
L	45 379	20	30 274	13	37 827	17
M	103 812	46	99 074	44	101 443	45
S	41 650	18	65 013	29	53 332	24
VS	14 672	6	18 549	8	16 611	7
ASP	4 705	2	7 542	3	6 124	3

A medida que avanza la temporada de cosecha en primavera, las altas temperaturas causan la apertura prematura de los extremos de los turiones, haciendo que se ramifiquen a baja altura, volviéndose una proporción de los turiones cosechados no comercializables (Ellison, 1986), y además hace necesario incrementar la frecuencia de cosecha a fin de minimizar la proporción de turiones abiertos prematuramente.

La disponibilidad de arañas de tamaño uniforme y una adecuada densidad da la posibilidad de disponer de una plantación de espárrago de brotación uniforme, lo que facilita el logro de una producción más concentrada.

Este trabajo se ha efectuado basado en el uso del híbrido UC 157, ya que éste ha demostrado a lo largo de muchos años una amplia adaptación a las condiciones de cultivo de Argentina especialmente a su latitud intermedia. Como actualmente existen en el mercado nuevos híbridos de origen nacional, como Sureño INTA-FCA, Neptuno FCA-INTA, Mercurio FCA-INTA, Lucero FCA-INTA y Pampero FCA-INTA, de los cuales al menos el primero ha superado al UC 157 en peso y número de turiones producidos aptos para el mercado, en el futuro será necesario realizar estudios de densidad sobre dichos híbridos a fin de determinar si su comportamiento es similar al logrado en el presente estudio.

El rendimiento y calidad de cualquier cultivo está determinado por un componente genético y un componente ambiental (Holliday, 1960). El componente genético está dado por el cultivar utilizado y el componente ambiental está dado por numerosos factores, entre ellos, la población de plantas por unidad de superficie. El turión o producto comercial del espárrago, por ser una estructura vegetativa, presenta una respuesta en sus rendimientos que se define como una curva de hipérbola rectangular (Holliday, 1960).

El sistema radical del espárrago es extenso y en la plantación más densa pudo haber problemas de entrecruzamientos, lo que podría haber afectado la calidad de la cosecha, incidiendo en el diámetro de las yemas que dieron origen a los turiones.

Posiblemente la densidad no sólo esté definida por el número de plantas, sino también por la acomodación de éstas y la interacción con otros aspectos de manejo, por lo que sería necesario estudiar si a la misma densidad pero con otros aspectos de manejo, por lo que sería necesario estudiar si a la misma densidad pero con otra distribución se repiten los resultados logrados.

El espárrago es una de las pocas especies hortícolas dioicas. Las plantas femeninas son menos productivas, pero producen turiones más gruesos, mientras que las plantas masculinas son más productivas y producen turiones más finos (Cattivelo, 2002). Actualmente existen en el mercado híbridos súper machos, cuya producción es más uniforme respecto a los heterocigotas tradicionales, como el UC 157 utilizado para este ensayo, pero dada la interacción genotipo-ambiente, no siempre mantienen la producción en el tiempo.

CONCLUSIÓN

- La densidad de 17 857 pl ha⁻¹ permitió lograr turiones de peso promedio superior, correspondiente a 21 g, por lo que puede suponerse que la misma resulta más conveniente para aquellos casos, en los que el objetivo productivo es la comercialización de turiones de mayor calibre. Por el contrario, la densidad de 25 000 pl ha⁻¹ permitió lograr turiones de peso significativamente inferior, correspondiente a 17,5 g, aptos para el mercado de EE. UU.

- La evolución del número de turiones, a lo largo de las cosechas fue similar, mientras que dado el peso promedio por turión mencionado, la densidad 1 resultó significativamente más favorable, ya que las arañas al disponer de mayor espacio, lograron yemas más grandes aptas para la producción de turiones más grandes respecto de la densidad 2.
- Respecto del número de turiones producidos por planta, la menor densidad permitió lograr 13 turiones, que pesaron en total 225 g, mientras que la mayor densidad, 9 turiones que pesaron 179 g.
- La menor densidad permitió lograr mayor proporción de turiones de los tres mayores calibres, por lo que puede concluirse que la misma se adapta mejor cuando el objetivo productivo es la producción de turiones de elevados calibres.
- Los resultados logrados en promedio de todo el ensayo de 4 426 kg ha para el primer año de cosecha resultan alentadores e indican que, en el actual contexto socioeconómico argentino, el espárrago constituye una alternativa productiva con gran potencial por sus posibilidades de posicionamiento en mercados del hemisferio norte en sus diferentes gamas (en fresco e industrializado).

AGRADECIMIENTO

Se agradece la colaboración brindada por los auxiliares de Horticultura Lucas Gómez y Juan Zaffora y por los alumnos de las cursadas 2003, 2004 y 2005 de Horticultura quienes colaboraron con diversas tareas correspondientes a este ensayo; y a la Profesora Silvia Benson.

BIBLIOGRAFÍA

ASPRELLI, P. D., F. S. LÓPEZ ANIDO y E. L. COUNTRY. 2005. Caracteres agronómicos en el cultivo de espárrago de diferentes edades y manejos. *Pesq. Agropec. Bras.* 40(1):47-52.

BLASBERG, C. H. 1932. Phases of the anatomy of *asparagus officinalis*. *Botanical Gazette*, v.94. p. 206-214.

- BLUMENFIELD, D. K., K. W. MEINKEN and S. B. Le COMPTE. 1961. A field study of asparagus growth. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 77:386-392.
- CAMERE, J. 1992. Manejo agronómico del espárrago. **In:** Tecnologías modernas en el cultivo y procesamiento de espárragos. Ica.
- CATTIVELO, C. E. 2002. Della Donna, L'asparago bianco, Bioagricultura. pp. 33-34.
- DEAN, B. B. 1999. The effect of temperature on asparagus spear growth and correlation of heat units accumulated in the field with spear yield. In Benson B. (ed.). Proc. 9th Int. Asparagus Symp. Acta Hortic. 479. p. 289-295.
- DELGADO De LA FLOR, F., R. MONTAUBAN y F. HURTADO. 1987. Manual del cultivo de espárrago. Lima. I.C.E.
- DROST, D. T. 1997. Asparagus. The physiology of vegetable crops. Cambridge: CAB Internacional, Wien, H.C. (Ed.). p. 621-649.
- ELLISON, J. H. 1986. Asparagus breeding. Breeding Vegetables Crops. Westport: AVI, Basset, M.J. (Ed.). p. 521-569.
- FALAVIGNA, A. and S. PORCELLI. 2003. Asparago: nuove tecniche e varietà adatte per risalire la China.
- FARÍAS, V., C. KRARUP y S. CONTRERAS. 2003. Cultivares de espárrago hasta la tercera temporada de cosecha. Simiente 73(3-4):15-61.
- GONZÁLEZ, M. I. and A. DEL POZO. 2002. Influence of planting depth and plant population on yield and quality of green asparagus. ISHS Acta Horticulturae 589: **In:** X International Asparagus Symposium. p. 117-119.
- HOLLIDAY, R. 1960. Plant population and crop yield. Nature 186:22-24.
- KEULS, M., J. and J. POST. 1957. Invloed van de temperatuur op de groei van asperges. Overdruk uit de Mededelingen Directeur Tuinbouw, v.19:827-845.

KRARUP, C. y S. CONTRERAS. 2002. Elongación y ramificación de turiones de espárrago durante una cosecha primaveral. *Agricultura técnica (Chile)* 6(2):191-200.

KRARUP, A. y D. MANN. 1997. Elongación diaria y altura de apertura de la cabeza de los turiones de veintiocho genotipos de espárrago. *Agro Sur* 25:16-23.

KRARUP, A. H. y J. P. L. KRARUP. 1987. Rendimiento de espárragos verdes y blancos bajo dos modalidades de cosecha. *Agro Sur*, v.15. p. 47-53.

NICHOLS, M. A. and K. J. FISHER. 1999. Improving the efficiency of cultivar evaluation of green asparagus. In Benson B. (ed.). *Proc. 9th Int. Asparagus Symp. Acta Hortic.* 479:157-161.

NICHOLS, M. A. and D. WOOLLEY. 1985. Growth studies with asparagus. *International Asparagus Symposium, 6., Proceedings.* Ontario: University of Guelph. p. 287-297.

PASKE, M. R. A. 1996. Importing fresh asparagus. A personal viewpoint. *Acta Horticulturae* 415:19-23.

SOUTHER, F. 1987. El factor climático y su influencia sobre la productividad del espárrago. **In:** Fundación Chile (ed). *Curso: Tecnología de producción de espárrago.* Departamento Agroindustrial. Fundación Chile. Santiago de Chile. p. 1-13.

SPORTELLI, G. F. 2002. L'asparago può sfondare anche nel Mezzogiorno. *Culture protette*, 2:23-27.

WILSON, D. R., C. G. CLOUGHLEY and S. M. SINTON. 1999. Model of the influence of temperature on the elongation rate of asparagus spears. In Benson B. (ed.). *Proc. 9th Int. Asparagus Symp. Acta Hortic.* 479: 297-304.

NOTA

ESTUDIOS CITOGENÉTICOS DE ESTRUCTURAS EMBRIOGÉNICAS Y PLÁNTULAS REGENERADAS DE ONOTO¹

Claret C. Michelangeli de Clavijo*, Ada M. Medina M.**,
Paola I. Artioli G.*** y Jonás Mata**

RESUMEN

En la actualidad se cuenta con un protocolo de regeneración de plántulas de onoto, *Bixa orellana* L., mediante la embriogénesis somática (ES) a partir del cultivo de anteras, el cual ha sido probado eficientemente en varios genotipos. Con la finalidad de determinar si las plántulas obtenidas eran haploides, o si había ocurrido una duplicación espontánea de los cromosomas, se realizaron estudios citogenéticos a embriones normales y anormales, así como a plántulas cultivadas *in vitro* y plantas aclimatadas regeneradas por esta técnica en umbráculo. Se describen los procesos de prefijación, fijación, hidrólisis y tinción más eficientes para cada uno de los materiales evaluados. Las observaciones citológicas realizadas mostraron que fueron haploides (n=8 cromosomas), percibiéndose una gran estabilidad en el número cromosómico en las diferentes fases evaluadas. Estos estudios ponen en evidencia la importancia de obtener información relevante sobre la estabilidad genética que permitiría establecer protocolos con el uso de agentes mutagénicos (colchicina) en programas de mejoramiento en onoto donde se pretenda obtener plantas dihaploides ciento por ciento homocigotas, mediante la técnica de ES a partir del cultivo de anteras.

Palabras Clave: *Bixa orellana* L.; cultivo de anteras; haploide.

¹ Financiado por Fondo Nacional de Ciencia. Tecnología e Innovación (FONACIT) bajo el proyecto S1 97001619

* Directora del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA) Apdo. 4579. Maracay 2101. estado Aragua. Venezuela.

** Profesores. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Genética. Apartado postal 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

*** Auxiliar docente, CIBA. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: junio 01, 2005.

NOTA

CYTOGENETIC STUDIES OF ANNATO EMBRYOGENIC STRUCTURES AND REGENERATED PLANTLETS

Claret C. Michelangeli de Clavijo*, Ada M. Medina M.**,
Paola I. Artioli G.*** y Jonás Mata**

SUMMARY

At this time, a protocol for regeneration of plantlets through somatic embryogenesis from annatto, *Bixa orellana* L., anthers has been efficiently achieved in different genotypes. In order to verify if plantlets obtained were haploid or if spontaneous chromosome duplication had occurred, cytogenetic studies were made on normal and abnormal embryos, as well as on *in vitro* cultivated and acclimatized plants regenerated by this technique in the greenhouse. A description of the most efficient processes of prefixation, fixation, hydrolysis and dyeing for each genetic material evaluated is presented. According to mitotic countings, they were all haploids (n=8 chromosomes), showing great stability in chromosome number at different phases. These studies indicate the importance of obtaining relevant information on genetic stability in order to establish protocols using mutagenic agents such as colchicine in breeding programs where dihaploids annatto plants are to be obtained by means of somatic embryo techniques from anther culture.

Key Words: *Bixa orellana* L.; anther culture; haploid.

1 Financiado por Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) bajo el proyecto S1 97001619.

* Directora del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA) Apdo. 4579. Maracay 2101. estado Aragua. Venezuela.

** Profesores. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Genética. Apartado postal 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

*** Auxiliar docente, CIBA. Apdo. 4579. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: junio 01, 2005.

INTRODUCCIÓN

En estudios recientes sobre la embriogénesis somática (ES) en onoto, *Bixa orellana* L., se demostró la capacidad de inducir callo y regenerar plantas a partir del cultivo de anteras (Michelangeli de Clavijo *et al.*, 2002a). Esto representa una herramienta muy útil ya que la producción de haploides y posterior generación de individuos homocigóticos en una sola generación permite acortar la duración de los programas de mejoramiento genético, comparado con las técnicas convencionales (Moraes-Fernandes *et al.*, 1999).

Mediante la homocigocidad, es posible la producción de híbridos F1 puros; además facilita al mejorador en los estudios de herencia y combinación de caracteres deseables, así como la distinción de mutaciones recesivas de forma inmediata, evitando la aparición de quimeras (Pierick, 1990). A través de la selección de individuos homocigotas se pueden desarrollar nuevas variedades con caracteres deseables como el incremento de la cantidad y calidad (color) del pigmento producido en las semillas de onoto, así como uniformidad en la cosecha, cápsulas indehiscentes y resistencia a plagas y enfermedades.

La mayoría de las plantas obtenidas por cultivo de anteras son haploides; sin embargo, en algunas especies ocurre una duplicación espontánea de los cromosomas en las primeras etapas de desarrollo de callo y de regeneración de la planta (Guo y Pulli, 2000; Roca *et al.*, 1991). En otros casos, para que ocurra el proceso de diploidización se requiere el uso de agentes mutagénicos como la colchicina, que inhibe la formación de microtúbulos y la migración polar de los cromosomas, lo que resulta en una célula con número cromosómico duplicado (Barnabás *et al.*, 1999; Redha *et al.*, 1998).

Adicionalmente, la variación somaclonal es un fenómeno general que pudiera surgir tras la regeneración de plantas a partir de una fase callosa como consecuencia de variaciones genéticas, por tanto puede exhibir caracteres fenotípicos o bioquímicos diferentes a los del material parental original. Tales cambios a veces resultan indeseables porque pueden asociarse con una inestabilidad cromosómica (Lindsey y Jones, 1992) o necesarios como fuente de nueva variabilidad para los programas de mejoramiento (Tabares *et al.*, 1991).

Por tanto, cuando se llevan a cabo investigaciones sobre morfogénesis *in vitro*, particularmente cuando éstas involucran una fase de callo o se usan como explante tejidos de anteras y/o microsporas, sea con fines de mejoramiento o propagación, se hace necesario evaluar todo el proceso de desarrollo de embriones y plántulas para determinar su estabilidad. En consecuencia, es imprescindible conocer inicialmente el número cromosómico gametofítico de la especie bajo estudio y contar con protocolos de conteo de cromosomas que permitan comprobar la posible presencia de variaciones en el número cromosómico.

En tal sentido, en onoto se cuenta con estudios citogenéticos a partir de células madre de las microsporas en metafase I donde se confirmó el número cromosómico haploide de $n=8$ cromosomas (Michelangeli de Clavijo *et al.*, 2002b), pero se necesita información sobre la estabilidad de los ES obtenidos a partir de cultivo de anteras.

En la presente investigación se planteó como objetivo determinar el nivel de ploidía durante todas las fases de la ES a partir de cultivo de anteras hasta la regeneración de plantas de onoto; es decir, en ES, plántulas *in vitro* y plantas aclimatadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el laboratorio de Cultivo de Tejidos y el Laboratorio de Citogenética del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Se utilizaron ES (normales y anormales) y plantas de onoto obtenidas por cultivo de anteras en medio suplementado con ANA (4mg l^{-1}) y BA (2 mg l^{-1} ; Michelangeli de Clavijo *et al.*, 2002a y b), tanto en fase de plántula como aclimatada en invernadero, asegurando el estudio citogenético a lo largo de todas las fases involucradas en el proceso (embrión-planta).

Estudios citogenéticos

El procedimiento empleado para el estudio citogenético de los embriones (normales y anormales) consistió de una prefijación con solución saturada de paradichlorobenceno durante 2 horas, seguido de 3 lavados con agua destilada de 2 min cada uno, después una fijación con una solución de Carnoy (etanol 95%: ácido propiónico 3:1) a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 min y finalmente, 3 lavados de 5 min con etanol 70%.

Para el proceso de tinción, se procedió a colocar los embriones sobre un portaobjeto al que se le añadió una gota de carmín propiónico 2%. Seguidamente, se pasó sobre la llama de un mechero, evitando su ebullición y eliminando el colorante con un papel secante; este proceso se repitió 3 veces consecutivas. Nuevamente se agregó una gota de colorante, presionando la masa embriogénica con una vara de vidrio. Con la ayuda de una pinza se extrajo el exceso de tejido, se añadió otra gota de colorante, colocándose en el cubreobjeto, retirando el exceso del mismo y sellándolo de forma semipermanente con esmalte transparente para uñas.

En el caso de plántulas obtenidas por cultivo de anteras, se realizó una prefijación de las hojas igual a la descrita para masa embriogénica. Seguidamente, fue efectuada la fijación con ácido cítrico 0,1 N en buffer citrato de sodio pH 4,4-4,8 a 60 °C por 15 min, seguido de 3 lavados de 2 min con Buffer citrato de sodio. Posteriormente se realizó una hidrólisis con ácido clorhídrico 1 N a 60 °C por 7 min y 3 lavados con agua destilada de 3 min cada uno.

Para el montaje se cortaron trocitos de hoja con la ayuda de un bisturí, los cuales fueron aplastados suavemente con la vara de vidrio, agregando una gota de ácido acético 45% para después cubrirlo con cubreobjeto. El cubreobjeto fue removido con hielo seco, realizando un pase rápido en etanol 95%, para luego dejarse en la estufa a 60 °C por 2 h. Finalmente se procedió a la incubación con hidróxido de potasio (KOH) 0,07 N, un lavado con Buffer fosfato de Sorensen pH 6,8 y secado en estufa a 55 °C por 24 h. La tinción se llevó a cabo con Giemsa 10% en Buffer fosfato de Sorensen pH 6,8, un pase rápido en etanol 95% y montaje permanente con Euparal.

En el caso de las plantas regeneradas por esta técnica y aclimatadas en umbráculo, se realizó una prefijación con 8-Hidroxiquinolina 0,03% durante 2 h, seguido de 3 lavados de 5 min con agua destilada. La fijación se realizó con Carnoy (etanol 98% : ácido acético glacial 3:1) a 60 °C por 15 min, seguido de Etanol 70% (3 lavados de 5 min cada uno). A continuación, se realizó una hidrólisis similar a la efectuada en plántulas; pero, pasando los trocitos de lámina foliar por una malla de 6 µm de diámetro con el fin de retirar restos de tejido y dejar sólo las células, esto debido a la mayor consistencia de los mismos. Seguidamente se centrifugó a 10 000 rpm durante 20 min, eliminando el sobrenadante, recogiendo el pellet en un portaobjeto con una gota de ácido acético 45%,

para ser colocado el cubreobjeto. La remoción de éste se hizo con hielo seco y un pase breve en etanol 95%, dejándose sobre plancha a 38 °C durante 24 h. Los procesos de incubación y tinción fueron realizados de forma similar al anterior.

Los registros fotográficos se realizaron con un microscopio óptico y cámara digital, adosada a una computadora para la obtención de imágenes digitales con un aumento máximo de 1 600x.

Se efectuaron una serie de estudios preliminares con colchicina para evaluar su efecto como agente de duplicación cromosómica en explantes de callo embriogénico y ES, probándose diferentes concentraciones (100 y 500 mg l⁻¹) añadidas al medio de cultivo previamente esterilizada con filtro milipore y dos tiempos de exposición (48 y 72 h). Estos estudios representan sólo un inicio en las investigaciones con colchicina como agente de duplicación cromosómica en onoto ya que no existen trabajos previos en el área, por tanto se presenta un análisis general descriptivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante todo el proceso de ES a partir de cultivo de anteras hasta la regeneración de plantas de onoto en umbráculo no hubo evidencia de variación somaclonal ni de duplicación espontánea de los cromosomas. Las observaciones citogenéticas realizadas en ES normales y anormales, así como en plántulas obtenidas mediante el cultivo de anteras y plantas regeneradas por esta técnica mostraron que fueron haploides, tomando en cuenta que el número cromosómico gametofítico de la especie es n=8 cromosomas.

En la Figura 1 se muestra la regeneración de plantas haploides de onoto durante algunas de sus fases: masa embriogénica; **a**) plántula *in vitro*; **b**) y planta de onoto aclimatada en umbráculo; **c**), asimismo, se presentan células en metafase mostrando el número haploide (n=8 cromosomas) en ES aglomerados (anormales); **d**), ES normales; **e**), plántula *in vitro*; **f**) y planta aclimatada en umbráculo; **g**), estos estudios demuestran la estabilidad en el número cromosómico durante todas las fases de la ES a partir de cultivo de anteras, hasta la regeneración de plantas de onoto.

En relación a los estudios citológicos preliminares con colchicina, los explantes de callo embriogénico mostraron células en división activa, isodiamétricas, citoplasma denso y pared celular definida (Figura 2); lo

que parece indicar que se trata de células embriogénicas. Por lo tanto, bajo las condiciones de este estudio la presencia de colchicina en el medio aparentemente no afectó el desarrollo de los ES. En el caso de las células provenientes de los ES, los resultados fueron similares a los de callo embriogénico.

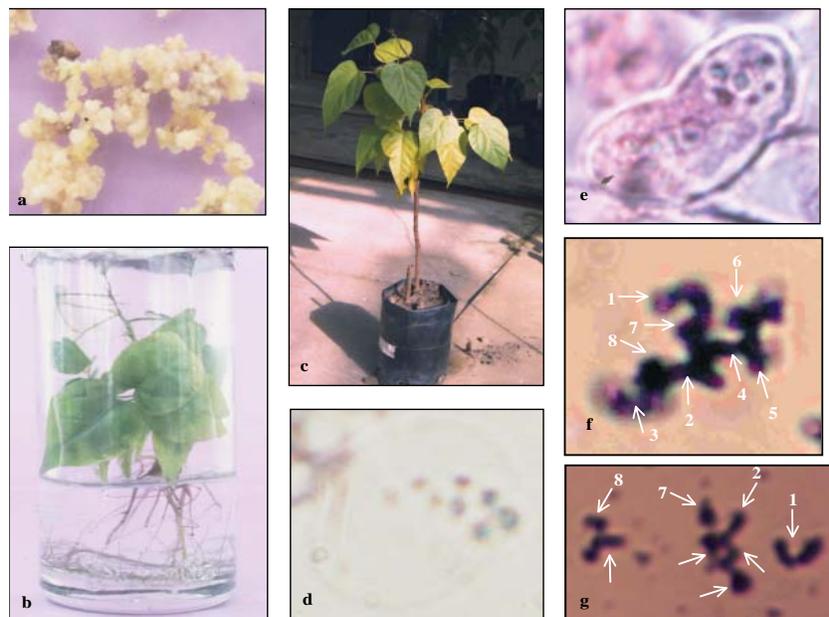


FIGURA 1. Regeneración de plantas haploides de onoto obtenidas por cultivo de anteras; **a)** Masa de embriones en diferentes estados de desarrollo; **b)** Plántula haploide a los 90 días de cultivo en medio básico $\frac{1}{2}$ MS; **c)** Planta de onoto aclimatada en umbráculo; **d)** Cromosomas ($n=8$) en embriones somáticos aglomerados teñidos con carmín propiónico 2% (1 600X); **e)** Cromosomas ($n=8$) en embriones somáticos normales teñidos con carmín propiónico 2% (1 000X); **f)** Cromosomas ($n=8$) en lámina foliar de plántula cultivada *in vitro* teñidas con Giemsa 10% (500X); **g)** Cromosomas ($n=8$) en lámina foliar de plantas aclimatadas en umbráculo teñidas con Giemsa 10% (200X). Las flechas señalan los diferentes cromosomas en su condición haploide.

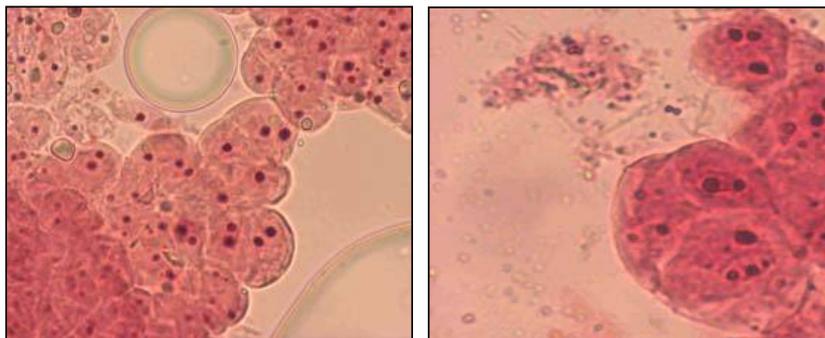


FIGURA 2. Callos embriogénicos de onoto expuestos al agente mutagénico colchicina.

En el trabajo no se evidenció duplicación cromosómica (Figura 2), indicando que las concentraciones de colchicina utilizadas fueron bajas o el tiempo de exposición a la misma fue corto. En consecuencia, se deberán continuar realizando estudios con colchicina en callos embriogénicos para seguir evaluando su efecto como agente de duplicación cromosómica, tomando en cuenta factores como concentración y tiempo de exposición, entre otros.

Una vez lograda la diploidización, las plantas entrarían en un programa de mejoramiento con el fin de desarrollar nuevos genotipos de onoto con caracteres deseables, tales como: incremento de la cantidad y calidad del pigmento producido en las semillas, uniformidad en la cosecha, cápsulas indehiscentes y resistencia a plagas y enfermedades, entre otras. De esta manera se formarían poblaciones de donde se podrían ofrecer al agricultor materiales sobresalientes para la siembra.

BIBLIOGRAFÍA

BARNABÁS, B., B. OBERT and G. KOVÁCS. 1999. Colchicine, an efficient genome doubling agent for maize (*Zea mays* L.) microspores cultured in anthero. *Plant Cell Reports* 18: 858-862.

GUO, Y. and S. PULLI. 2000. Isolated microspore culture and plant regeneration in rye (*Secale cereale* L.). *Plant Cell Reports* 19:875-880.

LINDSEY, K. y M. JONES. 1992. Biotecnología vegetal agrícola. Editorial Acribia, SA. Zaragoza, España. 275 p.

MICHELANGELI de CLAVIJO, C., P. ARTIOLI y A. MEDINA. 2002a. Embriogénesis somática en onoto. *Agronomía Trop.* 52(4):523-541.

MICHELANGELI de CLAVIJO, C., A. MEDINA, P. ARTIOLI y J. MATA. 2002b. Microsporogénesis y microgametogénesis de onoto (*Bixa orellana* L.). *Acta Científica Venezolana* 53:171-175.

MORAES-FERNANDES, M., A. STIVAL, S., PATUSSI et M. FERRARI. 1999. Haplodiploidização: genética y melhoramento. **In:** Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. Volume 2. Antonio Carlos Torres, Linda Styer Caldas y José Amauri Buso, eds. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. pp. 613-650.

PIERICK, R. 1990. Cultivo *in vitro* de plantas superiores. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.

REDHA, A., T. ATTIA, B. BÜTER, S. SAISINGTONG, P. STAMP and J. SCHMID. 1998. Improved production of doubled haploids by colchicine application to wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture. *Plant Cell Reports* 17:974-979.

ROCA, W., V. NÚÑEZ y K. MORNAN. 1991. Cultivo de anteras y mejoramiento de plantas. **In:** Cultivo de tejidos en la agricultura. Fundamentos y aplicaciones. Wiliam Roca y Luis Mroginski editores. CIAT, Colombia. 969 p.

TABARES, E., J. PACHÓN y W. ROCA. 1991. Variación somaclonal y su aplicación al mejoramiento de cultivos. **In:** Cultivo de tejidos en la agricultura. W. Roca y L. Mroginski (eds). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia. 969 p.

AGRONOMIA 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. También se aceptan reseñas de libros recientemente publicados.

Manuscritos

Se requieren un original y tres copias legibles, mecanografiadas 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 mecanografiado como en un disquette transcrito en MS Word 6,0 o superiores.

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

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, etc., cuando se requiere, dejando como palabra clave el nombre científico de los mismos.

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.

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, los mismos deberán procesarse en formato TIFF (cmyk). En cuanto a los gráficos (líneas, barras, tortas...) se recomienda utilizar Harvard Graphic o Excel, adjuntando la información con la cual se elabora la figura, de tal manera que cuando se requiere pueda ser modificada en la oficina de edición de la revista. No use innecesariamente gráficos 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 numérelas 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.

Instrucciones a los Autores

- 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, etc.

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.

Autor(es). Primer nombre completo, inicial del 2^{do} y apellidos completos. Después de los nombres se usarán asteriscos para identificar al pie de página el cargo, la institución y dirección postal donde trabajan. Debe usar el nombre completo de la institución con la abreviatura o sigla entre paréntesis. Al pie de página 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 y 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 debe incluir 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 deben 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.

Instrucciones a los Autores

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 (10^3m)	
decímetro,	dm	
centímetro,	cm (10^{-2}m)	
milímetro,	mm (10^{-3}m)	
micra	μ	
micromilímetro,	μm (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,	$^{\circ}\text{C}$	
grado Joule,	J,	caloría
grado Kelvin	$^{\circ}\text{K}$	
centimole por kilogramo,	c mol kg^{-1} ,	meq por 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, Apdo. 2103, Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela, acompañados de 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.

Composición: Carmen Elena Solórzano
Montaje: Nury Castillo
Fotolito: Mario Pino y Nury Castillo
Impresión: Juan Salas y Eliseo Ureña

Impreso en el Taller Gráfico del INIA
Maracay, estado Aragua, Venezuela
Diciembre 2006

