



INIA  
Instituto Nacional  
de Investigaciones  
Agrícolas

Vol. 55, N° 1, 2005

# Agronomía Tropical

55 *Aniversario*

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.org.gov.ve](mailto:agrotrop@fundacite.org.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. 55 / No. 1 / Enero - Marzo 2005 / ISSN 0002-192X

---

## FUNDADORES

Luis Medina (Dir.), Bruno Mazzani<sup>†</sup>, 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:** Andreina Muñoz

## 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 Lízaso. 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. 55-2005

Enero - Marzo

No. 1

ISSN 0002-192X

Depósito Legal pp 195102AR73

## ÍNDICE

### Editorial

### Artículos:

Pág.

- A. ORTIZ DOMÍNGUEZ. Efecto de períodos de interferencia del arroz rojo sobre el rendimiento y sus componentes en las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000..... 7  
Effects of periods of interference of red rice in the yield, and its components of the varieties of rice ZETA 15 and FONAIAP 2000.
- O. I. ABARCA y J. G. QUIROZ G. Modelado cartográfico de riesgo de incendios en el Parque Nacional Henri Pittier. Estudio de caso: Vertiente sur, área colindante con la ciudad de Maracay..... 35  
Cartographic modeling of fire risk in the National Park Henri Pittier. A case of study of the south water-shed next to Maracay City.
- M. L. IZAGUIRRE. Distribución geográfica, nodulación y comportamiento agronómico de tres especies de *Sesbania* nativas de zonas inundables en Venezuela..... 63  
Geographical distribution, nodulation and agronomical behavior of three native species of *Sesbania* of flood areas in Venezuela.
- A. ORTIZ DOMÍNGUEZ. Interferencia del arroz rojo y variedades de arroz: Características morfofisiológicas..... 83  
Interference of red rice and varieties of rice: Morphological characteristics.

<b>Artículos:</b>	<b>Pág.</b>
T. PUGHI y A. LAYRISSE. Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz..... Using of advanced generations of simple hybrids as progenitors of hybrids doubles of maize.	103
A. VALERA, J. ZAMBRANO, W. MATERANO e I. QUINTERO. Efectos de la concentración de soluto y la relación fruta-jarabe sobre la deshidratación osmótica de mango en cilindros..... Effects of the concentration of solute, and the ratio fruit/sirup in the osmotic dehydration of mango fruits in cylinders.	117
M. FUCHS, V. GONZÁLEZ, R. REA, A. Y. ZAMBRANO, O. De SOUSA-VIEIRA, E. DÍAZ, Z. GUTIÉRREZ y L. CASTRO. Mejoramiento de la caña de azúcar mediante la inducción de mutaciones en cultivo de callos..... Improvement of sugarcane by induction of mutations in culture of callus.	133

Instrucciones a los autores

## EDITORIAL

Con este número, la revista **Agronomía Tropical** alcanza 55 años de ininterrumpida presencia en el mundo científico agrícola. Su nacimiento ocurre en el año 1951, como publicación periódica del entonces Instituto Nacional de Agricultura de Venezuela. Los fundadores: Luis Medina (Director), Bruno Mazzani<sup>†</sup>, W. S. Iljin, Rafael, Pontis Videla, Jesús Calvo, Gino Malaguitti, Guiseppe Ravello, Luis Salas F., S. Horowitz, Pedro Obregón y Dora de Zerpa, marcaron la ruta de calidad y constancia que la ha caracterizado hasta ahora. Se debe mencionar muy especialmente a la Lic. Aydée Cabrera de Green, quien llevó la responsabilidad de la revista en los últimos 30 años, y al numeroso grupo de árbitros anónimos que han contribuido a lo largo de todos estos años a la revisión de los manuscritos.

Este tenaz esfuerzo, de más de medio siglo, tiene su recompensa en el reconocimiento que mantiene entre sus lectores por su calidad y regularidad. Tales características se expresan en la evaluación de mérito 2004 de las publicaciones científicas del área agro, realizado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través del Fonacit, que arrojó, que de las nueve revistas editadas en el país que ocuparon el último percentil, **Agonomía Tropical** se sitúa en el segundo lugar, sólo superada por otra publicación periódica del INIA: La revista Zootecnia Tropical. Sumado a esto, la revista **Agronomía Tropical** es reseñada e indexada por 19 organismos e instituciones nacionales e internacionales, lo que la identifica como una de las mejores publicaciones científicas arbitradas de

Latinoamérica y el mundo. Actualmente es reconocida como, publicación periódica que sirve para acreditar la actividad científica de los investigadores para el ingreso al Programa de Promoción al Investigador, mantenido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Venezuela.

Tenemos la certeza que este esfuerzo editorial del INIA constituye uno de los baluartes latinoamericanos, para que el científico de esta región pueda publicar sus hallazgos en su entorno, idioma y realidad, con valores de calidad y pertinencias propios, y eventualmente ser parte de una extensa red de publicaciones similares en calidad y orientación para el intercambio científico, la comunicación y la expresión desde y para América Latina.

La revista **Agronomía Tropical** sigue abierta a sus fieles lectores, aquellos científicos que nos confían sus escritos y contribuyen con la calidad de su obra a la de la revista.

Prudencio Chacón  
Presidente INIA

## EFFECTO DE PERÍODOS DE INTERFERENCIA DEL ARROZ ROJO SOBRE EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN LAS VARIEDADES DE ARROZ ZETA 15 Y FONAIAP 2000<sup>1</sup>

Aída Ortiz Domínguez\*

### RESUMEN

El arroz rojo (AR) es una maleza difícil de controlar en el arrozal debido a su parentesco con el arroz, *Oryza sativa* L., afinidad que aprovecha para degradar los herbicidas aplicados para el control de gramíneas en el cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes períodos de interferencia del AR en el rendimiento y sus componentes de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000. Los ensayos se condujeron en la época de sequía de los años 2000 y 2001 en el municipio Anzoátegui, estado Cojedes. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas y 3 repeticiones, donde la parcela principal fueron las variedades (ZETA 15 y FONAIAP 2000) y las secundarias 6 períodos de interferencia: 0, 15, 30, 45, 60 y 130 días después de la emergencia (DDE). Se determinaron las variables: rendimiento y sus componentes (número panícula,  $N Pm^{-2}$ , granos panícula (GP), porcentaje de fertilidad y peso de 1 000 granos,  $P_{1000}G$ ). Los resultados indicaron que el AR ejerció una interferencia negativa en el rendimiento y sus componentes  $N Pm^{-2}$ , GP y  $P_{1000}G$  (sólo año 2001) de las variedades de arroz evaluadas, la reducción de rendimiento se estimó entre 46 y 35% en ZETA 15 y 53 y 38% en FONAIAP 2000, cuando se evaluó todo el tratamiento de 130 DDE, mientras que los tratamientos con las variedades solas fue mayor: 71 y 72,26% en ZETA 15 y 72,30 y 85,40% en FONAIAP 2000 en los años 2000 y 2001, respectivamente. Se observó una tendencia de que a mayor longitud de los períodos de interferencia las variedades redujeron más el rendimiento. Se determinó que el rendimiento relativo total fue de 0,30-0,36 en ZETA 15 y 0,25 - 0,24 en FONAIAP 2000, en los años 2000 y 2001 respectivamente, esta variable mostró que se estableció una relación antagonica entre las variedades de arroz y el AR.

**Palabras Clave:** Arroz rojo; *Oryza sativa* L.; variedades de arroz; períodos de interferencia; rendimiento.

1 Trabajo financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela.

\* Profesora Agregado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Apdo. 4579. Maracay 2102, estado Aragua. E-mail: ortiza@agr.ucv.ve.

RECIBIDO: septiembre 22, 2003.

## INTRODUCCIÓN

El arroz rojo (AR) es una de las malezas más importantes dentro del cultivo del arroz, *Oryza sativa* L., en Venezuela. El combate de malezas se incrementa sustancialmente cuando el AR está presente en el suelo, debido a que los herbicidas graminicidas selectivos al arroz no controlan a esta mala hierba.

Los estudios de caracterización de las poblaciones de AR venezolanas muestran que tienen una amplia variabilidad en características morfofisiológicas y genéticas, encontrándose plantas similares a las variedades sembradas en el país hasta algunas de mayor altura y diferentes en presencia de aristas, conformación de la panícula, desgrane, larga latencia, biomasa aérea, biomasa radical, área foliar, índices de crecimiento, razón de área foliar, índice de asimilación neta, longitud de raíces y polimorfismos isoenzimáticos (Ortiz, 1997, Peña, 1999).

El AR afecta al arroz cultivado de dos maneras: primero interfiere con el cultivo al competir por luz, agua y nutrimentos o pudiera tener un efecto alelopático que reduce el rendimiento paddy (Kwon *et al.*, 1991), y también en segundo lugar ocasiona una disminución de la calidad molinera al reducir el porcentaje de granos enteros de las variedades, además de deslucir el producto final (Dunand, 1988, Ortiz, 2000).

El efecto de interferencia de una densidad dada de malezas emergidas con el cultivo depende fuertemente de la longitud del período de permanencia de ellas en el campo. La relación entre la duración de competencia y la reducción del rendimiento del cultivo es aproximadamente sigmoideal: las malezas que compiten en un corto período de tiempo tienen un pequeño efecto sobre los rendimientos del cultivo, cuando las malezas compiten por mayor tiempo, la reducción del rendimiento se incrementará hasta que se alcance la máxima pérdida de rendimiento causada por las malezas al competir durante todo el ciclo del cultivo. Obviamente, la relación entre el tiempo de emergencia de las malezas y las pérdidas del rendimiento está afectada por la densidad de las malas hierbas, mientras más alta sea la densidad de malezas menor será el rendimiento relativo del cultivo (Sattin *et al.*, 1997).

En Estados Unidos, se ha encontrado que 32 panículas m<sup>-2</sup> ha reducido el rendimiento en 64% (Baldwin, 1978). Kwon *et al.* (1992), observaron

que 20 plantas m<sup>2</sup> en competencia con 2 variedades de arroz a los 120 días después de emergencia (DDE) redujo el rendimiento paddy en 86% en Lemont y 52% en Newbonnet.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de períodos de interferencia de la población de AR negro aristado sobre el rendimiento paddy y sus componentes de las variedades de arroz de reciente introducción al mercado, FONAIAP 2000 y ZETA 15.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se establecieron en La Finca Tierra Rica, vía Mata Oscura, municipio Anzoátegui, estado Cojedes (latitud norte 10° 09' 40" y longitud 10°34'28" y la altitud de 439 m.s.n.m.) en los cuales se sembraron ZETA 15 y FONAIAP 2000 en interferencia con la población de AR de glumas de color negro aristado en la época de sequía (01 marzo) de los años 2000 y 2001. Las semillas de AR utilizadas en este ensayo fueron cosechadas en los lotes de arroz de la finca Tierra Rica. La cosecha del ensayo se realizó el 10 de junio.

La precipitación y temperatura promedio anual de la zona es de 1 340 ± 23,5 m.m., y 28,2 ± 8,8 °C en el ciclo del cultivo la precipitación total caída fue de aproximadamente 161 mm, según el Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica. Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN), estación San Carlos-Unellez, estado Cojedes, ubicada en una latitud 094151, longitud 683343 y altitud 245 m.s.n.m., temperatura media de la zona anual es de 28,2 °C ± 8,1. La temperatura máxima promedio en la zona es de 33,2 °C ± 8,6 y la mínima 21,4 °C ± 7,7.

Con la finalidad de eliminar el AR presente en el banco de semillas del suelo se realizaron, antes de sembrar, 3 aplicaciones de glifosato, a razón de 1 440 kg ha<sup>-1</sup> de ingrediente activo. En la aspersión se usó una asperjadora de CO<sub>2</sub> flujo constante marca Flora calibrada a 150 l ha<sup>-1</sup>.

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones con un arreglo de parcelas divididas, donde, la parcela principal correspondió a las variedades y las parcelas secundarias a la duración de la interferencia a los 0, 15, 30, 45, 60 y 130 DDE. El tratamiento testigo fue el 0 DDE en cada parcela principal. El área de cada parcela fue de 3,1m<sup>2</sup> (Kwon *et al.*, 1992).

Los tratamientos de la parcela principal se sembraron con 40 g parcela<sup>-1</sup> de las variedades de arroz (ZETA 15 y FONAIAP 2000) a chorro corrido en 7 hilos separados a 0,18 m lo cual fue equivalente a 129 kg ha<sup>-1</sup>.

La parcela secundaria se estableció con 6 hilos de AR intercalados con las hileras de cada variedad sembrados el mismo día, con una densidad de siembra de 20 g parcela<sup>-1</sup> equivalente a 64,5 kg ha<sup>-1</sup>, con excepción del testigo (sin interferencia). Posteriormente, se erradicó manualmente el AR de las parcelas según el tratamiento de interferencia evaluado durante diferentes períodos de crecimiento de las variedades.

El número de plantas m<sup>-2</sup> (NPM<sup>2</sup>) de las variedades de arroz por parcela fue de 205 pl m<sup>-2</sup> y 105 pl m<sup>-2</sup> de AR en los tratamientos. Esta densidad de plantas de AR utilizada fue similar a la incidencia encontrada en la Finca Tierra Rica, evaluada antes de instalar el ensayo, usando una cuadrícula de (0,5 X 0,5) m y aplicando un muestreo diagonal doble a las melgas en 20% de los tanques del campo de sembrado de arroz (500 ha) y en la etapa de maduración del cultivo.

La fertilización del ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones sugeridas por el análisis de suelo en la melga y el patrón usado por el dueño de la finca. El abonamiento realizado se basó en la fórmula siguiente: 120 kg nitrógeno-90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-90 kg K<sub>2</sub>O. El abono base se aplicó a los 19 DDE de las plantas con todo el fósforo y potasio, adicionalmente con el 33% del nitrógeno. Posteriormente, se aplicó el primer reabono con el 33% de la recomendación de nitrógeno a los 35 DDE (macollamiento) y el segundo reabono con el resto de nitrógeno a los 50 DDE (antes de la iniciación de panícula). La fuente de nitrógeno utilizada en el reabono fue la proveniente de la fórmula completa 15-15-15 y urea.

El control de las otras malezas presentes en el ensayo como: *Fimbristylis littoralis*, *Heteranthera limosa* y *Ammania latifolia*, se realizó en postemergencia temprana 12 DDE, con Sirius (pyrazosulfuron-etil) a razón de (250 g ha<sup>-1</sup>), los escapes de malas hierbas fueron eliminados manualmente. El *Spodoptera frugiperda* se controló con una aplicación de Karate (lambda cihalotrina) a razón de 300 ml ha<sup>-1</sup>. El chinche vaneador, *Oebalus* sp., fue manejado con aplicaciones de Difos (dimetoato) a razón de 1 l ha<sup>-1</sup>. El hongo *Bipolaris oryzae* fue manejado con una aplicación de Benlate (benomilo) a razón de 0,5 kg ha<sup>-1</sup>. El ensayo se regó por gravedad con el mismo patrón usado en la finca

(riegos semanales), manteniendo una lámina de agua después de la etapa de macollamiento de las variedades. El agua se retiró del ensayo en la etapa de grano pastoso duro.

### **Rendimiento y sus componentes**

La cosecha de los tratamientos se realizó manualmente y en el tratamiento de máxima interferencia (130 DDE) se recogieron por separado el AR de las variedades, para determinar su rendimiento y los componentes de rendimiento siguientes:

1. Rendimiento arroz paddy: se cosecharon y desgranaron las panículas en un área de 2,5 m<sup>2</sup> de cada tratamiento. A los granos recolectados se les determinó su humedad y su peso fue ajustado al 12% de contenido de humedad. Esta variable se expresó en kg ha<sup>-1</sup>.
2. Número de panículas por metro cuadrado NPM<sup>-2</sup>: En la misma área donde se determinó el rendimiento se contaron las panículas expresándose en NPM<sup>-2</sup>.
3. Número de granos llenos por panícula (NGP): se tomaron de manera aleatoria 30 panículas de cada tratamiento contándose el NG llenos por P<sup>-1</sup>
4. Porcentaje de fertilidad: en las mismas panículas utilizadas para determinar el NGP se contaron los granos llenos y vanos, para estimar la fertilidad de las panículas haciendo una relación entre el NG llenos entre la sumatoria de los granos llenos más los vanos, expresándola en porcentaje.
5. Peso de 1000 granos (P<sub>1000</sub>G): de las muestras de granos llenos se tomó una porción, contándose 1000 granos en un contador electrónico y posteriormente se pesaron en una balanza electrónica, determinando su peso expresando su valor en gramos.

### **Rendimiento Relativo Total (RRT)**

El RRT se calcula para ambas especies en mezcla como la suma de dos valores dando un número relativo de esta variable. Este valor de RRT puede ser usado para describir las relaciones mutuas de pares de especies que deben o no deben demandar de algunos recursos del ambiente.

Valores de RRT igual a 1 implica que las dos especies están demandando en igualdad los limitados recursos del ambiente. Valores de RRT mayores a 1 indican que las especies están demandando diferente a los recursos evitando la competencia mostrando alguna relación simbiótica (al menos con respecto al rendimiento combinado). Valores de RRT menores a 1 implica una relación antagonica (Harper, 1977).

El RRT se determinó utilizando la fórmula de Radosevich *et al.* (1996):

$$RRT = \frac{\text{Rendimiento de la variedad en competencia} + \text{Rendimiento del arroz rojo en competencia}}{\text{Rendimiento de la variedad sola} + \text{Rendimiento del arroz rojo sólo}}$$

El rendimiento de la variedad y AR en competencia se tomaron del tratamiento de máxima interferencia (130 DDE). En el rendimiento de la variedad sola se consideró el testigo (sin interferencia), mientras que el rendimiento del AR sólo se tomó de una parcela que sembró simultáneamente al lado de este ensayo bajo las mismas condiciones.

A los datos de estos ensayos se les realizaron un análisis combinado, resultando que las varianzas del error de los años no fueron homogéneas según la prueba de Barlett, por lo tanto no es posible realizar un análisis conjunto con un error combinado. A las variables que mostraron diferencias estadísticas en el ANAVAR se le aplicó la prueba de medias Rango Múltiple de Duncan al 5%. A cada variedad, en los dos años de evaluación, se le realizó un análisis de correlación entre el rendimiento y los componentes de rendimiento que mostraron diferencias estadísticas,  $NPm^{-2}$ ;  $NGP^{-1}$  y  $P_{1000}G$  (sólo en el año 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

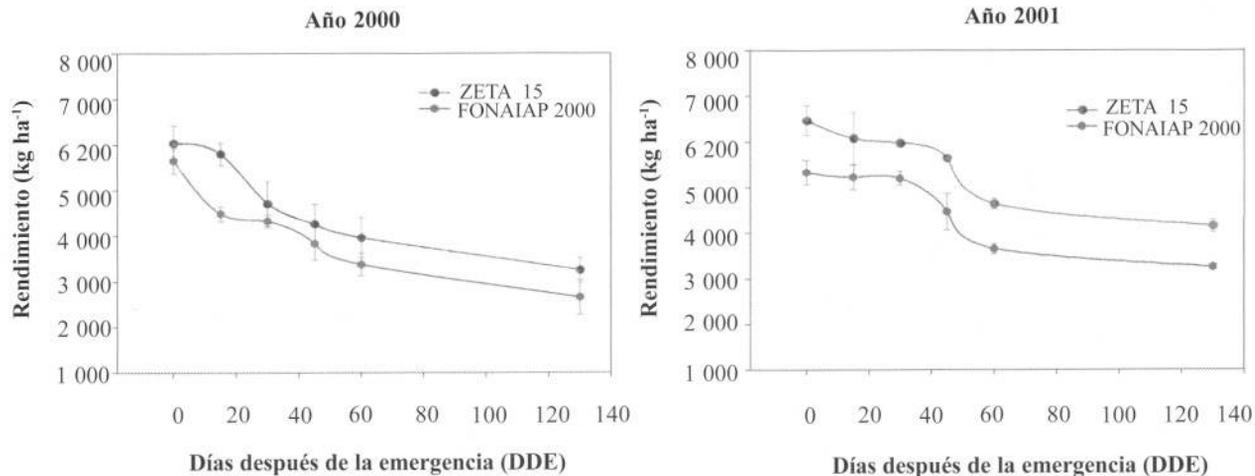
En el Cuadro 1, se observa que las variedades y los períodos de interferencia mostraron diferencias estadísticas, encontrándose que ZETA 15 mostró mayor rendimiento que FONAIAP 2000 en todos los períodos de interferencia en dos años de evaluación. Así mismo, en los períodos de interferencia se detectó que el testigo (0 DDE= sin rojo) y 15 DDE, en el primer año de evaluación, en ambas variedades alcanzaron mayor rendimiento que los tratamientos con interferencia de AR a los 30, 45, 60 y 130 DDE.

**CUADRO 1.** Cuadros medios, coeficiente de variación y prueba de medias para la variable rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de las variedades de arroz rojo en los diferentes períodos de interferencia.

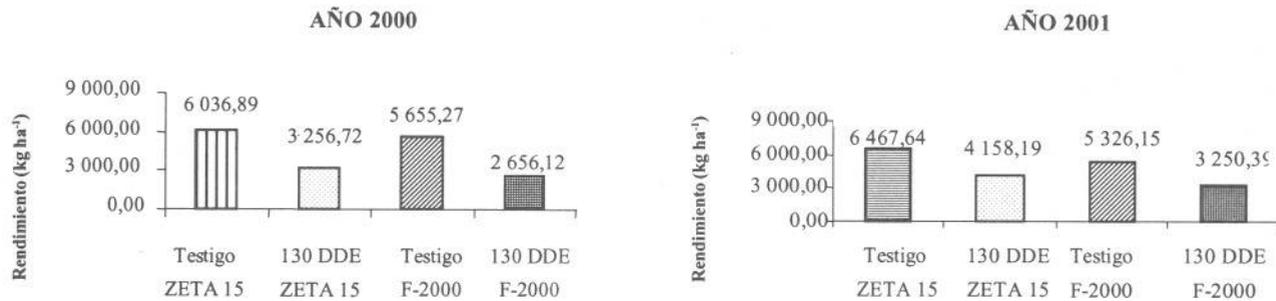
	AÑO 2000 Cuadros medios	AÑO 2001 Cuadros medios
Variedad	3 430 305,27 *	85 584 831,63**
Interferencia	6 462 091,38 **	4 775 308,30**
V*I	189 341,49 N.S.	38 074,84 N.S.
C.V.	13,74	8,33
<b>Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		
Prueba de medias♣		
Variedades		
ZETA 15	4 674,1 a	5 495,3 a
FONAIAP 2000	4 056,7 b	4 518,6 b
Períodos de interferencia		
0 DDE	5 846,10 a	5 896,9 a
15 DDE	5 145,10 ab	5 650,5 a
30 DDE	4 518,3 bc	5 586,1 a
45 DDE	4 052,9 cd	5 056,3 b
60 DDE	3 673,7 de	4 147,6 c
130 DDE	2 956,4 e	3 704,3 c

NS: no significativo. \*: significativo. \*\*: altamente significativo.♣ Promedio en columnas con letras iguales no difiere estadísticamente al 5% según la prueba de Duncan.

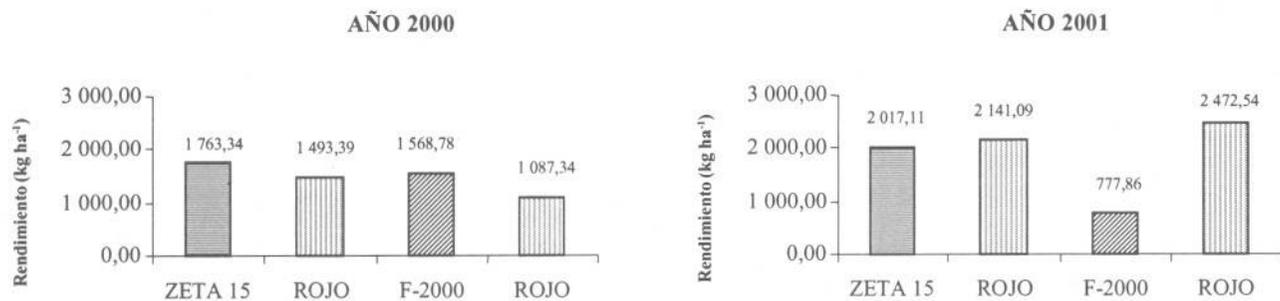
En el segundo año, los tratamientos testigo, 15 y 30 DDE mostraron similar rendimiento y después de la última fecha hubo una reducción sustantiva del rendimiento en los tratamientos de 45, 60 y 130 DDE, atribuyéndose el mayor detrimento al período de máxima interferencia (130 DDE). La tendencia observada en la Figura 1 indica que en ambos años hubo una reducción del rendimiento a medida que se aumentaba el período de interferencia entre el arroz cultivado y la maleza.



**FIGURA 1.** Efecto de períodos de interferencia de arroz rojo sobre el rendimiento de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 2.** Comparación del rendimiento del tratamiento testigo (sin arroz rojo) con el de máxima interferencia (130 DDE) de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 3.** Contribución de las variedades de arroz rojo en el rendimiento del tratamiento de máxima interferencia (130 DDE) en los años 2000 y 2001.

### Rendimiento relativo total (RRT)

El RRT de ZETA 15 y FONAIAP 2000 con la maleza AR se presenta en el Cuadro 2, cuyos valores indican que hubo una relación antagónica entre el AR y las variedades de arroz, es decir que el efecto de la interferencia fue negativo para la expresión de la productividad en los cultivares.

**CUADRO 2.** Rendimiento relativo total (RRT) de las variedades ZETA 15 y FONAIAP 2000 en interferencia con arroz rojo en los años 2000 y 2001 en Cojedes.

	Rendimiento Relativo Total (RRT)	
	Año 2000	Año 2001
ZETA 15	0,30	0,36
FONAIAP 2000	0,25	0,24

El RRT explica como el rendimiento del tratamiento de 130 DDE con interferencia fue afectado por la competencia, es decir a pesar de que hubo una contribución del AR al peso de la parcela total, ésta no fue suficiente para alcanzar a los testigos, y por ende se encontró un efecto antagónico en la interferencia del AR en las dos variedades evaluadas.

La variedad FONAIAP 2000 mostró menor RRT que ZETA 15, lo que pudiera interpretarse como el cultivar más afectado por las relaciones de interferencia con el AR, quizás por el tipo de arquitectura de planta erecto, menor macollamiento y ciclo precoz que presenta esta variedad (datos no publicados en este trabajo).

ZETA 15 mostró menor RRT en el año 2000 quizás debido a que en este año se encontró menor rendimiento de la variedad en el tratamiento de máxima interferencia (139 DDE), además el AR también contribuyó menos al peso de parcela en ese año.

## Componentes de rendimiento

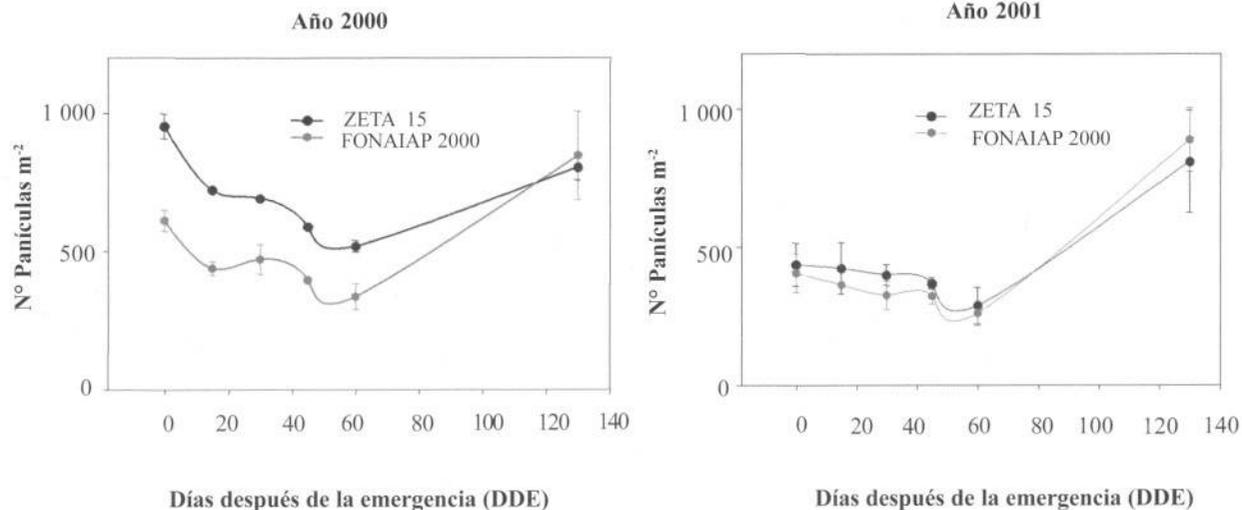
En la Figura 4 se muestra que el  $\text{Npm}^{-2}$  fue disminuyendo progresivamente a medida que se incrementaron los períodos de interferencia del AR negro arestado sobre ZETA 15 y FONAIAP 2000 en dos años de evaluación, con excepción de la máxima interferencia (130 DDE). ZETA 15 mostró mayor  $\text{Npm}^{-2}$  en el primer año de evaluación que FONAIAP 2000, pero en el segundo año mostraron similar valor (Cuadro 3).

Cuando se analizan los períodos de interferencia se observa que ZETA 15 mostró mayor  $\text{Npm}^{-2}$  que FONAIAP 2000 en la mayoría de los lapsos de interferencia con excepción del último período (130 DDE) en el año 2000, sin embargo en el año 2001 la diferencia no fue tan pronunciada.

En la Figura 5 se muestra que en el año 2000 las variedades produjeron más panículas en los tratamientos testigos que en el año 2001, aunque se mantuvo la tendencia de que ZETA 15 produjera más panícula en el testigo que FONAIAP 2000, de 340,67 y 112,48 panículas en el primer y segundo año, respectivamente. Así mismo, se ve en la misma Figura que el tratamiento de máxima interferencia produjo más panícula que los testigos en ambos años, con excepción del testigo ZETA 15 en el año 2000. Las panículas del tratamiento de 130 DDE estuvieron conformadas por la mezcla de cada variedad con AR, tal como se cosecha en el campo lo que indica que el producto llega a la agroindustria con una alta contaminación de AR (Figura 6), observándose en el año 2001 mayor contribución de la maleza que en el año 2000.

Sin embargo, al comparar el  $\text{Npm}^{-2}$  del testigo y las variedades solas en los tratamientos de máxima interferencia, se encontró que el  $\text{Npm}^{-2}$  se redujo en 53,33 y 66,97% para ZETA 15 y 26,41 y 16% en FONAIAP 2000, en los años 2000 y 2001, respectivamente. El comportamiento de las variedades para el  $\text{Npm}^{-2}$  fue diferente en los dos años evaluados, en el 2000 se encontró mayor  $\text{Npm}^{-2}$  tanto en ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el tratamiento de 130 DDE, mientras que en el año 2001 se produjeron menos panículas de las variedades y más de la maleza, además FONAIAP 2000 mostró 129,36 más panícula que ZETA 15 (Figura 6).

A pesar de que la parcela de 130 DDE con interferencia produjo más  $\text{Npm}^{-2}$  no se encontró un mayor rendimiento en ella, lo cual pudiera explicar que a pesar de que el  $\text{Npm}^{-2}$  es uno de los principales componentes de rendimiento el fenómeno de la compensación expresado por



**FIGURA 4.** Efecto de períodos de interferencia de arroz rojo sobre el número de panículas de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.

los otros componentes de rendimiento pudieran estar involucrado en la expresión del rendimiento observado. Así mismo, esta explicación pudiera ajustarse con lo que pasó entre las variedades, a pesar de que FONAIAP 2000 presentó más NPM<sup>2</sup> que ZETA 15 en ambos años, esta última rindió más que la primera quizás por presentar más NGP<sup>1</sup> y P<sub>1000</sub><sup>G</sup> (ver Figuras 8 y 11).

**CUADRO 3.** Cuadrados medios, coeficiente de variación y prueba de medias para la variable número total de panículas m<sup>2</sup> de las variedades de arroz más arroz rojo en los diferentes periodos de interferencia.

	Año 2000 Cuadrados medios	Año 2001 Cuadrados medios
Variedad	343 200,69 **	5 590,30 N.S.
Interferencia	149 372,53 **	253 405,71 **
V*I	25 901,81 N.S.	5 748,12 N.S.
C.V.	14,97	12,86
<b>Número de panículas m<sup>2</sup></b>		
<b>Variedades</b>		
ZETA 15	713,89 a	454,4
FONAIAP 2000	518,61 b	429,47
<b>Períodos de interferencia</b>		
0 DDE	783,67 a	380,66 b
15 DDE	581,58 b	382,37 b
30 DDE	583,00 b	415,91 b
45 DDE	493,75 bc	347,94 b
60 DDE	429,17 c	274,83 b
130 DDE	826,33 a	844,90 a

N.S.: no significativo. \*: significativo. \*\*: altamente significativo. † Promedio en columnas con letras iguales no difiere estadísticamente al 5% según la prueba de Duncan.

Estos resultados indican que la interferencia producida por el AR afectó notoriamente a uno de los principales componentes del rendimiento del arroz y que la variedad ZETA 15 mostró mayor reducción en la producción de panículas que FONAIAP 2000.

En relación con las panículas desarrolladas por el AR Kwon *et al.* (1991), encontraron también diferencias compitiendo con las variedades Lemont y Newbonnet en Arkansas (USA). El AR produjo más NPM<sup>-2</sup> cuando creció con Lemont que con Newbonnet, lo que indica que Lemont interfirió menos con el desarrollo de panículas en el AR.

En el Cuadro 4 se observa que el NGP<sup>-1</sup> de las variedades disminuyó a medida que aumentaba los períodos de interferencia con el AR en el año 2000 mientras que en el año 2001 se encontraron diferencias estadísticas sólo después de los 45 DDE. En la mayoría de los lapsos evaluados, Figura 7, del año 2000 se encontró mayor NGP<sup>-1</sup> en ZETA 15, lo que podría explicar en gran parte el mayor rendimiento observado en esta variedad en ese año de evaluación, sin embargo, en el año 2001 no se observaron diferencias entre las variedades.

A pesar que se observa en la Figura 8 un menor NGP<sup>-1</sup> en ambas variedades en el año 2001 respecto al 2000, se ve una tendencia de que la interferencia con AR produjo mayor reducción del NGP<sup>-1</sup> en FONAIAP 2000, siendo la disminución de 42,19 y 15,43% para ZETA 15 y 50,59 y 27,88% en los años 2000 y 2001, respectivamente.

**CUADRO 4.** Cuadros medios, coeficiente de variación y prueba de medias para la variable número granos panícula<sup>-1</sup> de las variedades de arroz más arroz rojo en los diferentes períodos de interferencia.

	Año 2000	Año 2001
	Cuadros medios	Cuadros medios
Variedad	464,83 **	8,71 N.S.
Interferencia	2 703,73 **	269,88 **
V*I	32,16 N.S.	50,18 N.S.
C.V.	7,96	9,47

./...continúa

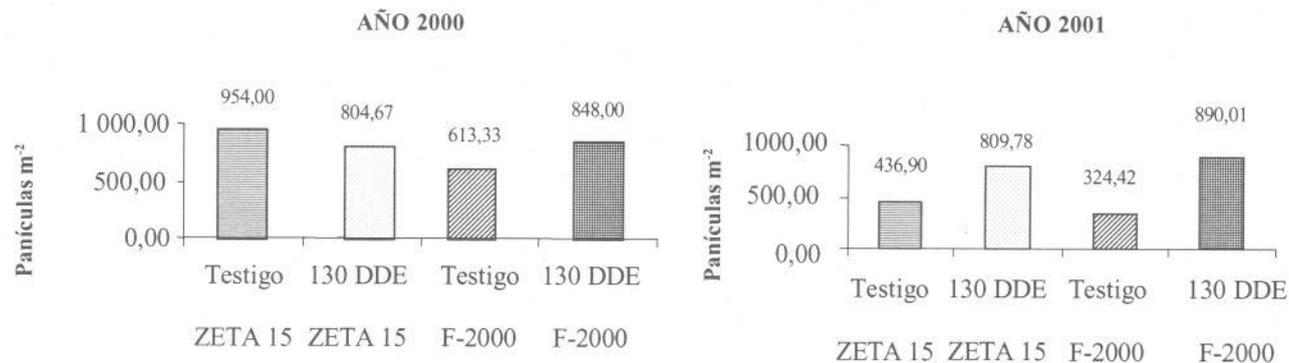
...continuación CUADRO 4.

Número de granos panícula <sup>-1</sup>		
<b>Prueba de medias♣</b>		
<b>Variedades</b>		
ZETA 15	91,57 a	75,33
FONAIAP 2000	84,39 b	76,31
<b>Períodos de interferencia</b>		
0 DDE	117,58 a	83,53 a
15 DDE	107,03 b	79,55 ab
30 DDE	91,23 c	78,44 ab
45 DDE	77,78 d	76,49 ab
60 DDE	71,06 ed	72,70 bc
130 DDE	63,21 e	64,22 c

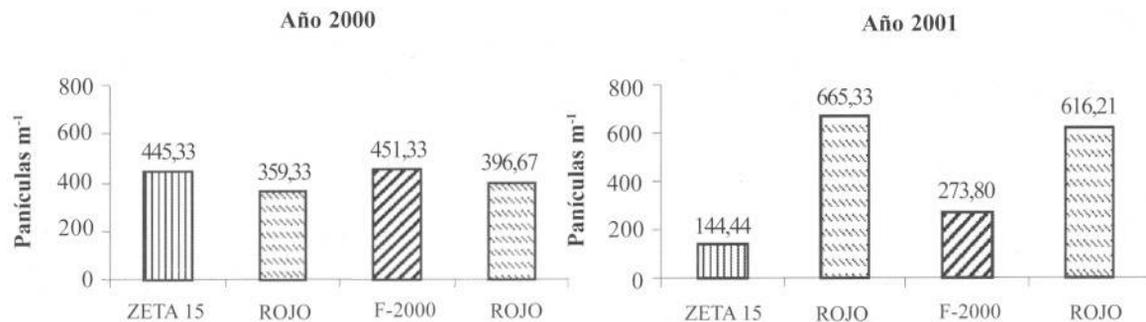
N.S.: no significativo. \*: significativo. \*\*: altamente significativo. ♣ Promedio en columnas con letras iguales no difiere estadísticamente al 5% según la prueba de Duncan.

En la Figura 9 se observa que ZETA 15 mostró 20,52 y 28,55% más  $NGP^{-1}$  que FONAIAP 2000 en el tratamiento de máximo período de interferencia (130 DDE) en los años 2000 y 2001, respectivamente lo que podría indicar una mayor competencia de la primera variedad con el AR que la segunda. En la misma Figura se observa que el AR en el tratamiento de 130 DDE mostró 16,63% menos  $NGP^{-1}$  que ZETA 15, mientras que produjo 3,16% más que FONAIAP 2000.

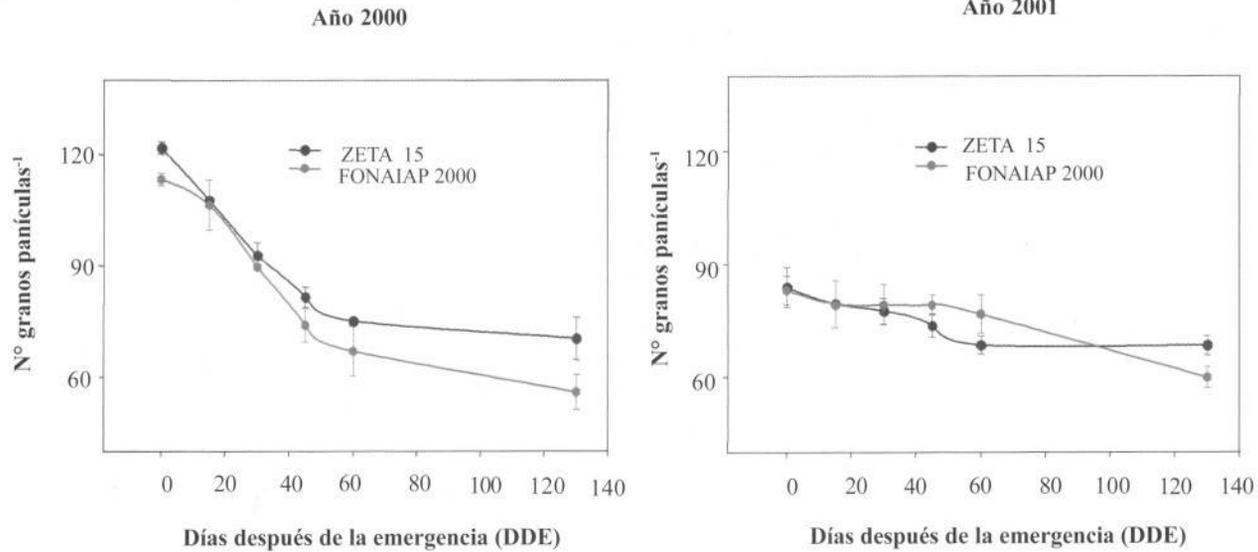
El  $P_{1000}G$  en el año 2000 no mostró diferencias estadísticas para la parcela principal y secundaria, sin embargo, en el segundo año de evaluación exhibió una alta diferencia estadística tanto para variedades como para los períodos de interferencia (Cuadro 5). En el año 2001 la ZETA 15 mostró mayor  $P_{1000}G$  que FONAIAP 2000. En la Figura 10 se observa una tendencia a disminuir el  $P_{1000}G$  en la medida que es más largo el período de interferencia por el AR en ambas variedades, referido solamente al año 2001.



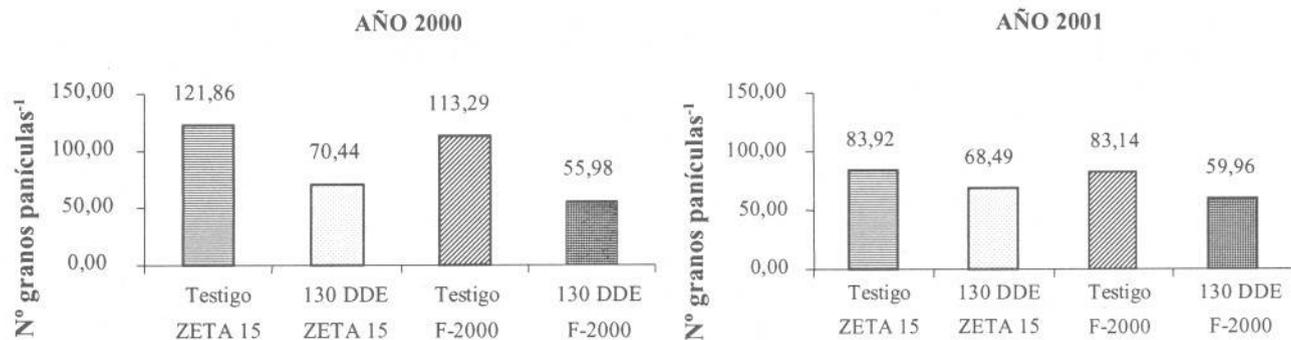
**FIGURA 5.** Comparación del número de panículas del tratamiento testigo (sin arroz rojo) con el de máxima interferencia (130 DDE) de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



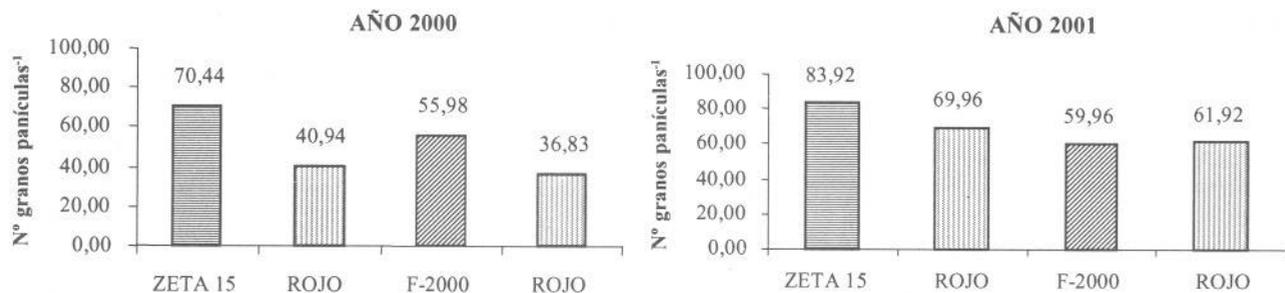
**FIGURA 6.** Contribución de las variedades de arroz rojo en el número de panículas m<sup>-2</sup> del tratamiento de máxima interferencia (130 DDE) en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 7.** Efecto de períodos de interferencia de arroz rojo sobre el número de granos panículas<sup>-1</sup> de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 8.** Comparación del número de grano panículas<sup>-1</sup> del tratamiento testigo (sin arroz rojo) con el de máxima interferencia (130 DDE) de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 9.** Número de granos/panícula de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 y el arroz rojo en el tratamiento de máxima interferencia (130 DDE) en los años 2000 y 2001.

**CUADRO 5.** Cuadrados medios, coeficiente de variación y prueba de medias para la variable peso de 1 000 granos de las variedades de arroz en los diferentes períodos de interferencia.

Cuadrados medios	Año 2000	Año 2001
Variedad	0,001 N.S.	44,53 **
Interferencia	0,107 N.S.	3,99 **
V*I	0,143 N.S.	0,89 N.S.
C.V.	1,21	3,40

Prueba de medias*		Peso de 1000 granos	
Variedades			
ZETA 15	27,37	27,40 a	
FONAIAP 2000	27,35	25,26 b	

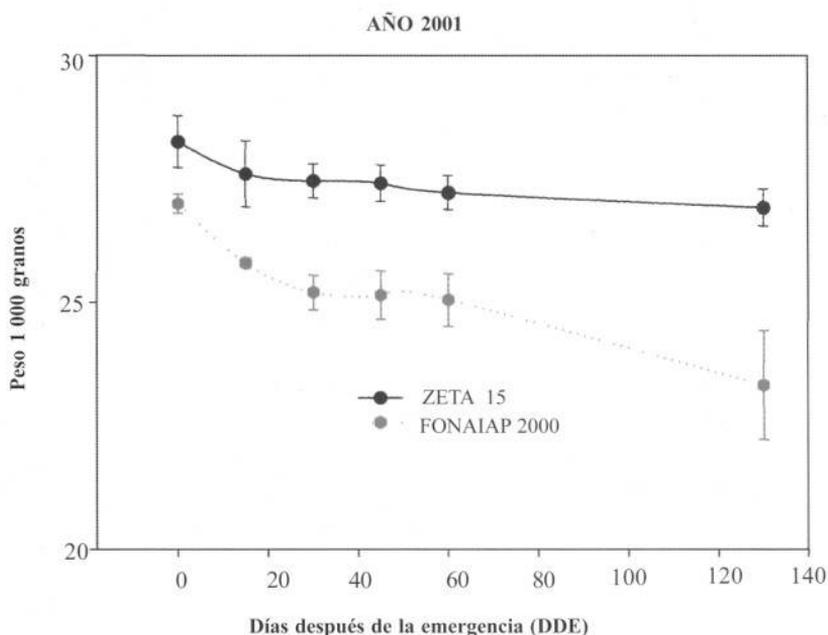
  

Períodos de interferencia		
0 DDE	27,29	27,64 a
15 DDE	27,25	26,71 ab
30 DDE	27,25	26,34 b
45 DDE	27,30	26,29 b
60 DDE	27,48	26,14 bc
130 DDE	27,56	25,13 c

N.S.: no significativo; \*: Significativo; \*\*: Altamente significativo; \* Promedio en columnas con letras iguales no difiere estadísticamente al 5% según la prueba de Duncan.

El  $P_{1000}G$  en el tratamiento de máxima interferencia en ZETA 15 fue 3,59 gramos más que en FONAIAP 2000 (Figura 11). También se observa en la misma Figura que la reducción en el  $P_{1000}G$  entre el testigo (0 DDE) y el peso de los granos en las variedades en el tratamiento de 130 DDE fue mayor en FONAIAP 2000 (13,62%) que en ZETA 15 (4,77).

El  $P_{1000}G$  de AR en el tratamiento de máxima interferencia fue menor en 22,78% que ZETA 15 y 14,62% en FONAIAP 2000 en la misma parcela (Figura 12).



**FIGURA 10.** Efecto de períodos de interferencia de arroz rojo sobre el peso de 1 000 granos de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en el 2000.

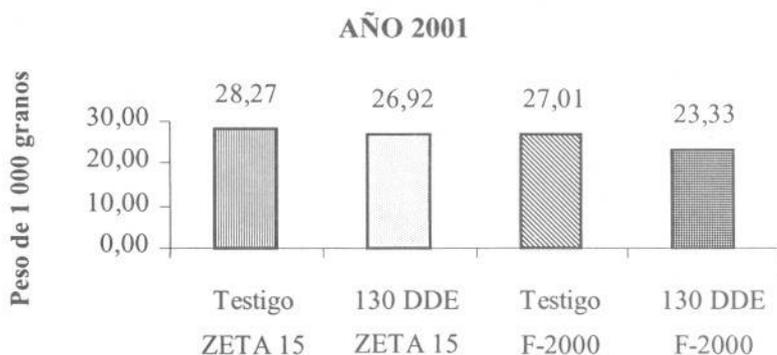
En la Figura 11 se observa que los granos de los testigos de ambas variedades en el año 2001 fueron más pesados que en el tratamiento de máxima interferencia (130 DDE), encontrándose una reducción de 4,7% en ZETA 15 y 13% en FONAIAP 2000. El AR fue más pesado (5,3%) cuando se encontró compitiendo con FONAIAP 2000 que con ZETA 15 (Figura 12). La variable porcentaje de fertilidad no mostró diferencias estadísticas en los dos años de evaluación.

Los resultados de este trabajo de investigación muestran que el rendimiento de los cultivares de arroz fue afectado negativamente por la duración de la interferencia con AR y en ambos años los testigos superaron a todos los períodos de interferencia. Sin embargo, se encontraron diferencias en la contribución de los componentes de rendimiento

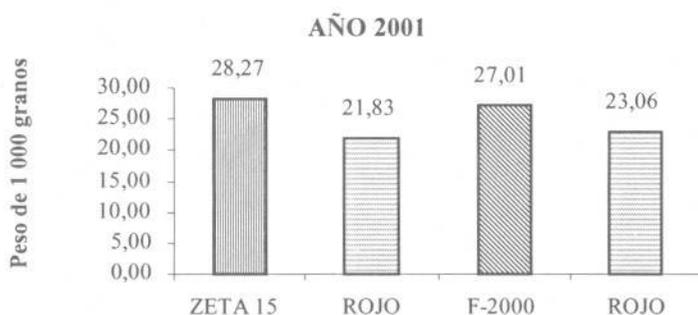
en las variedades, en la variedad ZETA 15 se observó una correlación entre el rendimiento y  $\text{NPM}^{-2}$  de arroz (año 2000,  $r=0,42$   $P<0,08$  y año 2001,  $r=0,71$   $P<0,0008$ ) y  $\text{NGP}^{-1}$  (año 2000,  $r=0,83$   $P<0,0001$  y año 2001,  $r=0,74$   $P<0,005$ ); en FONAIAP 2000 se encontró una correlación entre el rendimiento y  $\text{NGP}^{-1}$  (año 2000,  $r=0,79$   $P<0,0001$  y año 2001,  $r=0,83$   $P<0,0001$ ).

De acuerdo con el análisis de correlación se podría decir que en ZETA 15 el  $\text{NPM}^{-2}$  y  $\text{NGP}^{-1}$  fue más importante para el rendimiento, mientras que en FONAIAP 2000 sólo lo fue el  $\text{NGP}^{-1}$ .

Desde el punto de vista agronómico se visualiza en estos resultados que existió un efecto de compensación diferencial en cada año, observándose en el año 2001 la expresión de un mayor rendimiento en los tratamientos evaluados, sin embargo, el  $\text{NPM}^{-2}$  y  $\text{NGP}^{-1}$  fueron menores que en el año 2000, lo que podría estar explicado en el hecho de que en el segundo período de evaluación los granos fueron más pesados y esto pudo compensar el rendimiento e incluso superar los valores del año anterior.



**FIGURA 11.** Comparación del  $\text{P}_{1000}\text{G}$  del tratamiento testigo (sin arroz rojo) con el de máxima interferencia (130 DDE) de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 en el municipio Anzoátegui, Cojedes en los años 2000 y 2001.



**FIGURA 12.** Peso de 1 000 granos de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 y el arroz rojo en el tratamiento de máxima interferencia (130 DDE) en los años 2000 y 2001.

## CONCLUSIONES

- La interferencia del AR sobre las variedades afectó negativamente la expresión del rendimiento y algunos de los componentes de rendimiento tales como  $\text{NPM}^{-2}$  y  $\text{NGP}^{-1}$  de ZETA 15 y FONAIAP 2000, en ambos años de evaluación y estos más el  $\text{P}_{1000}\text{G}$  en el año 2001.
- ZETA 15 mostró menor reducción de rendimiento que FONAIAP 2000 bajo interferencia con AR.
- El RRT menor que la unidad mostró que se estableció una relación antagónica entre las variedades de arroz y la población de AR negro aristado, también ZETA 15 mostró mayor RRT que FONAIAP 2000 lo cual pudiera indicar que es una variedad más competitiva con el AR.
- Según este estudio el control del AR negro aristado debería realizarse antes de los 15 a 30 DDS, sin embargo, no existen herbicidas selectivos a las variedades de arroz venezolanas por lo cual se sugiere hacer el manejo antes de la siembra.

## AGRADECIMIENTO

Se agradece al productor Luis Badiali por permitir que en su finca Tierra Rica se realizará esta investigación.

## SUMMARY

The red rice is a weed very difficult to be controlled in farms cultivated with rice, *Oryza sativa* L., due to their kindred. This affinity probably is used by the red rice to degrade the herbicide applies to control grasses in this crop. In this research we evaluate the effect of different periods of interference of red rice in the yield, and in the components of yield (number panicles per  $m^{-2}$ , number of grain per panicle $^{-1}$ , % of fertility, and weight of 1000 grains), of the the varieties of rice ZETA 15 and FONAIAP 2000. The experiments was carried out in the dry season of the years 2000 and 2001, in the Municipio Anzoátegui, of Cojedes State. The experiment was a split-block-design with three blocks, where the factor A was the varieties of rice ZETA 15, and FONAIAP 2000, and the factor B were the periods de interference 0, 15, 30, 45, 60, and 130 days after emergence (DAE). We carried out the analysis of variance, and applied the Duncan Multiply Range test (5%) to evaluate differences among means. The results shown that the red rice produced a negative interference in yield and their components (number panicles  $m^{-2}$ , grain panicle $^{-1}$  and weight of 1000 grains (only year 2001) in both varieties. The yield was reduced in 46 and 35% in ZETA 15 and 53 y 38% in FONAIAP 2000, for the treatments with interference of 130 DDE, while the impact was higher, between 71 and 72% for ZETA 15 and 72 and 85% for FONAIAP 2000, when the varieties were alone, in each case for the years 2000 and 2001 respectively. We observec that to a larger periods of interference of red rice, there is a larger reduction in yield of rice. The total relative yield (TRY) was 0.30-0.36 in ZETA 15 and 0.25 - 0.24 in FONAIAP 2000, for the years 2000 and 2001 respectively, showing that there is an antagonistic relationship between rice varieties and red rice.

**Keys Words:** Red rice; rice varieties; periods of interference.

## BIBLIOGRAFÍA

BALDWIN, F. 1978. Red rice control in alternate crops. **In:** E., Eastin (ed). Red Rice: Research and control. Proceeding of a symposium held at Texas A&M. University Agricultural research and Extension Center at Beaumont, December, 13, 1978. Bulletin B-1270. Texas Agricultural Experiment Station, College Station. Tx. p.16-18.

- DUNAND, R. 1988. Red Rice: Its impact on grain quality and its cultural control. A review of research in Louisiana. 1960-1982. Bulletin N° 792. Louisiana Agricultural Experiment Station. 44 p.
- HARPER, J. 1977. Population biology of plants. School of plant Biology University College of North Wales, Bangor. 892 p.
- KWON, S, R. SMITH and R. TALBERT. 1991. Interference durations of Red Rice (*Oryza sativa*) in Rice (*O. Sativa*). Weed Science. 39:169-174.
- KWON, S., R., SMITH and R. TALBERT. 1992. Comparative growth and development of red rice (*Oryza sativa* L.) and rice (*O. sativa* L.). Weed Science, 40:57-62.
- ORTIZ, A. 1997. Caracterización morfológica y quimiotaxonómica de ecotipos de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela. Tesis de Postgrado. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. 117 p.
- ORTIZ, A. 2000. Efecto de algunos ecotipos de arroz rojo sobre el rendimiento en molino y transparencia de los granos de las variedades de arroz, FONAIAP 1, Cimarrón y ZETA 15. Agronomía Tropical 50(4):633-643.
- PEÑA, J. 1999. Caracterización morfológica y taxonómica de las especies involucradas en el complejo de malezas denominado arroz rojo (*Oryza-Poaceae*) de las zonas arroceras de Venezuela. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. 90 p.
- PULVER, E. 1986. Dano econômico ocasionado por arro vermelho. **In:** Reunião da cultura do arroz irrigado, 15 Portoalegre, Anais. Porto alegre. IRGA. 46 p.
- RADOSEVICH, S., J. HOLT and C. GHERSA. 1996. Weed ecology, implications for management. Second edition. 589 p.
- SATTÍN, M., A. BERTI y G. ZANIN. 1997. Influencia del momento de emergencia y desyerbe en las pérdidas de rendimiento de cosecha. **In:** Consulta de Expertos en ecología y manejo de malezas. División de Producción Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 63-74 p.
- ZIMDAHL, R. 1980. Weed-Crop competition a review international plant protection Center. Oregon State University. 195 p.

# MODELADO CARTOGRÁFICO DE RIESGO DE INCENDIOS EN EL PARQUE NACIONAL HENRI PITTIER. ESTUDIO DE CASO: VERTIENTE SUR, ÁREA COLINDANTE CON LA CIUDAD DE MARACAY<sup>1</sup>

Oscar I. Abarca\* y José G. Quiroz G.\*

## RESUMEN

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), aplicado a la vertiente sur del Parque Nacional Henry Pittier, en especial sus herramientas de análisis multi-criterio, para lo cual se digitalizaron algunas variables como topografía, uso de la tierra, hidrografía, vialidad y vegetación. Cada una de estas variables se procesó para generar los criterios de las dos capas, objetivos principales escogidas en el modelo de evaluación: riesgo de ignición (RI) y riesgo de propagación (RP). La capa objetivo RI está constituida por los criterios pisos altitudinales, uso de la tierra colindante con el parque, accesibilidad y vegetación sensible a la ignición. La capa objetivo RP fue evaluada para los criterios pendiente, vegetación sensible a la propagación, influencia del viento, pisos altitudinales, hidrografía y cortafuegos. Estos criterios se ponderaron utilizando el Método de las Jerarquías Analíticas y posteriormente se introdujeron en la regla de decisión multi-criterio estructurada e incorporada al SIG, generando la cartografía de riesgo para cada capa objetivo. Finalmente se integraron las dos capas objetivos para generar la cartografía definitiva de riesgo de incendios de vegetación. Se determinó que existen aproximadamente unas 139 ha con muy alto riesgo, 6 186 ha con alto riesgo, 3 695 ha de moderado riesgo y 728 ha con bajo riesgo a los incendios de vegetación, en promedio durante los meses afectados. Igualmente se ubicaron las zonas donde es necesario aplicar medidas de prevención y control para actuar sobre este grave problema ambiental que afecta a la población de la ciudad de Maracay y sus alrededores.

**Palabras Clave:** Sistema de información geográfica (SIG); riesgo de ignición; riesgo de propagación; evaluación multi-criterio; evaluación multi-objetivo; Parque Nacional Henri Pittier; modelaje cartográfico; incendios de vegetación.

---

1 Estudio financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) ahora Fonacit a través del Proyecto S1-2540.

\* Profesores. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Ingeniería Agrícola. Apdo. 4800. Maracay 2101-A, estado Aragua. Venezuela.

**Nota:** Trabajo en mano del autor desde el año 2002.

RECIBIDO: marzo 01, 2002.

## INTRODUCCIÓN

Todos los años, la ciudad de Maracay, estado Aragua, se ve sometida a extensos incendios de vegetación que literalmente la hacen arder por sus cuatro costados. Esta ciudad, ubicada en los fértiles valles de Aragua, está bordeada por grandes superficies de cultivos, principalmente caña de azúcar, *Saccharum officinarum*. Sus límites urbanos se extienden desde los cañaverales del sur y sur-este y desde el Lago de Valencia por el sur-oeste, hasta el piedemonte de la Serranía del Litoral por el norte. Este límite norte está bien definido por el lindero legal del Parque Nacional Henri Pittier, que se inicia en esas montañas y que ha detenido, por ese flanco, el voraz crecimiento urbano.

Apenas finalizada la temporada de lluvias, lo que en promedio ocurre en el mes de diciembre, comienzan a observarse en todas direcciones las columnas de humo que se desprenden de los incendios. La vegetación de sabana, que año tras año va avanzando en el parque en perjuicio de los bosque mónicos, es consumida completamente por el fuego, dándole un aspecto deprimente a las laderas montañosas que adornan la ciudad. El aire-ciudadino es contaminado por partículas de ceniza provenientes de la vegetación quemada en las montañas del parque, a las que se suman las de la caña de azúcar que es quemada para la cosecha en esos meses de sequía.

La pérdida de vegetación en las montañas, el tono oscuro que adquiere el suelo por efecto de la quema y el inhumano desarrollo urbano-industrial, carente de medidas de arborización y saturado de concreto, incrementan intolerablemente la temperatura de la ciudad en los meses más calurosos del año, desmejorando aceleradamente la calidad de vida de los habitantes de la otrora "ciudad jardín".

Así mismo, cuando comienza la temporada de lluvias, las intensas tormentas que caracterizan la precipitación en esta zona, encuentran las empinadas laderas completamente desnudas, produciendo un importante arrastre de sedimentos que afecta la red de drenajes colectores de la ciudad y que se deposita en gran medida en el Lago de Valencia. Este proceso erosivo, acelerado por la quema de la vegetación natural y producido en una zona de características geomorfológicas que la hace muy sensible a los movimientos en masa, puede contribuir con el desarrollo de un evento catastrófico de consecuencias incalculables en el norte de

la ciudad, tal como el ocurrido el 6 de septiembre de 1987 que dejó innumerables pérdidas de vidas y bienes.

El estudio se realizó con el objeto de adaptar y aplicar un modelo que evalúe el riesgo a incendios de vegetación desarrollado por Chuvieco en 1990, en un área piloto del Parque Henri Pittier, en el sector conformado por la vertiente sur, generando cartografía digital de riesgo permanente a partir de diferentes variables integradas, con la finalidad de determinar las zonas prioritarias de acción en la prevención y control de este grave problema ambiental que afecta particularmente a la ciudad de Maracay.

En su recorrido por los valles de Aragua, en febrero de 1800, el sabio Alejandro Humboldt se refiere con preocupación a la acción imprudente de los colonos al destruir los bosques de las llanuras y montañas de Aragua para uso agrícola. En mediciones realizadas en la Hacienda Cura, cerca de Maracay, este autor obtuvo para el mes de febrero una temperatura media de 24,3 °C, con máximo promedio, en sus registros de pocos días, de 26,16 °C. Así mismo, señaló una temperatura media anual de 25,5 °C, para toda la región de los Valles de Aragua.

También indica: "...Hasta mediados del último siglo las montañas circundantes de los valles de Aragua estaban pobladas de selvas. Crecidos árboles de la familia de las Mimosas, Ceibas e Higueros sombreaban las orillas del lago esparciendo allí el frescor. La llanura, entonces poco habitada, estaba llena de matorrales, sembrada de troncos de árboles diseminados y de plantas parásitas, arropada por una espesa hojarasca, siendo menos susceptible de emitir el calórico radiante que el suelo cultivado, no abrigado por eso mismo contra los ardores del sol. Con la destrucción de los árboles, con el incremento del cultivo de la caña, el añil y el algodón, los manantiales y todos los afluentes naturales del Lago de Valencia han disminuido de año en año" (Humboldt, 1991).

La información climatológica actual de la zona no indica un cambio importante con relación a los valores medios de temperatura observados por Humboldt (1991), sin embargo, los valores extremos al parecer, de acuerdo a la apreciación colectiva de los habitantes de la región, se han modificado al disminuirse el efecto regulador de la vegetación (la temperatura máxima promedio del mes de febrero en los últimos 20 años es de 33 °C). Los adversos efectos ambientales descritos y padecidos por la sociedad, hacen impostergable el control del problema de los incendios, definiendo las áreas prioritarias de acción, para aplicar medidas de prevención y control con la mayor eficiencia posible.

Casi la totalidad de los incendios de vegetación que se producen en el Parque Henri Pittier ocurren en su vertiente sur, iniciándose en los principales centros urbanos (San Joaquín, Mariara, Aguas Calientes, Maracay, Turmero; Rivero, 1994; Rojas, 1982). Así mismo, la zona que se incendia con mayor frecuencia es la colindante con la ciudad de Maracay. Por esta razón se seleccionó como área de estudio la vertiente sur del Parque Henri Pittier, en el sector colindante con la ciudad de Maracay (Figura 1).

En el modelo de riesgo de incendios de vegetación a evaluar se consideraron dos objetivos: el riesgo de ignición (RI) o inicio del fuego y el riesgo de propagación (RP) o difusión de las llamas en el espacio.

Los principales factores considerados en los modelos de inicio o RI son, según Sarandon y Wysiecky (1992): 1. la vegetación; 2. la topografía (elevación, pendiente, orientación de laderas); 3. los antecedentes de ocurrencia; 4. factores meteorológicos; 5. proximidad a carreteras, caminos y senderos, áreas urbanas y sitios turísticos.

Los factores que influyen en la dirección, velocidad e intensidad de RP de un incendio, según Todd (1979), son: 1. el grado de combustibilidad de la vegetación (tipo de vegetación, cantidad, contenido de agua); 2. La topografía (elevación, pendiente, configuración de valles y orientación de laderas); 3. Factores meteorológicos (viento, humedad relativa, temperatura, pluviosidad).

Tomando en cuenta las características particulares de un área dada, factores como los mencionados pueden integrarse en un modelo cartográfico que permita evaluar el riesgo al desarrollo potencial de incendios.

La diversidad de factores que afectan el RI y RP de los incendios forestales requiere de un análisis integrado de las variables que permita establecer áreas de RI, lo cual es posible mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG; Chuvieco y Congalton, 1989).

Cada una de esta múltiple cantidad de variables tiene un peso particular en su participación para el desarrollo de los incendios, por tal razón, el analista debe decidir entre una amplia gama de alternativas de combinaciones de variables o criterios para cumplir una determinada función objetivo, tales como el RI o el RP de incendios.



FIGURA 1. Área de estudio. Fuente: Fernández-Badillo (1997).

Los SIG disponen de una herramienta muy importante para la toma de decisiones que es la Evaluación Multi-criterio (EMC). Como esta se entiende a un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que sirven de soporte a los entes decisorios para describir, seleccionar, evaluar, jerarquizar o rechazar objetos, sobre la base de una evaluación (expresada en puntuaciones, valores o intensidades de preferencia), de acuerdo a varios criterios seleccionados en apoyo a la toma de decisiones (Barredo, 1996). En el caso de modelos ambientales (riesgos de incendios), este método valora las posibles alternativas de selección (vegetación, pendiente, uso, vientos, etc.) que van a ser considerados como los diversos criterios a evaluar según uno o más objetivos.

Un objetivo se puede entender como una función a desarrollar; el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión. Un criterio es cierta base para la toma de una decisión, base que puede ser medida y evaluada. Es la evidencia sobre la cual se basa una decisión (Eastman *et al.*, 1993).

Al valorar los diferentes tipos de criterios, es decir, al darle puntuaciones a los criterios estos se pueden integrar a través de una regla de decisión que elegirá entre las alternativas (Eastman *et al.*, 1993; Barredo, 1996; Gutiérrez, 1998).

En el presente estudio los criterios constituyen las diferentes capas cartográficas generadas, consideradas como desencadenantes de la RI o RP de un incendio (por ejemplo, la pendiente del terreno o los pisos altitudinales). Los objetivos o funciones objetivo a desarrollar son por una parte el RI y por la otra el RP. Un método para la asignación de pesos a los criterios es el llamado Método de las Jerarquías Analíticas, desarrollado por Saaty (1977, 1980), citado por Eastman *et al.* (1993) y Barredo (1996).

Según el método se asignan los pesos, de acuerdo a una escala establecida, basándose en estudios preliminares relacionados con el objetivo de la evaluación y el conocimiento del problema evaluado, sea por consulta a expertos, trabajos anteriores o por deducción del grupo que realiza la evaluación. Finalizada la asignación de pesos se recodifican las variables temáticas expresadas en escalas cualitativas cuantificándolas, para posteriormente aplicar un método de EMC. Una vez realizados los procesos de recodificación, se preparan las capas criterio para cada objetivo, luego se corre la regla de decisión para el objetivo RI y para el objetivo RP.

En este trabajo se utilizó el método de evaluación llamado Sumatoria Lineal Ponderada (Chuvieco y Congalton, 1989; Eastman *et al.*, 1993; Chuvieco y Salas, 1994; Barredo, 1996). Este método es una técnica aditiva donde las puntuaciones de las alternativas o variables de cada criterio han sido normalizadas en forma homogénea.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos planteados, este trabajo se desarrolló usando los siguientes materiales y secuencia metodológica:

### Software

- IDRISI para Windows, versión 2.0 (Sistema de Información Geográfica).
- ROOTS Versión 2,4 (Sistema de digitalización cartográfica).
- Microsoft Excel (Manejo de datos).
- Corel Draw (Edición cartográfica).

### Datos

- Cartas topográficas a escala 1:25 000 (6646-I-NO; 6647-II-SO; 6647-II-SE; 6646-I-EN) de Cartografía Nacional (SAGECAN).
- Mapa de cobertura vegetal y uso actual del Parque Nacional Henri Pittier (Pérez, 1986).
- Registros climáticos de la estación meteorológica CENIAP (serial 0447).
- Base de datos de incendios de vegetación (Defensa Civil – Aragua, 1998).

### Procesamiento de la Información Básica

Los mapas en papel fueron digitalizados con el programa ROOTS (LCGSA, 1991) y exportados al sistema IDRISI (Eastman, 1997).

### Modelado de Riesgo

Se adaptó el modelo de riesgo de incendios de Chuvieco (1990) al Parque Henri Pittier, considerando sus características tropicales, por lo que se

descartaron algunas capas criterio utilizadas por este autor y se incorporaron otras de mayor pertinencia. Para la evaluación se utilizó la tecnología de la toma de decisiones a través de una EMC-Multiobjetivo. Los objetivos de la evaluación son: RI y RP.

Cada objetivo se estructuró con sus diferentes capas criterios. A su vez cada capa se reclasificó con los siguientes valores asignados, en función del tipo asociado de riesgo, bajo: 1; moderado: 2; alto: 3; muy alto: 4. Posteriormente las capas criterios fueron ponderados para luego ser evaluados en una regla de decisión que genera un mapa de riesgo para cada objetivo. Finalmente los objetivos se ponderan y se evalúan para generar el mapa de RI de vegetación definitivo.

### **Riesgo de Ignición (RI)**

Este objetivo está formado por las variables (capas-criterio) relacionadas con la posibilidad de que se inicie un incendio. Las capas usadas para este objetivo son las siguientes: uso de la tierra en el lindero del parque, vegetación sensible a la ignición, accesibilidad (vías que cruzan el área de estudio) y pisos altitudinales.

#### **Uso de la tierra**

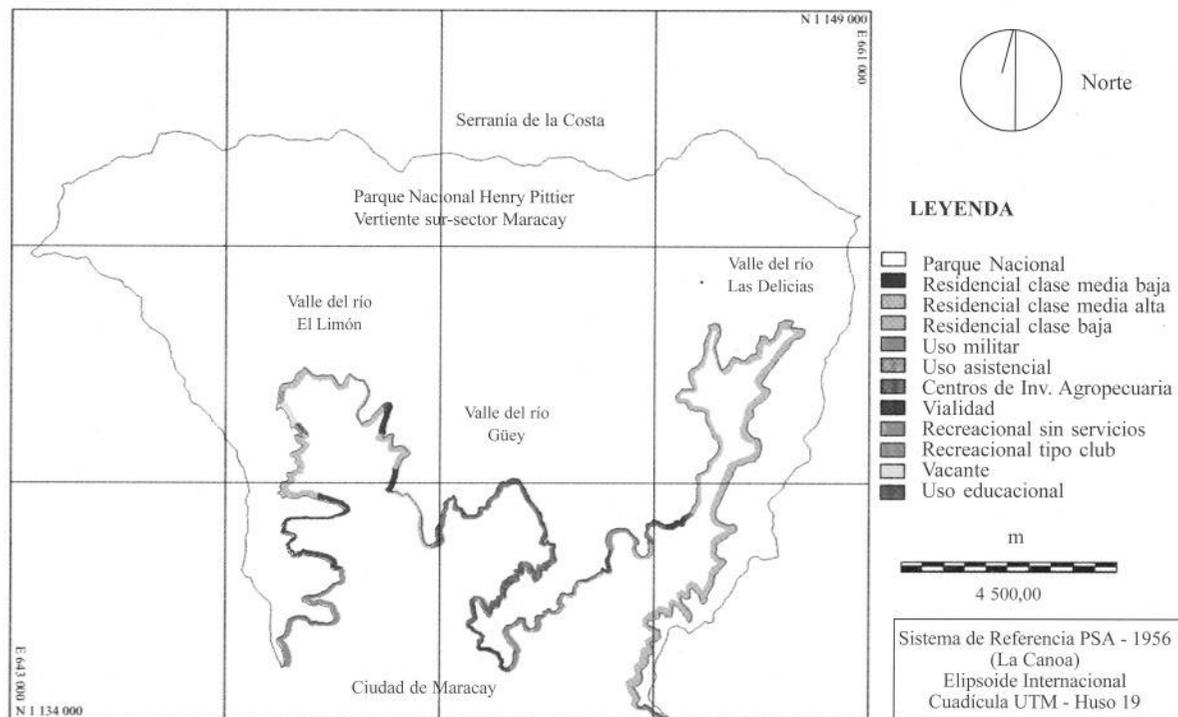
Se identificaron 11 áreas de uso de la tierra las cuales se muestran en la Figura 2. Estas fueron reclasificadas en las cuatro categorías de riesgo, con base en los criterios obtenidos por consultas a expertos (Bomberos de INPARQUES, Bomberos de Palmarito, Sociedad Conservacionista Aragua, Bomberos de Valle Verde). Los valores de reclasificación que permitieron obtener el mapa correspondiente (capa-criterio) se presentan en el Cuadro 1.

#### **Vegetación**

Pérez (1986) identifica 11 formaciones vegetales en el área de estudio, mostradas en la Figura 3, las cuales fueron reclasificadas en las categorías de riesgo, de acuerdo al Cuadro 2.

#### **Accesibilidad**

Se calcularon áreas buffer a lo largo de las vías de comunicación del sector (asfaltadas y de tierra) y estas se reclasificaron de acuerdo a la categoría de riesgo, tal como se indica en el Cuadro 3.



**FIGURA 2.** Uso de la tierra en la franja limítrofe del área de estudio.

**CUADRO 1.** CRITERIO - FACTOR: Uso de la tierra en el lindero del parque.

Reclasificación de usos	Clase de riesgo	Coficiente
Militar, Campos Experimentales de Investigación Agropecuaria, vialidad, recreación sin equipamientos	Muy alto	4
Residencial Clase Media Baja y Clase Baja, Recreacional tipo Club, Vacante.	Alto	3
Residencial Clase Media Alta, Asistencial, Educativa	Moderado	2
Resto de la imagen (Parque Nacional).	Bajo	1

### Pisos altitudinales

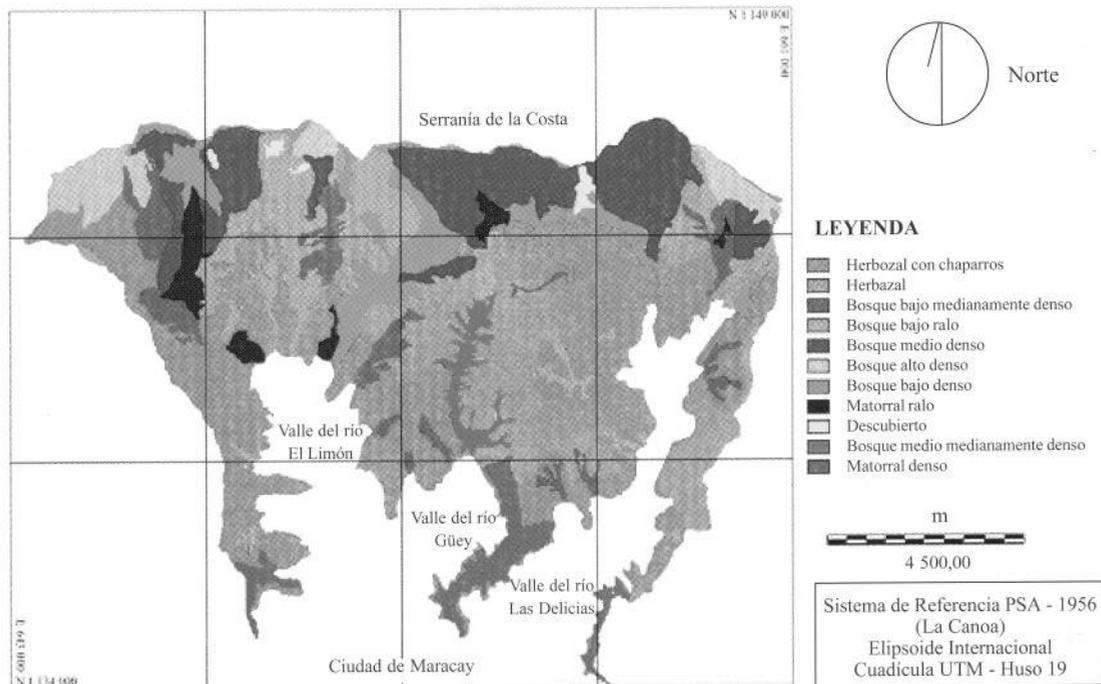
Se reclasificó el modelo digital de elevación (MDE) de la zona, obtenido a partir del mapa topográfico digitalizado, en pisos altitudinales, los que a su vez fueron categorizados por riesgo, de acuerdo al Cuadro 4.

### Riesgo de Propagación (RP)

Este objetivo es función de los factores físico-ambientales que inciden en el comportamiento del fuego ya iniciado. Estas capas-criterio son poco manejables por tratarse de la propagación del fuego. Las capas-criterio que integran este índice de riesgo son: la vegetación, la pendiente, la altitud y la dirección del viento. En este objetivo también se trabajó con dos criterios limitantes: la hidrografía y los cortafuegos existentes, factores que restringen la propagación del fuego.

### Vegetación

Para este objetivo se reclasificaron las 11 formaciones vegetales existentes, de acuerdo a la escala de riesgo y considerando su propensión a la propagación del fuego. Los valores empleados se presentan en el Cuadro 5.



**FIGURA 3.** Vegetación de la vertiente sur-sector Maracay del Parque Nacional Henri Pittier. Fuente: Pérez (1986).

**CUADRO 2.** CRITERIO - FACTOR: Vegetación sensible a la ignición.

Formación Vegetal	Clase de riesgo	Coefficiente
Herbazal, Herbazal con Chaparros, matorral ralo	Muy alto	4
Terreno descubierto, Matorral Denso	Alto	3
Bosque Bajo Ralo, Bosque Bajo Medianamente Denso, Bosque Bajo Denso y Bosque Medio Medianamente Denso	Moderado	2
Bosque Medio Denso y Bosque Alto Denso	Bajo	1

**CUADRO 3.** CRITERIO - FACTOR: Accesibilidad por carreteras de tierra y asfalto.

Reclasificación según cercanía a la vía	Clase de Riesgo	Coefficiente
Asfalto 50 m      Tierra 20 m	Muy alto	4
Asfalto 100 m      Tierra 40 m	Alto	3
Asfalto 150 m      Tierra 80 m	Moderado	2
Resto de la imagen	Bajo	1

**CUADRO 4.** CRITERIO - FACTOR: Pisos altitudinales.

Reclasificación Altura en m.s.n.m.	Clase de riesgo	Coefficiente
450 - 900	Muy Alto	4
900 - 1 300	Alto	3
1 300 - 1 900	Moderado	2
1 900 en adelante	Bajo	1

**CUADRO 5.** CRITERIO - FACTOR: Vegetación sensible a la propagación.

Formación Vegetal	Clase de riesgo	Coefficiente
Herbazal, Herbazal con Chaparros, Matorral Denso	Muy alto	4
Terreno Descubierto, Matorral Ralo	Alto	3
Bosque Bajo Ralo, Bosque Bajo Denso y Bosque Bajo Medianamente Denso	Moderado	2
Bosque Medio Medianamente Denso, Bosque Medio Denso y Bosque Alto Denso	Bajo	1

### Pendiente

A partir del MDE se obtuvo el mapa de pendientes del terreno, el cual fue reclasificado de acuerdo a las categorías de riesgo indicadas en el Cuadro 6.

### Pisos altitudinales

Se utilizó la misma imagen reclasificada del objetivo ignición.

**CUADRO 6.** CRITERIO – FACTOR: Pendiente del terreno.

Rangos de Pendiente (Grados)	Tipo de Propagación	Clase de Riesgo	Coefficiente
0----10°	Lenta	Bajo	1
10----30°	Media	Moderado	2
30----45°	Rápida	Alto	3
45----90°	Muy rápida	Muy alto	4

## **Vientos**

En el valle de Maracay el viento es ascendente durante el día, lo que sumado al efecto de la pendiente hace que la propagación del incendio sea altamente intensa y veloz. De noche, las corrientes locales descendentes favorecen la extinción del fuego en las laderas, al oponerse al sentido de desarrollo del incendio.

Para la obtención de la imagen de influencia de vientos, se generó, a partir del MDE, el mapa de orientación de laderas, el cual se reclasificó en función de las 8 orientaciones de la Rosa de los vientos. La imagen generada se combinó con los datos de la estación meteorológica CENIAP. En esta estación se recolectaron datos mensuales de dirección dominante de los vientos durante un período de 15 años. Estas orientaciones se convirtieron en grados. Posteriormente se realizó un análisis de frecuencia para obtener las direcciones mensuales más frecuentes de esos 15 años en el período de incendios (diciembre a abril). En la Figura 4 se presenta la imagen resultante para el mes de diciembre.

## **Hidrografía**

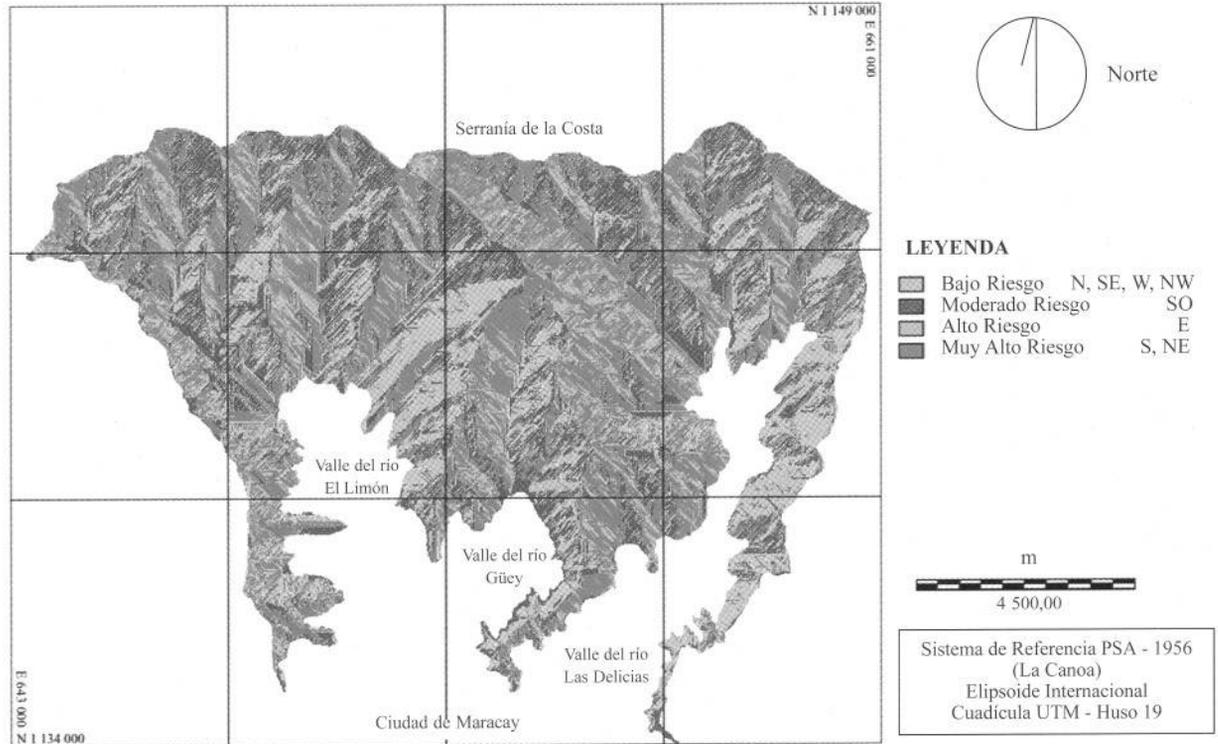
La red hidrográfica es tomada como un criterio limitante a la propagación dentro del modelo. Se le agregó un área buffer de 20 m asumiendo que el ambiente se mantiene húmedo a ambos lados del cauce de los ríos en esa distancia. La capa criterio se reclasificó entonces, en esa área, con un riesgo de cero (sin riesgo).

## **Cortafuegos**

Las vías dentro del área de estudio cumplen una función limitante a la propagación del fuego, pues allí el suelo está desnudo. Esta capa se reclasificó también con un riesgo de cero.

## **Ponderación de criterios**

En la ponderación se utilizó el Método de las Jerarquías Analíticas, para lo cual se construyó una matriz de comparación por pares de criterios para el cálculo de los pesos relativos de cada uno de ellos. Para el objetivo RI la matriz de comparación se presenta en el Cuadro 7 y para el objetivo RP en el Cuadro 8. Estas matrices se elaboraron a partir de juicios de valor emitidos por expertos en la problemática ambiental del Parque



**FIGURA 4.** Dirección de los vientos en relación con la orientación de laderas, para el mes de diciembre.

Henri Pittier, consultados en el Instituto Nacional de Parques, en los cuerpos de bomberos locales, en Defensa Civil-Aragua y en la Universidad Central de Venezuela-Maracay, y apoyándose en la base de datos de incendios de vegetación disponible en Defensa Civil-Aragua (1998).

En el Cuadro 7 se puede interpretar que el criterio uso colindante es dos veces más importante, en lo que respecta al inicio de un fuego, que la vegetación. También que la accesibilidad al parque, por las vías que lo cruzan, y la vegetación, tienen igual importancia para la ignición y que la altitud es dos veces menos importante que la vegetación y que la accesibilidad, y tres veces menos importante que el uso colindante. La matriz de comparación por pares de criterio para el objetivo RP, presentada en el Cuadro 8, se interpreta de manera similar. Se determinó que las relaciones de importancia entre los criterios son consistentes, ya que la razón de consistencia estuvo por debajo de 0,10 en ambas matrices.

Se calcularon los pesos ponderados para cada criterio de cada objetivo usando el SIG, el cual calcula el autovector principal de cada matriz de comparación para obtener el mejor ajuste de los pesos. En los Cuadros 9 y 10 se presentan los pesos ponderados obtenidos por el SIG para cada criterio de cada objetivo. Aquí se observa que el criterio más importante para el objetivo RI resultó ser el uso colindante con el parque (42,36%), ya que el inicio de la gran mayoría de los incendios tiene que ver con la presencia humana en los linderos (Cuadro 9). En relación al RP, la mayor ponderación se asignó a la vegetación (43,93%), explicable por el aporte de combustible que esta hace para el RP de los incendios.

**CUADRO 7.** Matriz de comparación por pares de criterios para el objetivo ignición.

Criterio	Vegetación	Uso colindante	Accesibilidad	Altitud (Pisos)
<b>Vegetación</b>	1	1/2	1	2
<b>Uso colindante</b>	2	1	2	3
<b>Accesibilidad</b>	1	1/2	1	2
<b>Altitud (Pisos)</b>	1/2	1/3	1/2	1

Razón de consistencia: 0,00

**CUADRO 8.** Matriz de comparación por pares de criterios para el objetivo propagación.

<b>Criterio</b>	<b>Vegetación</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Vientos</b>	<b>Altitud (Pisos)</b>
<b>Vegetación</b>	1	2	2	5
<b>Pendiente</b>	1/2	1	1/2	3
<b>Vientos</b>	1/2	2	1	4
<b>Altitud (Pisos)</b>	1/5	1/3	1/4	1

Razón de consistencia: 0,02

**CUADRO 9.** Pesos de los criterios para el objetivo ignición.

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Vegetación (Vi)</b>	0,2270
<b>Uso colindante (Uc)</b>	0,4236
<b>Accesibilidad (A)</b>	0,2270
<b>Pisos altitudinales (Pa)</b>	0,1224

**CUADRO 10.** Pesos de los criterios para el objetivo propagación.

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Vegetación (Vp)</b>	0,4393
<b>Pendiente (P)</b>	0,1925
<b>Vientos (V)</b>	0,2944
<b>Pisos altitudinales (Pa)</b>	0,0738

## Evaluación Multi-criterio y Multi-objetivo

Se utilizó el método de Sumatoria Lineal Ponderada como regla de decisión de la evaluación de cada objetivo. Luego de ser completados los objetivos, se ponderan de forma arbitraria tomando en cuenta la importancia de cada objetivo y se corre de nuevo la regla de decisión en el SIG para obtener el mapa definitivo.

### Objetivo 1: Riesgo de ignición (RI)

Se estructuró la regla de decisión en función a los criterios anteriormente ponderados, tomando en cuenta que es un modelo cartográfico, en el cual los criterios son imágenes espacialmente definidas con georeferencias absolutas. Esta regla de decisión funciona por la superposición de las imágenes ya reclasificadas en las alternativas normalizadas con valores del 1 al 4, y se resume en la siguiente fórmula para las 4 capas:

$$\begin{aligned} \text{RI} &= (\text{USO} * (\text{Uc})) + (\text{Vegetación} * (\text{Vi})) + (\text{Accesibilidad} * (\text{A})) + (\text{Pisos Altitudinales} * (\text{Pa})) \\ \text{RI} &= (\text{Uc} * 0,4236) + (\text{Vi} * 0,2270) + (\text{A} * 0,2270) + (\text{Pa} * 0,1224) \end{aligned}$$

El SIG, realiza esta operación por pixel superpuesto y arroja resultados dentro del rango de las 4 alternativas (1 al 4) a través de algoritmos de cálculo en él incluidos. De esta forma se genera la imagen de RI como se puede apreciar en la Figura 5.

### Objetivo 2: Riesgo de propagación (RP)

La metodología es la misma que la del RI con la diferencia de que en el objetivo RP se tienen dos criterios limitantes (la red hidrográfica de drenaje y los cortafuegos), por consiguiente, en la superposición, donde coincidan espacialmente los criterios (capas) con una limitante, se están multiplicando las celdas de la capa-criterio con el valor cero de la celda limitante, obteniéndose por tanto celdas con valor cero.

Este procedimiento se puede resumir en las fórmulas siguientes:

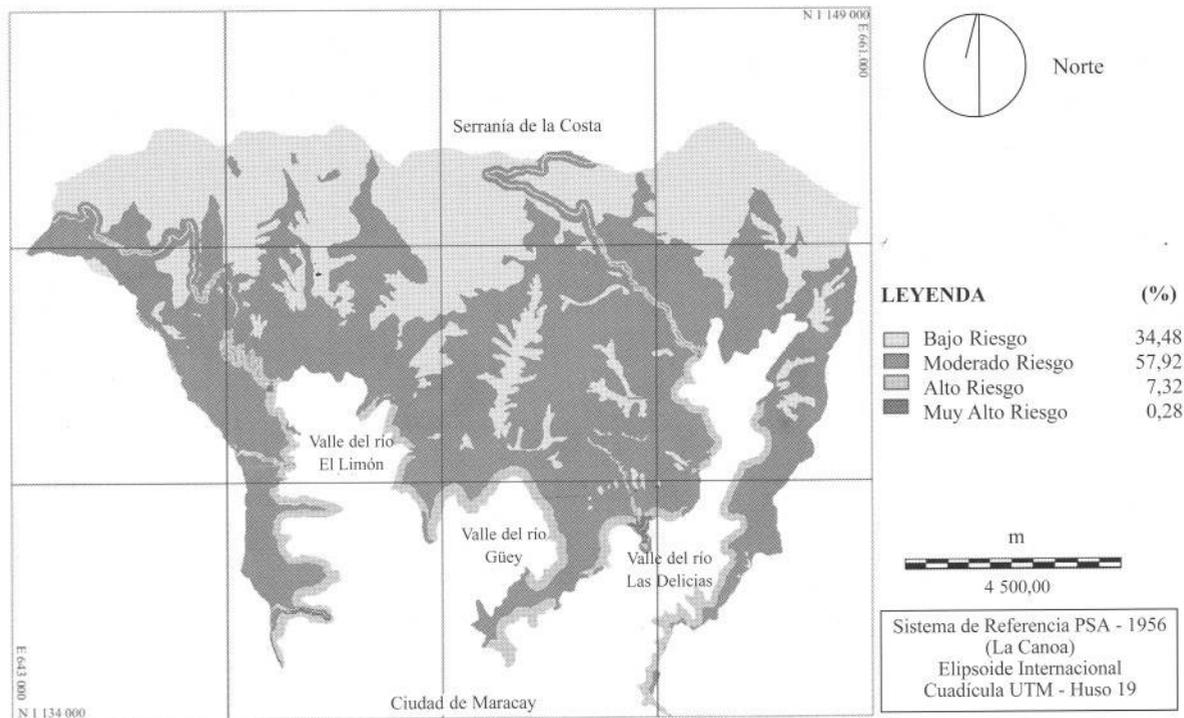
#### Caso sin criterio limitante

$$\begin{aligned} \text{RP} &= (\text{Vegetación} * (\text{Vp})) + (\text{Pendiente} * (\text{P})) + (\text{Vientos} * (\text{V})) + (\text{Pisos Altitudinales} * (\text{Pa})) \\ \text{RP} &= (\text{Vp} * 0,4393) + (\text{P} * 0,1925) + (\text{V} * 0,2944) + (\text{Pa} * 0,0738) \end{aligned}$$

#### Caso con criterio limitante – red hidrográfica de drenaje (D)

$$\begin{aligned} \text{RP} &= (\text{Vp} * \text{D}) + (\text{P} * \text{D}) + (\text{V} * \text{D}) + (\text{Pa} * \text{D}) \\ (\text{D}) &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{RP} = (\text{Vp} * 0) + (\text{P} * 0) + (\text{V} * 0) + (\text{Pa} * 0)$$



**FIGURA 5.** Riesgo de ignición de incendios de vegetación.

Para el caso con criterio limitante cortafuegos (C), se utiliza el mismo procedimiento. El resultado de esta evaluación se presenta en la Figura 6, correspondiente al mes de diciembre.

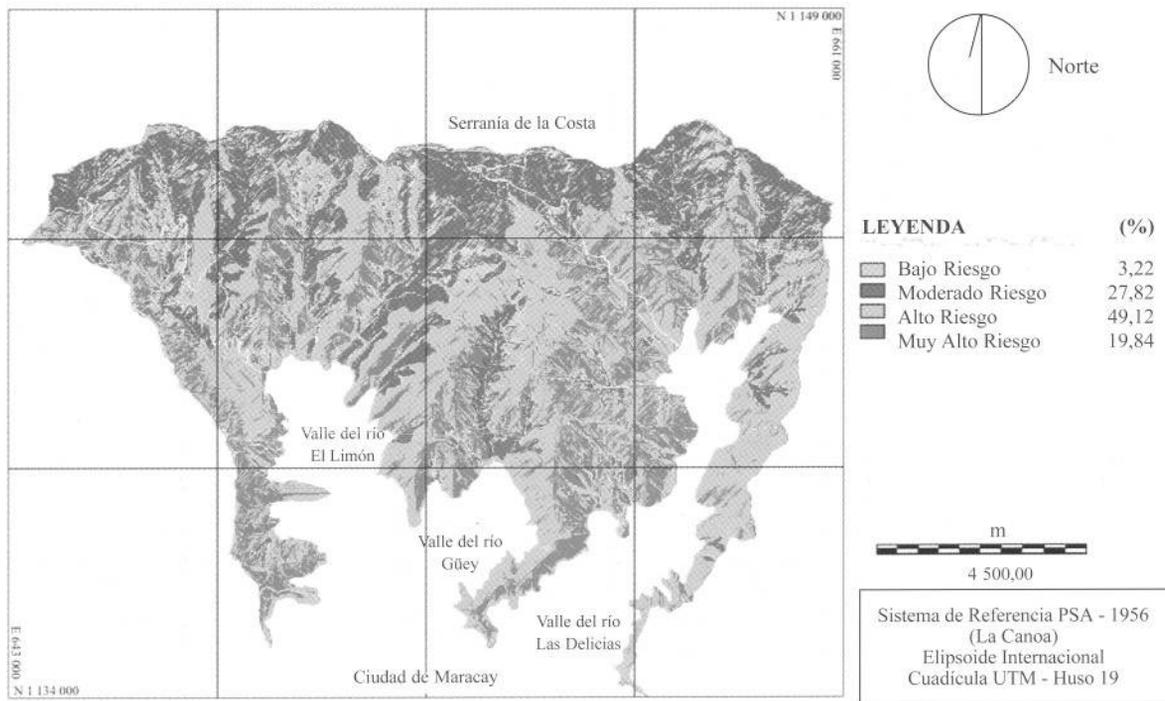
### **Evaluación final riesgo de incendios de vegetación**

Al tener las dos capas objetivo se construyó el modelo de decisión multi-objetivo, estructurando la regla de decisión final para obtener el modelo de evaluación de riesgo de incendios de vegetación. Como resultado de la consulta a expertos se seleccionó una ponderación de 0,51 y 0,49 para los objetivos RP y RI, respectivamente. La aplicación de la regla de decisión permitió obtener una imagen definitiva de riesgo para cada mes del período de incendios (de diciembre a abril). En la Figura 7 se presenta el resultado del mes de diciembre.

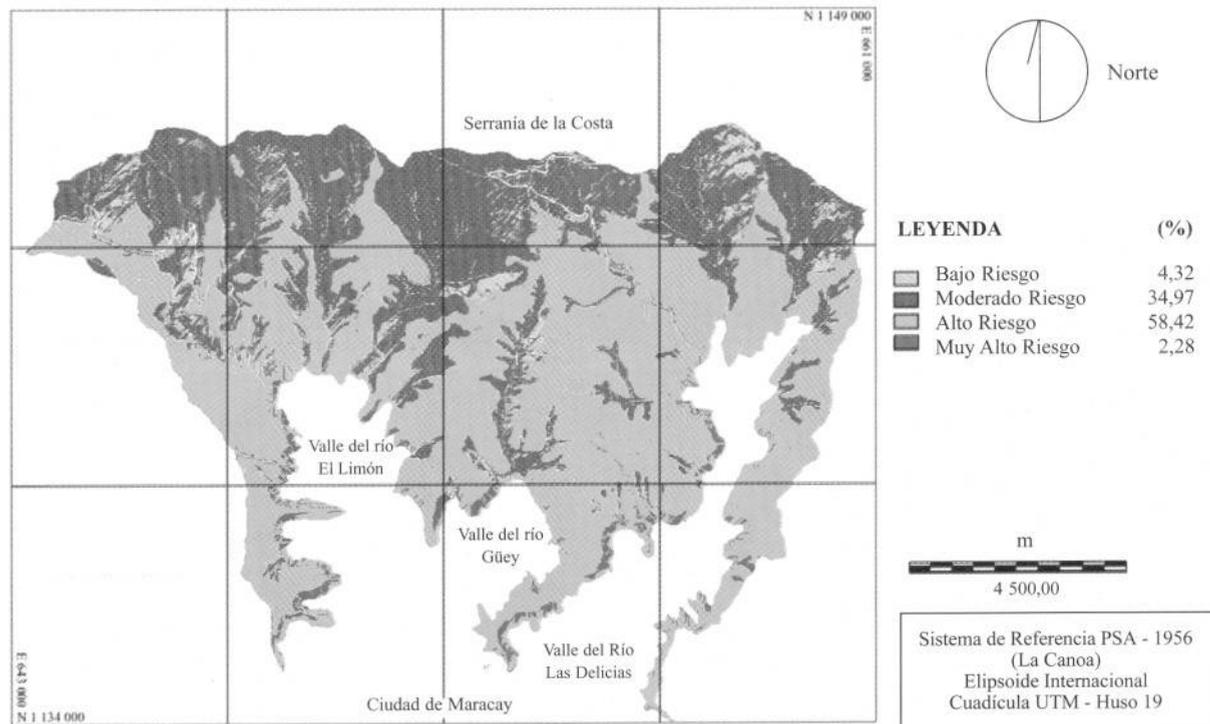
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 8 se presentan los resultados del RI en el área de estudio. De las 10 872 ha estudiadas el 34,48% tiene bajo RI. Esta categoría se ubica en las zonas que están a alturas mayores a los 1 700 m.s.n.m., en los bosques medios y bosques altos densos siempre verdes del parque, alejados de las vías de acceso y del lindero con la ciudad de Maracay. El riesgo moderado ocupa más de la mitad de todo el área de estudio (57,2%) e incluye extensiones cubiertas por herbazales alejados de las vías de acceso y del lindero del parque, así como otros tipos de vegetación alejadas de las vías de comunicación, pero, cercanas al lindero. La categoría alto riesgo (7,32%) se ubica en las zonas de intersección del lindero del parque con las vías de acceso. La superficie de muy alto riesgo (0,28%) se localiza en los sitios donde coincide el lindero del parque con las vías de acceso y vegetación herbácea.

En la Figura 9 se presentan los resultados del RP en el área de estudio. En este caso hay una variación mensual de los resultados dado que se incluye la variable vientos que cambia en el tiempo. Para el mes de diciembre se presenta el mayor porcentaje de zonas con muy alto riesgo (19,84%), ubicadas en los herbazales y matorrales de laderas con fuertes pendientes orientadas hacia el nordeste y hacia el sur. Las zonas de alto riesgo cubren casi la mitad del área de estudio (49,12%), ubicándose en los herbazales y matorrales de laderas con pendientes relativamente fuertes orientadas hacia el oeste.



**FIGURA 6.** Riesgo de propagación de incendios de vegetación, para el mes de diciembre.



**FIGURA 7.** Riesgo total de incendios de vegetación, para el mes de diciembre.

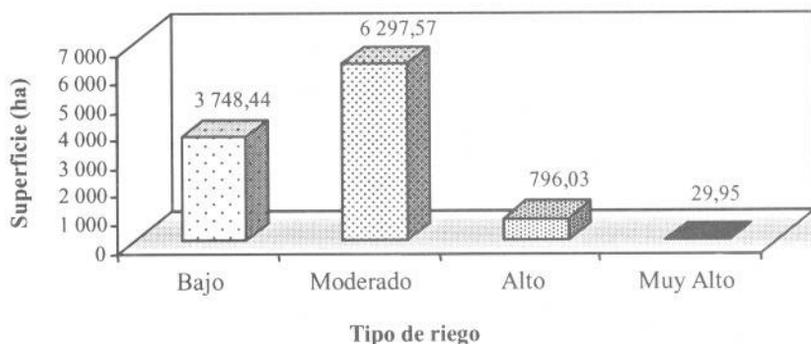


FIGURA 8. Tipo de riesgo de ignición por superficie del área de estudio.

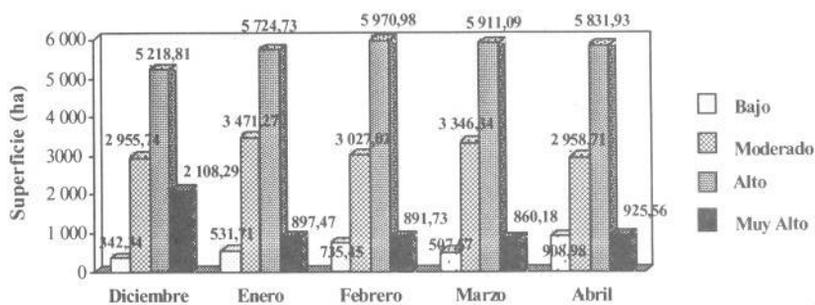


FIGURA 9. Tipo de riesgo de propagación por superficie por mes del período de incendios.

Las zonas de moderado riesgo (27,82%) se ubican en lugares de vegetación boscosa alta densa y mediana densa, con laderas de pendientes moderadas orientadas principalmente hacia el sùroeste. Las zonas de bajo riesgo (3,22%) se localizan en lugares de vegetación boscosa alta densa y mediana densa, con laderas de pendientes moderadas orientadas hacia el norte, oeste y noroeste. Para los meses de enero a abril disminuye el porcentaje de las zonas de muy alto riesgo y se incrementa el porcentaje de las zonas de alto riesgo, con cambios porcentuales relativamente bajos en las otras categorías, producto del cambio equivalente en la dirección de los vientos.

En la Figura 10 se presentan los resultados finales del riesgo de incendios de vegetación en el área de estudio (RI + RP). Aquí se observa la disminución continua de la superficie de zonas de muy alto riesgo y el incremento continuo de las superficies de zonas con bajo riesgo, a través de los meses del período seco. La superficie de zonas de moderado y alto riesgo se mantiene aproximadamente igual todos los meses.

En promedio para los meses del período, las zonas de bajo riesgo ocupan una superficie de 727,7 ha (6,8%), las zonas de moderado riesgo unas 3 694,9 ha (34,4%), las zonas de alto riesgo unas 6.186,4 ha (57,5%) y las zonas de muy alto riesgo unas 138,7 ha (1,3%). Al analizar la Figura 10 se puede deducir la interrelación entre la vegetación, la orientación de las laderas, la pendiente y los pisos altitudinales, asociados al RP, con los factores antrópicos del RI, pues el comportamiento de los tipos de riesgo, en los meses del período de incendios, es proporcional a los resultados del RP; con la salvedad de que las áreas de muy alto riesgo sólo se ubican cerca de las vías de acceso o del lindero del parque, que coincide con el área urbana más sensible a la ocurrencia de un incendio.

En las imágenes resultado (Figura 7) se pueden identificar sitios específicos de muy alto riesgo de RI y/o RP, en los cuales deben acometerse con urgencia medidas de prevención y control. Estos son:

- Las inmediaciones del cerro CAVIM, en la fila La Cabrera, terrenos de propiedad militar (cuenca del río El Limón).
- El inicio del cortafuego del barrio Mata Seca (cuenca del río El Limón).
- El inicio de la carretera Maracay-Ocumare de la Costa (cuenca del río El Limón).
- El área experimental del CENIAP (cuenca del río Güey).
- El área de la planicie del cortafuego ubicado frente al Hotel Maracay (cuenca del río Las Delicias).
- El inicio de la carretera Maracay-Choroní (cuenca del río Las Delicias).

En recorridos de campo realizados por la zona estudiada se verificó la correspondencia entre algunos de los resultados arrojados por la evaluación del modelo y la realidad de la distribución de los incendios

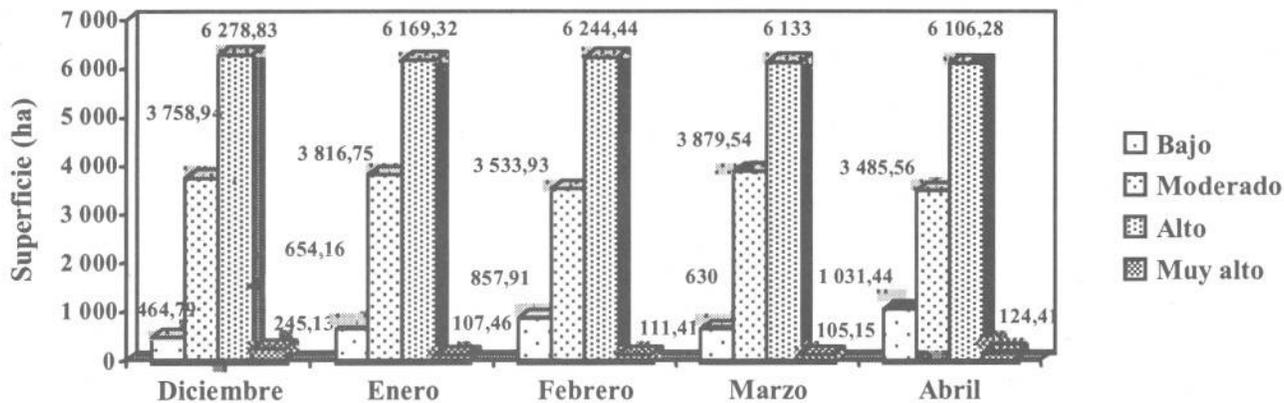


FIGURA 10. Tipo de riesgo total de incendios de vegetación por superficie por mes.

en la temporada seca del año, en particular para los sitios anteriormente mencionados (áreas de muy alto RI). A pesar de la gran cantidad de componentes físico-naturales incluidos en el modelo, el elemento humano es preponderante en el desarrollo de los incendios de vegetación, principalmente en el RI, por lo cual es importante mencionar la falta de conciencia de las instituciones que se desenvuelven en la zona y que son responsables de la mayor parte de los incendios al efectuarlos intencionalmente con fines de limpieza de terrenos, sin ningún tipo de control.

También las autoridades gubernamentales de la ciudad tienen una alta cuota de responsabilidad por no establecer mecanismos preventivos y represivos para el control del problema. Sin embargo, el ciudadano común es el principal responsable al mantener una actitud indolente ante un problema de semejante magnitud.

Los mapas generados con este trabajo pueden ser utilizados para la definición de las medidas de prevención y control, en particular el trazado y prediseño de cortafuegos (para lo cual es útil el mapa de RP) y la planificación de medidas de vigilancia y educación ambiental. Para la planificación de medidas de orden físico, como cortafuegos y torres de vigilancia, los resultados del modelo cartográfico se pueden apoyar en la interpretación de imágenes multi-temporales de sensores remotos, como imágenes de satélite y fotografías aéreas.

## SUMMARY

A GIS was used, especially their multi-criteria analysis tools, thus variables such as topography, land use, hydrography, roads and vegetation were digitized. Each one of these variables were processed to generate the criteria of the two main target layers chosen in the evaluation model: ignition risk and propagation risk. The ignition risk target layer is constituted by floors heights, park adjacent land use, accessibility and ignition sensitive vegetation criteria. The propagation risk target layer was evaluated by the slope, propagation sensitive vegetation, wind influences, floors heights, hydrography and firewalls criteria. These criteria were pondered using the Analytical Hierarchy Process and were introduced in the multi-criteria decision rule structured and incorporated into the GIS, generating the risk cartography for each target layer. Finally, the two target layers were integrated to generate the definitive vegetation fires risk cartography. It was found that exist proximately 139 ha with

very high risk, 6 186 ha with high risk, 3 695 ha with moderate risk and 728 ha with low risk of fire. At the same time, there were detected areas where it is necessary to apply some practices to prevent and to control this serious environmental problem that affects Maracay city and its surroundings population.

**Key Words:** Geographical Information System (GIS); ignition risk; propagation risk; multi-criteria evaluation; multi-objective evaluation; Henri Pittier National Park; cartographic modeling; vegetation fires.

## BIBLIOGRAFÍA

BARREDO, J. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multi-criterio en la evaluación del territorio. RA-MA. Madrid. España.

CHUVIECO, E. 1990. Aplicación de un SIG al riesgo de incendios forestales. Universidad de Alcalá de Henares. España.

CHUVIECO, E. and R. G. CONGALTON. 1989. Application of remote sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. Remote Sensing of environment. Vol 29. p. 147-159.

CHUVIECO, E. and J. SALAS. 1994. Geographic Information System for Wildland Fire Risk Modelling, International Journal of Wildland Fire.

DEFENSA CIVIL ARAGUA. 1998. Estadísticas de incendios forestales ocurridos durante la temporada 1997 – 1998 en el Parque Henri Pittier. Maracay. Venezuela.

EASTMAN, J., P. KYEM, J. TOLEDANO and W. JIM. 1993. GIS and Decision making. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Ginebra. Suiza.

EASTMAN, J. 1997. Idrisi for Windows. User's Guide. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. University Graduate School of Geography. Worcester, MA, EE.UU.

FERNÁNDEZ-BADILLO A. 1997. El Parque Nacional Henri Pittier. Tomo I Caracterización Físico-Ambiental. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía.

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA, NODULACIÓN Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TRES ESPECIES DE *SESBANIA* NATIVAS DE ZONAS INUNDABLES EN VENEZUELA

María Luisa Izaguirre\*

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue el estudio del crecimiento y nodulación de tres especies de *Sesbania* nativas de zonas inundadas en Venezuela. Las especies *S. punicea* (*Sp*) y *S. sericea* (*Ss*) fueron recolectadas en el estado Miranda y *S. exasperata* (*Se*) en el estado Aragua. Todos los individuos de cada especie recolectados en cada zona geográfica estaban nodulados en las raíces sumergidas, con los nódulos cubiertos por un aerénquima blanco. Todos los aislamientos de rizobios nativos eran de crecimiento rápido y no toleraron concentraciones de NaCl mayores al 1%. Los aislamientos de *Sp* acidificaron el medio de crecimiento, mientras que los de *Se* y *Ss* mostraron mayor variabilidad en la modificación del pH del medio. La mayoría de los aislamientos presentaron una alta eficiencia simbiótica en sus hospederos originales, y sólo los de *Sp* formaron nódulos efectivos en *Vigna unguiculata*. Las semillas de las tres especies germinaron después de escarificadas con ácido sulfúrico concentrado por 1h. Todas las plántulas crecidas en condiciones controladas de inundación usando soluciones nutritivas estériles sin nitrógeno alcanzaron una altura máxima de 12 cm y murieron al cabo de dos meses a pesar de estar efectivamente noduladas con sus respectivos aislamientos. En los ensayos de campo realizados en parcelas inundadas en el estado Portuguesa durante la época de lluvia, las plantas sobrepasaron el metro de altura con una eficiente nodulación. En la época de sequía, sin embargo, las plantas mostraron un menor desarrollo que se atribuyó a la reducción en el nivel del agua en las parcelas.

**Palabras Clave:** *Sesbania exasperata*; *Sesbania sericea*; *Sesbania punicea*; rizobios nativos.

---

1 Trabajo de investigación financiado por Fondo Nacional de la Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit). Proyecto S1-2000000616.

\* Investigadora. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Centro de Microbiología y Biología celular. Laboratorio de Biotecnología y Virología Vegetal. Apdo. 21827. Caracas 1020-A. Venezuela. E-mail: mizaguir@ivic.ve

RECIBIDO: septiembre 10, 2004.

## INTRODUCCIÓN

Un gran número de *Sesbania* nativas de Asia y de Africa, tales como *S. cannabina*, *S. sesban*, *S. speciosa*, *S. punctata*, *S. enerus*, *S. virgata* y *S. rostrata*, han sido reconocidas desde hace años como importantes componentes en los sistemas agrícolas y en la rotación de cultivos durante la época de lluvias (Mudhara *et al.*, 2003, Gathumbi *et al.*, 2004). Entre las principales bondades de estas especies se encuentran su rápido crecimiento, su tolerancia a condiciones de anoxia (Kolb *et al.*, 2002) y su capacidad de formar nódulos con cepas nativas de rizobios (Bala *et al.*, 2003). Todas estas condiciones convierten a estas especies en importantes componentes agrícolas que se usan preferentemente como abono verde en cultivos de arroz bajo inundación (Kalidurai y Kannaiyan, 1991; Khan *et al.*, 2004).

En Venezuela las especies *Sesbania sericea* (*Ss*), *S. punicea* (*Sp*) y *S. exasperata* (*Se*) son nativas de zonas sometidas a inundaciones estacionales. Las plantas de estas tres especies son de porte arbustivo y con un corto ciclo de crecimiento comprendido en el período de lluvia y presentan, además, una prolífica nodulación. En individuos colectados en el campo, los nódulos se localizaron principalmente en la zona cercana al cuello de la raíz y se encontraron embebidos en un aerénquima blanco que cubre todo el sistema radical sumergido en el agua de inundación. Estas tres especies, sin embargo, son consideradas sólo como malezas capaces de explotar áreas inundadas estacionalmente, sin que exista una cultura establecida sobre su uso potencial como abono verde entre los agricultores venezolanos. Tampoco hay datos disponibles sobre la distribución de estas especies, germinación, comportamiento agronómico y capacidad de nodulación así como sobre la biodiversidad de rizobios nativos con los cuales forman asociaciones simbióticas.

Los objetivos propuestos para esta investigación fueron: a) el estudio de la germinación y del crecimiento de plantas de las tres especies en condiciones controladas y en el campo. Estos estudios se llevaron a cabo a nivel de invernadero y en el campo, estos últimos específicamente en la Estación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Araure, estado Portuguesa el cual es considerado como una de las mayores zonas productora de arroz; y b) el aislamiento de rizobios nativos (ARN) a partir de nódulos, el análisis de sus características culturales así como del rango de especies hospederas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En distintas áreas del norte del país se detectó la presencia de poblaciones de *Sp* en la localidad de Río Negro (estado Miranda), de *Ss* en Charallave (estado Miranda), así como de *Se* en San Casimiro (estado Aragua), sin que se observara una superposición de especies entre las localidades visitadas. Las temperaturas anuales promedios de las localidades de los estados Miranda y Aragua fueron 32/28 °C (día/noche). Las propiedades químicas de estos suelos, caracterizados por contener altos porcentajes de limo y arcilla, así como el tamaño de las poblaciones nativas de rizobios en cada localidad se describen en el Cuadro 1.

**CUADRO 1.** Propiedades químicas de los suelos y número más probable de rizobios en las localidades de Río Negro, Charallave y San Casimiro.

Propiedades	Charallave	San Casimiro	Río Negro
pH	6,8	6,9	6,0
N (mg/g)	0,4	1,9	0,5
Mg (meq/100 g)	36,7	22,4	43,2
Ca (meq/100 g)	20,4	18,1	3,2
Na (meq/100 g)	47,2	7,9	25,2
K (meq/100 g)	6,4	2,9	3,3
Σ de bases	110,8	51,1	74,9
NPR ( $\log_{10}$ )	1,5	1,5	0,6

NPR: Número más probable de rizobios  $g^{-1}$  de suelo.

Salidas de campo llevadas a cabo en zonas sometidas a inundaciones estacionales del norte de Venezuela, durante las épocas de sequía y lluvia del año 2000, dieron como resultado la recolección de individuos de *Sp*, *Sesbania punicea* (Cav.) Benth, *Se*, *S. exasperata* (Kunth) y *Ss*, *S. sericea* (Willd.). Las vainas cerradas de color marrón oscuro con semillas se cosecharon en bolsas de papel debidamente identificadas. Simultáneamente se procedió a la recolección de los nódulos y su colocación en viales de vidrio sobre cristales de sílica gel como descante. En cada localidad se recolectaron muestras compuestas del horizonte superficial

de los suelos (0-30 cm) para su análisis químico siguiendo las metodologías descritas en Izaguirre-Mayoral *et al.* (1992a). La cuantificación del número más probable de rizobios (NPR) en los suelos se llevó a cabo con *Macropitillium atropurpureum* como especie hospedera (Sicardi de Mallorca e Izaguirre-Mayoral, 1994).

El ARN a partir de nódulos colectados de individuos de las tres especies de *Sesbania*, así como el análisis de las características culturales, tolerancia a salinidad y a distintos pH del medio de cultivo de los aislamientos se llevó a cabo siguiendo los protocolos descritos por Wolde-Meskel *et al.* (2004). La determinación de las fuentes de carbono que favorecieran el crecimiento de los aislamientos se realizó según Somasegaran y Hoben (1994).

En todos los casos, los ARN se dejaron crecer hasta 12 días en incubadoras a 30 °C, siendo el crecimiento y características físicas de las colonias observados diariamente. Los ARN fueron certificados en su hospedero original, y para su identificación en el banco de cepas de rizobios del laboratorio del IVIC se les colocó las iniciales de la especie de procedencia (*Sp*, *Ss* o *Se*) y el número correspondiente.

El rango de especies hospederas de los distintos aislamientos se determinó en plantas crecidas en botellas de Leonard conteniendo solución nutritiva sin nitrógeno bajo condiciones controladas de luz y temperatura, (Izaguirre-Mayoral *et al.*, 1992b). El color rojo interno de los nódulos formados en las distintas especies de leguminosas se usó como indicador de la efectividad de los mismos. La eficiencia simbiótica de los aislamientos se determinó en el hospedero original, mediante comparación de la biomasa aérea entre plantas de 1 mes de edad inoculadas y no-inoculadas, pero fertilizadas con 5 mM de  $\text{KNO}_3$ .

Los análisis de germinación se llevaron a cabo usando 1 000 semillas de cada una de las especies recolectadas en el campo y sin selección previa por tamaño, color o peso, las cuales se sometieron a los siguientes tratamientos: imbibición por 5 h en agua destilada (T1); incubación por 48 h con concentraciones crecientes de citoquinina (0,01-5 mM) a temperatura ambiente y luz natural (T2), temperatura ambiente y oscuridad (T3), a 4 °C en oscuridad (T4); sumergidas en agua caliente por 10, 30 y 60 min (T5); hervidas en agua por 2 y 5 min (T6); y sumergidas en ácido sulfúrico concentrado con agitación por 10, 20, 45, 60 y 120 min y luego neutralizadas por 1 h en 1M carbonato de calcio también con agitación (T7).

Las semillas tratadas se colocaron en número de 100 en cápsulas de Petri sobre un papel de filtro Whatman #1 humedecido con 10 ml de agua destilada estéril. Cada tratamiento fue analizado por triplicado. Las placas con las semillas se mantuvieron en un invernadero con luz y fotoperíodo natural y temperaturas medias de 28/22 °C (día/noche). El porcentaje de germinación de las semillas en cada tratamiento se determinó diariamente.

Las semillas pre-germinadas de *Sp*, *Ss* y *Se* se sembraron en bandejas de aluminio (15 cm de alto x 50 de largo x 25 cm de ancho) con un sustrato estéril de arena de sílice e inundadas hasta 10 cm con la solución nutritiva estéril sin nitrógeno. La inoculación con rizobios se realizó agregando a cada bandeja 10 ml de los ARN previamente seleccionadas para cada especie de *Sesbania* y crecidas en medio líquido (Wolde-Meskel *et al.*, 2004). Las bandejas con las semillas pre-germinadas e inoculadas con sus respectivas cepas de rizobios se colocaron en un invernadero con condiciones naturales de fotoperíodo y temperatura promedios de 28 °C/22 °C (día/noche), a una altitud de 1 500 m.s.n.m. Cada dos semanas se procedió al muestreo de 6 plantas por especie para la evaluación cualitativa del aspecto, color, tamaño, cantidad de nódulos y efectividad de los mismos.

El comportamiento agronómico de *Sp* y *Se* se analizó en la Estación del INIA, Araure (estado Portuguesa) con temperaturas promedio de 32/25 °C día/noche. Las plántulas de 1 semana de edad y sin inoculación previa con rizobios se transplantaron en parcelas que regularmente se usan para la siembra de arroz, pero, que estuvieron en barbecho por los últimos tres años y sin historia previa de siembras de leguminosas. En estas parcelas de 3 x 3 m, las plántulas se sembraron a una distancia de 15 cm entre planta y 20 cm entre hilera.

La siembra se llevó a cabo en la época de lluvia (mayo, 2001) y en la época de sequía (octubre, 2001). Los ensayos se realizaron por triplicado para cada especie de *Sesbania*. La inundación de las parcelas fue por bombeo de agua y lluvias estacionales. Las plantas fueron dejadas crecer sin ningún tipo de fertilización, cosechándose seis semanas después del transplante. La evaluación en este caso consistió en la determinación de la altura, tamaño y número de entrenudos así como del peso seco de la biomasa aérea y nodular en las dos épocas de siembra. Para ello la parte aérea y nódulos de cada planta se colocaron en una estufa ventilada a 80 °C hasta peso seco constante. Las dificultades encontradas

para extraer las raíces en su totalidad impidió la cuantificación de la biomasa radical total por planta y sólo permitió la determinación de la biomasa nodular localizada en la zona del cuello de la raíz y en raíces laterales cercanas a esta zona. Por problemas técnicos ocurridos durante el traslado de las plántulas, la especie *Ss* no pudo ser incluida en este ensayo.

Los resultados son un promedio de 40 plantas de *Sp* y 67 plantas de *Se*. Los datos para cada variable obtenidos en los ensayos de campo se analizaron estadísticamente usando el análisis de varianza (ANOVA) de una vía a  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La visita a los sitios estudiados durante la época de lluvia mostró que todos los individuos de las tres especies nativas se encontraban en estadios vegetativos con sus raíces totalmente inmersas en el agua de inundación y cubiertas por un aerénquima blanco dentro del cual se encontraron los nódulos. Estos nódulos se localizaron en el cuello de la raíz principal y raíces laterales cercanas a esta zona. Ninguna de las tres especies presentó la nodulación típica en el tallo descrita en la especie africana *S. rostrata* (Lievens *et al.*, 2004).

Estas observaciones estacionales reflejaron también que las tres especies nativas son anuales, que se reproducen exclusivamente por semillas y el desarrollo lo determina la existencia y profundidad del nivel freático en los sitios de crecimiento durante la época de lluvia. Observaciones así como información suministrada por los habitantes de las zonas geográficas visitadas establecen que el inicio del estadio de floración está asociado a la disminución del nivel de inundación del tallo durante la estación de sequía. La gran mayoría de los individuos en estadios finales de la fructificación estuvieron en zonas de fácil acceso con muy poca agua a nivel superficial o suelos completamente secos. Se observó que la mayoría de las raíces se encontraron dentro del horizonte superior del suelo (0-30 cm) y solo muy pocas quedaron expuestas en la superficie.

El ARN a partir de nódulos dio como resultado la obtención de siete ARN de *Sp*, siete de *Ss* y diez en *Se* (Cuadro 2). Todos los ARN presentaron un crecimiento rápido y ninguno creció en concentraciones de NaCl mayores al 1% en el medio de cultivo. Las colonias fueron de 2-3 mm de diámetro, circulares, semi-traslúcidas y mucilaginosas en su

mayoría. Todos los aislamientos *Sp* acidificaron el medio de crecimiento, mientras que los *Se* y *Ss* mostraron una mayor variabilidad en cuanto a la modificación del pH del medio. Con muy pocas excepciones, todos los ARN fueron capaces de utilizar las distintas fuentes de carbono para su crecimiento (Cuadro 3).

**CUADRO 2.** Origen y caracterización culturales de los aislamientos de rizobios obtenidos a partir de nódulos de *S. punicea* (*Sp*), *S. exasperata* (*Se*) y *S. sericea* (*Ss*) colectados en tres localidades en Venezuela.

Especie	Localidad	Aislamiento	Características
<i>S. punicea</i>	Río Negro	<i>Sp</i> 42	CR-Ac
		<i>Sp</i> 45	CR-Ac
		<i>Sp</i> 48	CR-Ac
		<i>Sp</i> 53	CR-Ac
		<i>Sp</i> 54	CR-Ac
		<i>Sp</i> 55	CR-Ac
		<i>Sp</i> 56	CR-Ac
<i>S. sericea</i>	Charallave	<i>Ss</i> 119	CR-N
		<i>Ss</i> 120	CR-N
		<i>Ss</i> 121	CR-Ac
		<i>Ss</i> 122	CR-N
		<i>Ss</i> 123	CR-Ac
		<i>Ss</i> 124	CR-AI
		<i>Ss</i> 125	CR-Ac
<i>S. exasperata</i>	San Casimiro	<i>Se</i> 126	CR-Ac
		<i>Se</i> 127	CR-N
		<i>Se</i> 128	CR-N
		<i>Se</i> 129	CR-AI
		<i>Se</i> 130	CR-N
		<i>Se</i> 131	CR-N
		<i>Se</i> 132	CR-N
		<i>Se</i> 140	CR-Ac
		<i>Se</i> 145	CR-N
		<i>Se</i> 149	CR-Ac

CR: Crecimiento rápido; Ac: Acidifica el medio; AI: alcaliniza el medio;  
N: No cambia el pH del medio.

**CUADRO 3.** Crecimiento de aislamientos nativos de rizobios en distintas fuentes de carbono.

Aislamiento	Glicerol	Sacarosa	Galactosa	Sorbitol	Xilosa	Dextrosa	Glucosa	Arabinosa	Lactosa
<i>Sp</i> 42	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 45	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 48	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 53	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 54	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 55	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sp</i> 56	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ss</i> 119	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ss</i> 120	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ss</i> 121	+	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Ss</i> 122	+	+	-	+	+	+	+	+	-
<i>Ss</i> 123	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ss</i> 124	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ss</i> 125	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 126	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 127	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 128	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 129	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 130	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 131	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Se</i> 132	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+: Crece en el medio; -: No crece en el medio; *Sp*: *S. punicea*; *Ss*: *S. sericea*; *Se*: *S. exasperata*.

El rango de especies hospederas de un grupo selecto de aislamientos se muestra en el Cuadro 4. Estos resultados preliminares mostraron que sólo *Sp42*, *Sp53* y *Sp56* formaron nódulos efectivos en *Vigna unguiculata*, mientras que los otros aislamientos formaron nódulos inefectivos en el resto de las especies que se analizaron. Ninguno de los ARN formaron nódulos en *Clitoria terneata*, *Medicago sativa*, *Stylosanthes guianensis* y *Glicine max*.

La mayoría de los aislamientos mostraron una alta eficiencia simbiótica en sus hospederos originales (Cuadro 5). Una biomasa aérea similar a la de plantas fertilizadas con nitrato se observó en plantas inoculadas con los aislamientos *Ss122*, *Ss123* y *Se126*.

El resultado de los ensayos de germinación mostraron que los tratamientos T1 a T6 no indujeron la germinación de ninguna de las semillas así tratadas, sólo el tratamiento T7 aplicado por 60 min indujo el 100% de germinación en semillas de las tres especies nativas. Estas semillas pre-germinadas, al transplantarse a condiciones controladas de inundación en bandejas de aluminio e inocularse con sus respectivos aislamientos mostraron un buen desarrollo durante las tres primeras semanas. En esta etapa de plántulas, todas las plantas presentaban un fuerte color verde en las hojas y una efectiva nodulación confirmada por el intenso color rojo interno de los nódulos. Con el paso de los días las plántulas detuvieron su crecimiento, alcanzando un máximo de 12 cm de altura al cabo de dos meses, así como la producción de nuevas hojas. Para este momento, las plantas comenzaron a mostrar síntomas severos de clorosis que culminó con la muerte de todas ellas a los dos meses de sembradas.

En el campo, por el contrario, las plántulas que se transplantaron en la época de lluvia crecieron normalmente (Cuadro 6), presentando una prolífica nodulación con los nódulos de color rojo en su interior embebidos en un aerénquima blanco. El crecimiento de las plantas, sin embargo, se afectó severamente durante la época de sequía debido a la reducción en 2/3 aproximadamente del nivel del agua en las parcelas. Entre las dos especies, *Se* fue la menos afectada por la reducción estacional de la tabla de agua.

Los resultados sugieren el uso preferencial de *Se* en el campo como donadoras de nitrógeno a los suelos o como abono verde en las siembras de arroz bajo inundación (Ladha *et al.*, 2000; Witt *et al.*, 2000; Yudavanshi, 2003), así como fuente de proteínas para la alimentación (Prakash *et al.*, 2001). Sin embargo, antes de proceder a recomendar

estas especies en el marco de una agricultura sustentable (Choudhury y Kennedy, 2004), es necesario realizar una serie de investigaciones que determinen las implicaciones ecológicas de esta agro-tecnología.

Publicaciones recientes indican que varias especies africanas de *Sesbania* triplican las emisiones de metano y  $N_2O$  medidas en siembras comerciales (Yang y Chang, 2001; Cubash *et al.*, 2001; Chikowo *et al.*, 2004). Por otra parte, existen ya evidencias de la capacidad invasora de estas especies en humedales y bordes de ríos (Hoffman y Mora, 1991), se sabe que son reservorios de virus (Lokesh *et al.*, 2001), y que contienen un alto tenor de factores antinutricionales y tóxicos para animales (Shqueir *et al.*, 1989; Woldemeskel *et al.*, 2001; Hossain y Becker, 2002).

Tanto los datos de más NPR como la abundante nodulación en individuos recolectados en condiciones naturales son indicadores de la ocurrencia y abundancia de rizobios nativos compatibles con cada una de las especies de *Sesbania* en cada una de las localidades. La excelente nodulación que se registró en las dos especies de *Sesbania* sembradas en INIA-Araure demuestran la co-existencia de rizobios en esa zona capaces de nodularlas eficientemente. Esto muestra, además, que la restringida distribución de cada una de las especies en Venezuela parece estar determinada por la presencia en cada zona de mecanismos biológicos de dispersión y escarificación de las semillas como se deduce de la germinación sólo con tratamientos de ácido concentrado (Sy *et al.*, 2001) e inundaciones estacionales, y no por la incapacidad de establecer asociaciones simbióticas con cepas nativas de rizobios.

Las características culturales de los ARN y su rango de especies hospederas, sugieren que *Sp* es nodulada por bacterias el género *Mesorhizobium*, mientras que *Se* y *Ss* podrían serlo por *Rhizobium* y *Mesorhizobium* como lo indica la mayor variabilidad cultural y rango de hospederos de estos aislamientos, así como publicaciones recientes (Frioni *et al.*, 2001; Odee *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003, Zurdo-Piñeiro *et al.*, 2004).

Por otra parte, la ausencia de nódulos en los tallos de las tres especies de *Sesbania* puede sugerir que en estas localidades estudiadas no existen poblaciones nativas de bacterias del género *Sinorhizobium* (Boivin *et al.*, 1997). A nivel de las plantas, los aislamientos de *Ss* mostraron, en promedio, la mayor eficiencia simbiótica, aunque la gran mayoría de los aislamientos promovieron satisfactoriamente el crecimiento de las especies hospederas originales.

**CUADRO 4.** Rango de especies hospederas de algunos aislamientos de rizobios nativos.

	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Clitoria terneata</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Stylosanthes guianensis</i>	<i>Glycine max</i>
Sp42	+(E)	+	+	-	-	-	-
Sp53	+(E)	+	+	-	-	-	-
Sp56	+(E)	+	+	-	-	-	-
Ss121	-	+	+	-	-	-	-
Ss122	-	+	+	-	-	-	-
Ss123	-	+	+	-	-	-	-
Se127	-	+	-	-	-	-	-
Se128	-	-	-	-	-	-	-
Se130	-	-	-	-	-	-	-
Se131	-	+	-	-	-	-	-
Se132	-	-	-	-	-	-	-

+: Forma nódulos; -\_ No forma nódulos; E: Nódulos efectivos.

**CUADRO 5.** Biomasa aérea de las tres especies de *Sesbania* inoculadas con sus respectivos aislamientos de rizobios nativos.

Aislamientos	Biomasa aéreas (mg peso seco pl <sup>-1</sup> )
	<i>S. punicea</i>
Sp42	26,0b
Sp45	26,2b
Sp48	29,0b
Sp53	28,9b
Sp54	16,6b
Sp55	19,8d
Sp56	26,6b
	<i>S. sericea</i>
Ss119	29,3b
Ss120	28,0b
Ss121	21,3b
Ss122	34,2a
Ss123	30,0a
Ss124	25,4c
Ss125	21,2c
	<i>S. exasperata</i>
Se126	30,4a
Se127	26,5b
Se128	26,7b
Se129	29,6b
Se130	22,8b
Se131	28,8b
Se132	28,8b
+KN <sub>3</sub>	34,4a

Número seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes a P<0,05.

**CUADRO 6.** Altura, número y largo de entrenudos, y peso seco de la biomasa aérea y nodular de dos especies de *Sesbania* crecidas en condiciones naturales durante la época de lluvia y sequía en la Estación del INIA-Araure.

Especies		Altura (cm pl <sup>-1</sup> )	Número de entrenudos pl <sup>-1</sup>	Largo de entrenudos (cm)	Biomasa aérea (g peso seco pl <sup>-1</sup> )	Biomasa nodular (g peso seco pl <sup>-1</sup> )
<i>S. punicea</i>	Lluvia	126b	20b	6b	13b	0,3a
	Sequía	25c	10c	2c	5d	0,1c
<i>S. exasperata</i>	Lluvia	180a	35a	6a	22a	0,2b
	Sequía	26c	10c	3c	12c	0,1c

Número en la misma columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes a  $P < 0,05$ .

Las tres especies de *Sesbania* demostraron también ser altamente sensibles a las condiciones de crecimiento tanto en condiciones controladas como en el campo. La mortalidad de las plántulas después de dos meses de la siembra bajo condiciones controladas-estériles a una altitud de 1 500 m.s.n.m., pudiera indicar un efecto de la altitud y relativamente bajas temperaturas nocturnas (22 °C) en los invernaderos del IVIC, ya que todas las especies descritas de *Sesbania* son exclusivamente de tierras bajas y calientes.

Otra posibilidad es que las tres especies nativas de *Sesbania* sean micorriza-dependientes para su desarrollo como es el caso de todas las demás especies descritas (Gemma *et al.*, 2002). Esto sugiere, entonces, que el éxito de las plántulas en el campo durante la época de lluvia se atribuye a la existencia en esos suelos de micorrizas nativas que favorecen el establecimiento de la simbiosis hongo arbuscular-leguminosa y su posterior crecimiento. Sin embargo, la presencia de endosimbiontes efectivos tampoco asegura totalmente el éxito de las plantas en condiciones de campo, ya que se pudo comprobar que el desarrollo de las plántulas se afectó negativamente por factores hídricos durante la época de sequía.

Las plantas, a pesar de estar efectivamente noduladas y probablemente micorrizadas, sólo alcanzaron la mitad o menos de la biomasa aérea medida en la época de lluvia. Estos análisis de crecimiento realizados durante la época de sequía mostraron la existencia de diferencias genotípicas entre las dos especies en cuanto a su respuesta a la disminución estacional del nivel del agua de inundación, siendo *Se* la especie menos afectada.

## CONCLUSIÓN

- La eficiente y prolífica nodulación que se observó en todas las especies de *Sesbania* nativas muestra la existencia de cepas efectivas de rizobios en las distintas localidades. Esta observación hace innecesaria la implementación de un protocolo para la inoculación masiva de las plántulas a nivel de vivero, y la introducción al país de cepas de rizobios foráneas para el establecimiento de la asociación simbiótica efectiva con estas especies. En el caso de que se utilizara suelo previamente esterilizado para el transplante de las plántulas se recomienda la inoculación de *Sp* con *Sp*42, *Sp*45, *Sp*48, *Sp*53, o *Sp*56; de *Ss* con *Ss*122 o *Ss* 123 y de *Se* con *Se*126. Estos aislamientos están almacenados en el banco de cepas de rizobios del Laboratorio de Biotecnología y Virología Vegetal del IVIC.

- Entre las dos especies analizadas a nivel de campo, *Se* mostró el mejor crecimiento y biomasa aérea en comparación con *Sp*, aún en la época de sequía.
- En paralelo, la acumulación en las parcelas de las raíces leñosas de estas plantas dificultaría el uso de maquinarias agrícolas en siembras inundadas de arroz. Datos obtenidos en futuras investigaciones determinarían la factibilidad de usar estas especies de *Sesbania* como componentes en los sistemas agrícolas en Venezuela en zonas inundables.

### AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial la asistencia técnica de la Dra. M.S de Mallorca (PAI jubilada del IVIC) en el estudio de los aislamientos nativos y del Sr. Saúl Flores (Centro de Ecología, IVIC) por los análisis de los suelos. De la misma manera agradezco la colaboración del Personal Científico, Técnico y Obrero de la Estación del INIA en Araure, y del Ing. Agr. Herman Nass (INIA-Yaritagua) durante la realización de los ensayos de campo. Un reconocimiento al Dr. Ernesto Medina (IVIC, Investigador responsable FONACIT-S1-2000000616) por su asesoría científica durante la ejecución del proyecto.

### SUMMARY

The aim of this work was to study the growth and nodulation of three *Sesbania* species native of seasonally flooded areas in Venezuela. The species *S. punicea* (*Sp*) and *S. sericea* (*Ss*) were collected in the Miranda State, while *S. exasperata* (*Se*) in the Aragua State. All individuals were nodulated with nodules located in submerged roots, which were like embedded in a white aerenchyma. Rhizobial isolation from nodules yielded seven isolates from *Sp*, seven from *Ss*, and ten from *Se*. The bulk of isolates were fast growers and did not tolerate NaCl concentrations above 1%. All isolates from *Sp* were acid producers, while a greater variability was observed within isolates from *Ss* and *Se*. All isolates shown a high symbiotic efficiency in their original hosts, but only those from *Sp* formed effective nodules in *Vigna unguiculata*. Seed germination of *Sesbania* occurred exclusively after chemical scarification with concentrated sulfuric acid for 1 h. However, seedlings did not survive in controlled-sterile conditions in spite of the effective nodulation with

their corresponding isolates. In the other hand, an optimal growth and prolific nodulation was observed in plants growing in flooded fields during the rainy season, although growth was hampered during the dry season, probably due to a marked decreases in the level of the water.

**Key Words:** *Sesbania exasperate*; *Sesbania sericea*; *Sesbania punicea*; native rhizobios.

## BIBLIOFRAFÍA

BALA, A., P. J. MURPHY, A. O. OSUNDE and K. E. GILLER, K. 2003. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. *Applied Soil Ecology* 22: 211-223.

BOIVIN, C., I. NDOYET, A. NDIAYE, P. de LAJUDIE and B. DREYFUS. 1997. The *Sesbania* root symbiont *Sinorhizobium saheli* and *S. Teranga* bv. *Sesbaniae* can form stem nodules on *Sesbania rostrata*, although they are less adapted to stem nodulation than *Azorhizobium caulinodans*. *Applied Environmental Microbiology* 63:1040-1047.

CHIKOWO, R., P. MAPFUMO, P. NYAMAGUFATA and K. E. GILLER. 2004. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. *Plant and Soil* 259:315-330.

CHOUDHURY, A. T. M. A. and I. R. KENNEDY. 2004. Prospects and potential for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production. *Biology and Fertility of Soils* 39:219-227.

CUBASH, C., G. A. MEEHL, G. J. BOER, R. J. STOUFFER, M. DIX, A. NODA, C. A SENIOR, S. RAPER and K. S YAP. 2001. Projections of future climate change. In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. y Jonhson, C.A. editors. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Report of the Intergovernmental panel on Climate Changes*. Cambridge University Press. Cambridge. p. 525-582.

FRIONI, L., A. RODRÍGUEZ and M. MEERHOFF. 2001. Differentiation of rhizobia isolated from native trees in Uruguay. *Applied Soil Ecology* 16:272-282.

GATHUMBI, S. M., G. CADISCH and K. E. GILLER. 2004. Improved follows: effects of species interaction on growth and productivity in monoculture and mixed stands. *Forest Ecology and Management* 187:267-280.

GEMMA, J. N., R. E. KOSKE and M. HABTE. 2002. Mycorrhizal dependency of some endemic and endangered Hawaiian plant species. *Agronomy Journal* 94:518-526.

HOFFMAN, J. H. and V. C. MORA. 1991. Biological control of *Sesbania punicea* (Fabaceae) in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37:157-173.

HOSSAIN, M. A. and K. BECKER. 2002. *In vitro* rumen degradability of crude protein in seed from four *Sesbania* spp. And the effect of treatments designed to reduce the level of antinutrients in the seeds. *Animal Feed Science and Technology* 95:49-62.

IZAGUIRRE-MAYORAL, M. L., O. CARBALLO, S. FLORES, M. S. MALLORCA and T. OROPEZA. 1992a. Quantitative analysis of the symbiotic N<sub>2</sub> fixation, non-structural carbohydrates and chlorophyll content in sixteen native legume species collected in different savanna sites. *Symbiosis* 12:293-312.

IZAGUIRRE-MAYORAL, M. L., O. CARBALLO, R. C. UZCÁTEGUI and M. MALLORCA 1992b. Physiological and biochemical aspects of symbiotic nitrogen fixation in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. var. Tuy) plants infected by cowpea mosaic virus. *Journal of Experimental Botany* 43:455-462.

KALIDURAI, M. and S. KANNAIYAN. 1991. *Sesbania* as a biofertilizer for rice. *Bioresource Technology* 36:141-145.

KHAN, A., D. CHANDRA, P. NANDA, S. SINGH and A. GHORAI. 2004. Integrated nutrient management for sustainable rice production. *Archives of Agronomy and Soil Sciences* 50:161-165.

KOLB, R. M., A. RAWYLER and R. BRAENDLE. 2002. Parameters affecting the early seedling development of four neotropical trees under oxygen deprivation. *Annals of Botany* 89:551-558.

LADHA, J. K., D. DAWE, T. S. VENTURA, U. SINGH and I. WATANABE. 2000. Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. *Soil Science Society American Journal* 64:1993-2001.

LIEVENS, S., S. GOORMACHTIG and MARCELLE HOLSTERS 2004. Nodule-enhanced protease inhibitor gene: emerging patterns of gene expression in nodule development on *Sesbania rostrata*. *Journal of Experimental Botany* 55:89-97.

LOKESH, G. L., K. GOPINATH, P. S. SATHESHKUMAR and H. S. SAVITHRI. 2001. Complete nucleotide sequence of *Sesbania* mosaic virus: a new virus species of the genus Sobemovirus. *Archives of Virology* 146:209-223.

MUDHARA, M., P. E. HIDELBRANDS and P. K. R. NAIR. 2003. Potential for adoption of *Sesbania sesban* improved fallows in Zimbabwe: A linear programming-based case study of small-scale farmer. *Agroforestry Systems* 59:307-315.

ODEE, D. W., K. HAUKKA, S. G. McINROY, J. I. SPRENT, J. M. SUTHERLAND and J. P. W. YOUNG 2002. Genetic and symbiotic characterization of rhizobia isolated from tree and herbaceous legumes grown in soils from ecologically diverse sites in Kenya. *Soil Biology and Biochemistry* 34:801-811.

PRAKASH, D., A. NIRANJAN, S. K. TEWARI and P. PUSHPANGADAN. 2001. Underutilized legumes: potential sources for low-cost protein. *International Journal of Food Science and Nutrition* 52:337-341.

SHQUEIR, A. A., D. L. BROWN and K. C. KLASING 1989. Canavanine content and toxicity of *Sesbania* leaf meal for growing chicks. *Animal feed Science and Technology* 25:137-147.

SY, A., M. GROUZIS and P. DAN THU. 2001. Seed germination of seven sahelian legume species. *Journal of Arid Environments* 49:875-882.

SICARDI de MALLORCA, M. and M. L. IZAGUIRRE-MAYORAL 1994. Seasonal dynamic, host range and symbiotic efficiency of native rhizobial populations in three soil horizons of four contrasting savanna sites. *Symbiosis* 17:43-63.

SOMASEGARAN, P. and H. J. HOBEN. 1994. Handbook for *Rhizobia*: methods in legume-*Rhizobium* technology. Springer, berlin, Heidelberg, New York.

SY, A., M. GROUZIS and P. DANTHU. 2001. Seed germination of seven sahelian legume species. Journal of Arid Environment 49:875-882.

WANG, E. T., F. L. KAN, Z. Y. TAN, I. TOLEDO, W. X. CHEN and E. MARTÍNEZ-ROMERO. 2003. Diverse *Mesorhizobium plurifarum* populations native to Mexican soils. Archives of Microbiology 180:444-454.

WITT, C., U. BIKER, C. C GALICIA, and J. C. G. OTTOW. 2000. Dynamics of soil microbial biomass and nitrogen availability in a flooded rice soil amended with different C and N sources. Biology and Fertility of Soils 30:520-528.

WOLDEMESKEL, M., A. TAGEGNE, N. N. UMUNNA, R. J. KAITHO and S. TAMMINGA. 2001. Effects of leucaena pallida and Sesbania sesban supplementation on testicular histology of tropical sheep and goats. Animal reproduction Science 67:253-265.

WOLDE-MESKEL, E., Z. TEREFWORK, K. LINDSTRÖM and A. FROSTEGÄRD. 2004. Rhizobia nodulating African *Acacia* spp. and *Sesbania sesban* trees in southern Ethiopian soils are metabolically and genomically diverse. Soil Biology and Biochemistry (en prensa).

YADUVANSHI, N. P. S. 2003. Substitution of inorganic fertilizers by organic manures and the effect on soil fertility in a rice-wheat rotation on reclaimed sodic soil in India. Journal of Agricultural Science 140:161-168.

YANG, S. S. and H. L. CHANG. 2001. Effect of green manure amendment and flooding on methane emission from paddy fields. Chemosphere-Global Change Science 3:41-49.

ZURDO-PIÑEIRO, E. VELÁZQUEZ, M. J. LORITE, G. BRELLES-MARIÑO, E. C. SCHRÖDER, E. BEDMAR, P. F. MATEOS et E. MARTÍNEZ-MOLINA. 2004. Identification of fast-growing rhizobia nodulating tropical legumes from Puerto Rico as *Rhizobium gallicum* and *Rhizobium tropici*. Systematic and Applied Microbiology 27:469-477.

## INTERFERENCIA DEL ARROZ ROJO Y VARIETADES DE ARROZ: CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS<sup>1</sup>

Aída Ortiz Domínguez\*

### RESUMEN

El arroz rojo (AR) es considerado una maleza de importancia económica en Venezuela debido a que disminuye los rendimientos paddy y molino de las variedades de arroz, *Oryza sativa* L., así como incrementa los costos de control de plagas. Este trabajo de investigación se planteó con el objetivo de generar información sobre las relaciones de interferencia entre el AR de glumas negras y arista larga sobre las variedades de arroz venezolanas ZETA 15 y FONAIAP 2000 en los años 2000 y 2001. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones con un arreglo de parcelas divididas, en el cual las parcelas principales fueron las variedades y las secundarias la duración de la interferencia: 0, 15, 30, 45, 60 y 130 días después de la emergencia (DDE). El análisis estadístico conjunto de los dos años no mostró homogeneidad de las varianzas por lo cual se muestran los resultados de cada año. Los resultados muestran que el AR mostró mayor altura de planta (AP), número de macollos  $m^{-2}$  (NM $m^{-2}$ ) y biomasa aérea  $m^{-2}$  (BA  $m^{-2}$ ) que las variedades de arroz, sin embargo, la producción de macollos de ZETA 15 fue mayor que la de FONAIAP 2000 por lo que pudiera decirse que esto le confiere mayor ventaja competitiva en las condiciones de interferencia con esta maleza. La interferencia con AR afectó negativamente las variables NM $m^{-2}$  y BA  $m^{-2}$  de las variedades de arroz evaluadas, no mostrando efecto en la AP de las variedades.

**Palabras Clave:** Arroz rojo; *Oryza sativa* L.; variedades de arroz; interferencia.

---

1 Trabajo de investigación financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela.

\* Profesora Agregado de la Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.  
E-mail: ortiza@agr.ucv.ve

RECIBIDO: marzo 12, 2004.

## INTRODUCCIÓN

Entre las malezas gramíneas de importancia económica en el cultivo del arroz, *Oryza sativa* L., en el país se encuentran la paja americana, *Echinochloa colona*, paja rugosa, *Isachemun rugosum*, arroz rojo (AR), *Oryza sativa* y *O. rufipogon* y cola de zorro, *Leptochloa virgata*, el control de AR encarecen aún más los costos de producción debido a que los herbicidas gramínicidas selectivos al arroz no lo controlan.

Las poblaciones de AR en Venezuela tienen una amplia variabilidad en las características morfofisiológicas tales como altura de planta (AP), presencia de aristas, conformación de la panícula, desgrane (Ortiz, 1997, Peña, 1999 y Gómez, 2002), latencia, biomasa aérea (BA), biomasa radical (BR), área foliar (ÁF), índices de crecimiento (ÍC), razón de área foliar (RÁF), índice de asimilación neta (ÍAN), longitud de raíces (LR) y polimorfismos isoenzimáticos (Ortiz, 1997).

El AR puede afectar al cultivo de arroz de dos maneras diferentes, el primero al disminuir el rendimiento paddy por la interferencia (Kwon *et al.*, 1991) y el segundo por reducir la calidad molinera del arroz y el valor comercial del producto (Dunand, 1988; Ortiz, 2000).

La interferencia se entiende como las interacciones negativas que se establecen entre las plantas de una comunidad, tales como competencia (alelospolía), alelopatía o parasitismo. Dado que es difícil distinguir cuál es la relación que se establece entre las plantas se usa el término global de interferencia (Fischer, 1998).

La competencia entre las plantas de una comunidad se presenta cuando la demanda colectiva por uno o más de los recursos que se requiere para el crecimiento de éstas sobrepasa la oferta que provee el medio ambiente. Los factores que regulan la expresión de competencia son los siguientes: Temperatura y luminosidad, fertilidad del suelo, disponibilidad de agua, densidad de plantas, composición botánica de la población de malezas y tipo de cultivares (Fischer, 1998).

Los factores ambientales, germinación y emergencia de las especies, tasas de crecimiento y otros componentes morfofisiológicos influyen en la interferencia (Harper, 1977; Radosevich *et al.*, 1997, aunado a los factores anteriormente mencionados la densidad, el arreglo espacial y la proporción de las especies juegan un papel importante en las relaciones de interferencia entre las planta de una comunidad (Roush *et al.*, 1989).

La capacidad competitiva del AR Pipón Desgranador con la variedad Oryzica 1 bajo condiciones de campo en Colombia, sembrando una proporción de 50% de cada uno, mostró que la maleza produjo más BA, por cuanto el número de hojas (NH), ÁF y duración del ÁF se incrementaron cuando la mala hierba estuvo en competencia con la variedad de arroz.

Así mismo, los componentes de rendimiento del AR no se modificaron con la competencia con Oryzica-1, lo que indica que la maleza invierte la producción de biomasa en tejido vegetativo quizás para competir mejor por lo cual no incrementa su relación fuente-sumidero. Estas características hacen al Pipón Desgranador una maleza agresiva y buena competidora (Montealegre y Clavijo, 1992).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la interferencia de la población de AR negro aristado sobre la AP, BA y número de macollos (NM) de las variedades FONAIAP 2000 y ZETA 15.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos ensayos en los años 2000 y 2001 en la Finca Tierra Rica, vía Mata Oscura, municipio Anzoátegui. Las semillas del AR fueron cosechadas en los lotes de arroz de la finca Tierra Rica. Se utilizó semilla de la Clase Fundación de ZETA 15 y FONAIAP 2000.

Con la finalidad de eliminar el AR presente en el banco de semillas del suelo se realizaron antes de sembrar los ensayos tres quemas con el herbicida no selectivo, Glifosato, a razón de 1,440 kg ha<sup>-1</sup> de i.a. En la aplicación del herbicida se usó una asperjadora de CO<sub>2</sub> flujo constante marca Flora calibrada a 150 l ha<sup>-1</sup>.

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones con un arreglo de parcelas divididas, donde, la parcela principal correspondió a las variedades y las parcelas secundarias a la duración de la interferencia a los 0, 15, 30, 45, 60 y 130 días después de la emergencia (DDE). El área de cada parcela fue de 3,1m<sup>2</sup> (Kwon *et al.*, 1992).

Dentro de cada parcela secundaria se sembró a chorro corrido 7 hilos con una densidad de siembra de 40 g parcela<sup>-1</sup> equivalente a 129 kg ha<sup>-1</sup> de cada variedad, separándolos a una distancia de 0,18 m. Entre las hileras

de la variedad se sembraron (el mismo día) 6 hilos de AR, con una densidad de siembra de 20 g parcela<sup>-1</sup> equivalente a 64,5 kg ha<sup>-1</sup>, intercalados con excepción del testigo (0 DDE). El número de plantas m<sup>-2</sup> de las variedades de arroz por parcela fue de 205 pl m<sup>-2</sup> y 105 pl m<sup>-2</sup> de AR en los tratamientos evaluados. Esta densidad de plantas de AR utilizada fue similar a la incidencia encontrada en la Finca Tierra Rica, evaluada antes de instalar el ensayo, usando una cuadrícula de (0,5 X 0,5) m y aplicando un muestreo diagonal doble a las melgas en 20% de los tanques del campo de sembrado de arroz (500 ha) y en la etapa de maduración del cultivo.

La fertilización del ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones sugeridas para el análisis de suelo de la melga y al patrón usado por el dueño de la finca. El abonamiento consistió en la aplicación de la fórmula 120 kg nitrógeno-90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- 90 kg K<sub>2</sub>O. El abono base se aplicó a los 19 DDE de las plantas con todo el fósforo y potasio, adicionalmente con el 33% del nitrógeno. Posteriormente, se aplicó el primer reabono con el 33% de la recomendación de nitrógeno a los 35 DDE (macollamiento) y el segundo reabono con el resto de nitrógeno a los 50 DDE (antes de la iniciación de panícula).

El control de las otras malezas presentes en el ensayo, tales como *Fimbristylis littoralis*, *Heteranthera limosa* y *Ammania latifolia* se realizó en postemergencia temprana (12 DDE), con Sirius (Pyrazosulfuron-etil) a razón de 250 g ha<sup>-1</sup>, los escapes de malas hierbas fueron eliminados manualmente. El *Spodoptera frugiperda* (Smith) se controló con una aplicación de Karate (Lambda cihalotrina) a razón de 300 ml ha<sup>-1</sup>. El chinche vaneador (*Oebalus* sp.), fue manejado con aplicaciones de Difos (Dimetoato) a razón de 1 l ha<sup>-1</sup>. El hongo, *Bipolaris oryzae*, fue manejado con una aplicación de Benlate (Benomilo) a razón de 0,5 kg ha<sup>-1</sup>. El ensayo se regó por gravedad con el mismo patrón usado en la finca (riegos semanales), manteniendo una lámina de agua después de la etapa de macollamiento de las variedades. El agua se retiró del ensayo en la etapa de grano pastoso duro.

La AP hasta el ápice de la hoja más larga, se midió desde la base de cada planta hasta la hoja más larga durante cada período de interferencia en 20 plantas seleccionadas aleatoriamente en la unidad experimental.

Números de macollos por metro cuadrado (NMm<sup>-2</sup>), se cortaron las planta de arroz encontradas en un marco de muestreo de (0,5 X 0,5 m), contándose el NM los cuales se llevaron a 1 m<sup>2</sup>.

En cuanto a la BA, las plantas cortada anteriormente fueron colocadas en bolsas de papel, metidas en estufa por 70 h a 70 °C, posteriormente se pesaron en una balanza electrónica y la biomasa se expresó g m<sup>-2</sup>.

Se realizó un análisis de varianza y la prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5% para cada año debido a que para el análisis combinado las varianzas de cada año no fueron homogéneas.

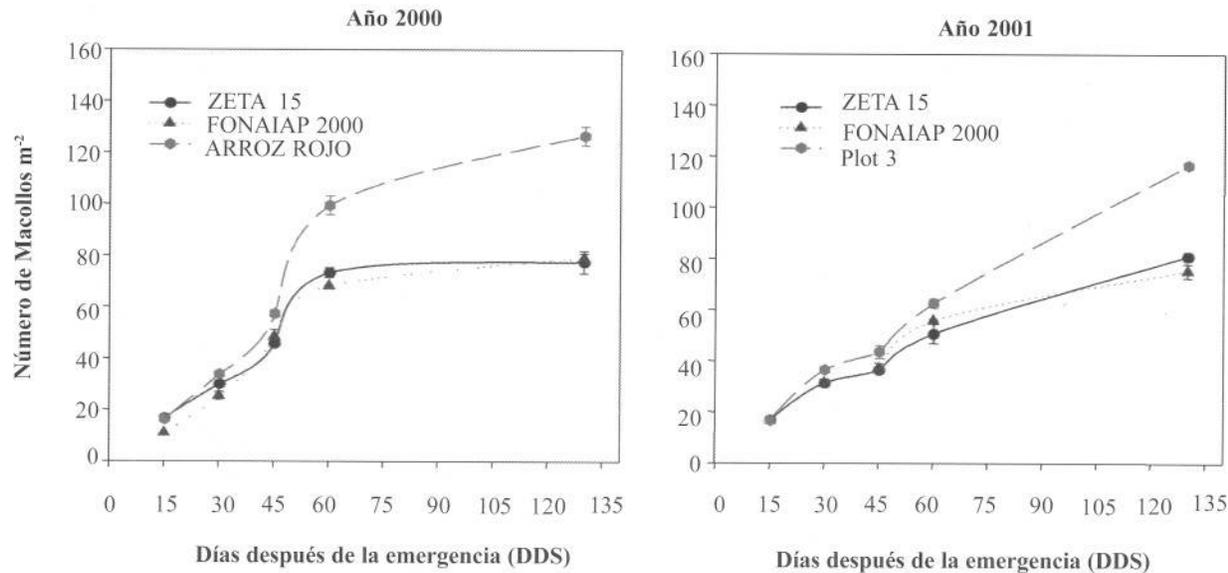
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra que la AP del AR fue superior a las variedades a partir de los 45 DDE en los dos años de evaluación. Así mismo, las variedades mostraron semejantes AP en las diferentes duraciones de interferencia evaluados. Las variedades de arroz no modificaron tanto su AP con la máxima interferencia (Figura 2). Sin embargo, la AP del AR fue menor en el año 2001, pero, las variedades mostraron similar AP sen ambos ciclos (Figura 3).

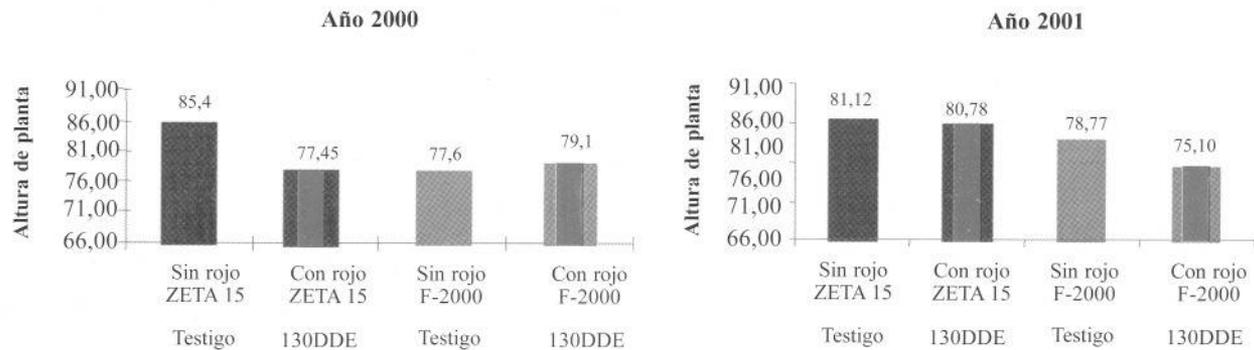
Estos resultados coinciden con los encontrados por Ortiz (1997), en el cual las 5 poblaciones de AR evaluadas fueron más altos que las variedades Cimarrón, FONAIAP 1, Araure 4, Araure 1 y ZETA 15, bajo condiciones de no-competencia. Igualmente, Kwon *et al.* (1992), encontraron que el AR fue de mayor AP que las variedades Lemont y Newbonnet y que la diferencia de AP se observó a los 60 DDE. Así mismo, los autores mencionados indicaron que la mayor AP del AR lo hace más competitivo por luz que las variedades y por lo tanto su control debe realizarse antes de que sean más altos que la variedad para evitar pérdidas en el rendimiento.

En la Figura 2 se observa que al comparar el testigo con el tratamiento de máxima interferencia (130 d), la AP disminuyó en la variedad ZETA 15 cuando estuvo bajo interferencia con AR en el año 2000 y fue semejante en el año 2001, mientras que en el cultivar FONAIAP 2000 aumentó su AP en el primer año de evaluación y disminuyó en el segundo.

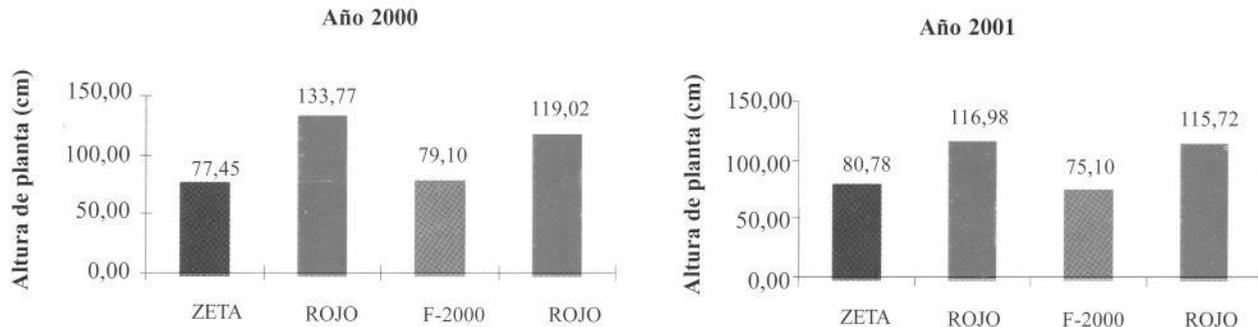
La Figura 3 muestra que la maleza fue 56,3 y 36,2 cm más alta que ZETA 15 y 39,91 y 40,62 cm que FONAIAP 2000 en los años 2000 y 2001, respectivamente, bajo condiciones de máxima interferencia (135 d).



**FIGURA 1.** Evolución de la altura de planta del arroz rojo de glumas color negro aristado y las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 bajo condiciones de interferencia.



**FIGURA 2.** Comparación de la altura de planta de las variedades de arroz entre el tratamiento testigo y 130 DDE de interferencia.



**FIGURA 3.** Altura de planta de las variedades de arroz (ZETA 15 y FONAIAP 2000) y el arroz rojo de glumas color negro aristado en el tratamiento de máxima interferencia (130 días).

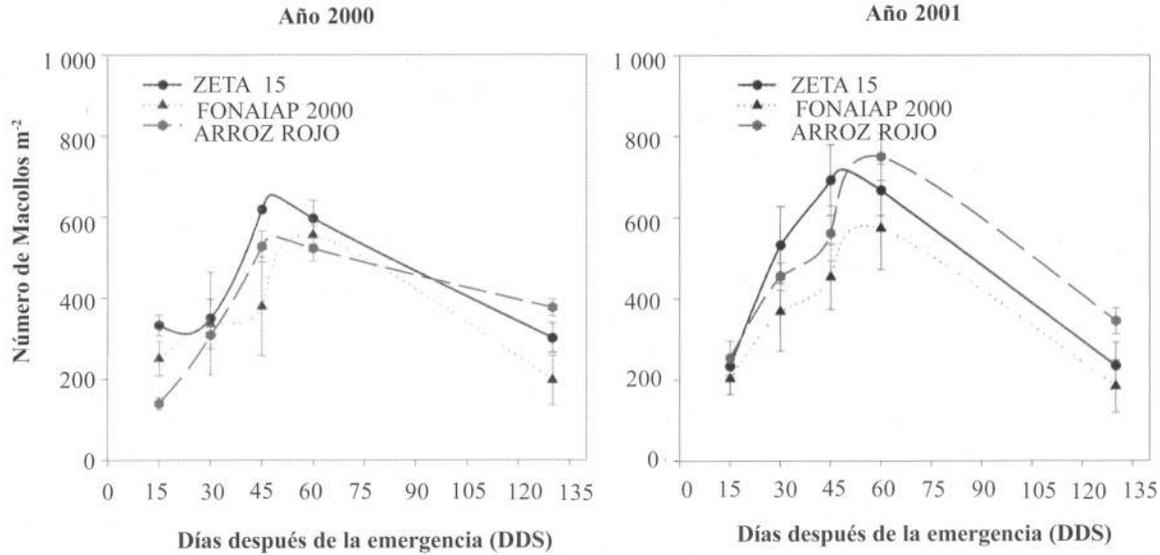
El comportamiento del NM fue diferente en los años de evaluación, en el primero la maleza y ZETA 15 alcanzaron el máximo macollamiento a los 45 DDE y FONAIAP 2000 a los 60 DDE, a su vez ZETA 15 mostró más macollos a los 45 y 60 DDE, sin embargo, en el segundo el máximo macollamiento del ZETA 15 fue a los 45 DDE y del AR y FONAIAP 2000 a los 60 DDE. La curva de evolución del macollamiento muestra que hubo un ascenso hasta el máximo macollamiento y luego un descenso hasta el final del ciclo que puede ser atribuido a la senescencia natural de estas plantas. Así mismo, se observa que al final del ciclo la maleza mostró más macollos que las variedades, y entre estas ZETA 15 conservó mayor NM (Figura 4).

Resultados similares encontraron Kwon *et al.* (1992), ellos observaron mayor NM en el AR que en las variedades Lemont y Newbonnet, ocurriendo el máximo macollamiento a los 40 DDE para todos los genotipos evaluados.

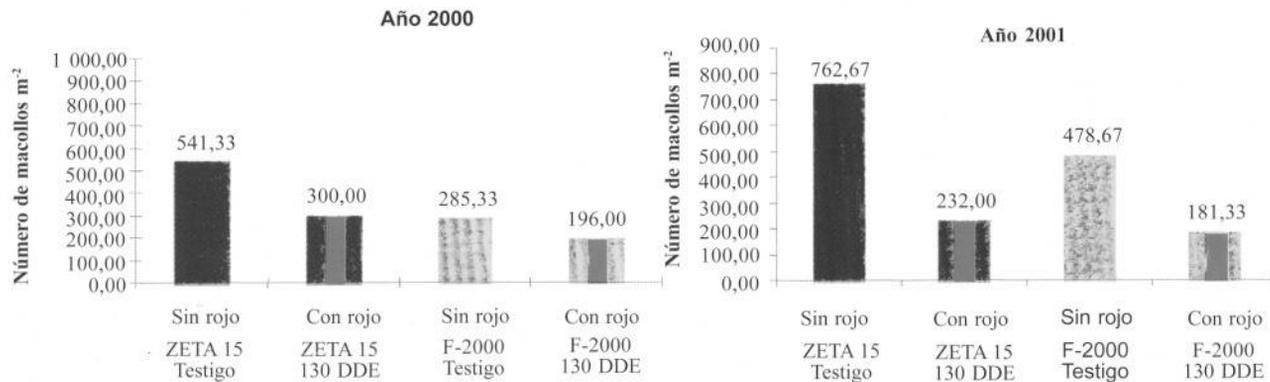
Al comparar el NM de la parcela testigo con la del tratamiento de 130 DDE con interferencia (Figura 5), se encontró que ZETA 15 redujo el  $\text{NMm}^{-2}$  en 44,5 y 69% y FONAIAP 2000 en 31,29 y 62% en los años 2000 y 2001, respectivamente. Estos resultados evidencian el efecto de la interferencia del AR sobre las variedades de arroz en el  $\text{NMm}^{-2}$ , en los cuales se desarrollaran las panículas uno de los más importantes componentes de rendimiento del cultivo del arroz.

Cuando se comparó el  $\text{NMm}^{-2}$  de las variedades y el AR en el tratamiento de máxima interferencia (Figura 6), se encontró que la maleza tuvo 10 y 28% más macollos que ZETA 15 y 52 y 49% que FONAIAP 2000 en los años 2000 y 2001, respectivamente. Estos resultados indican que ZETA 15 fue más competitiva que FONAIAP 2000 con el AR, esto quizás pueda ser explicado ya que ZETA 15 tiene mayor capacidad de ahijamiento que FONAIAP 2000.

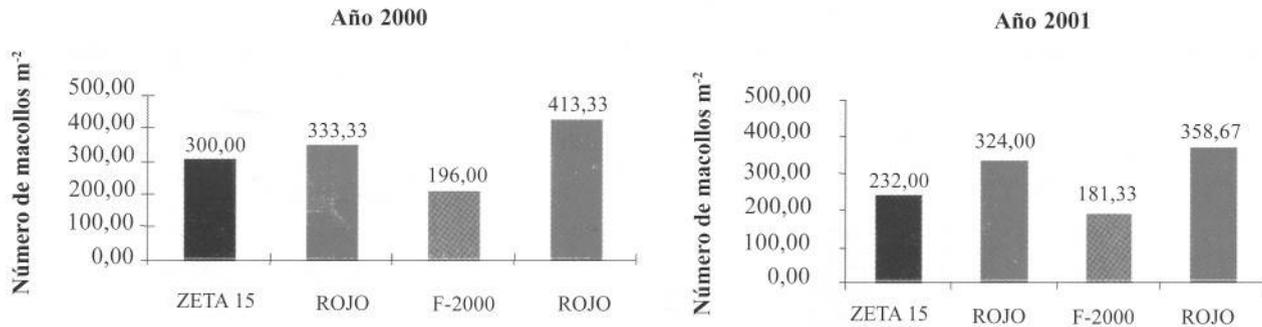
Ortiz (1997), encontró que ZETA 15 produjo más macollos por planta bajo condiciones de no-competencia que las demás variedades evaluadas y a su vez similar ahijamiento que el AR Barinas, Calabozo y Portuguesa 2, mientras que FONAIAP 1, exhibió menor NM.



**FIGURA 4.** Evolución del número de macollos  $m^{-2}$  del arroz rojo de glumas color negro aristado y las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 bajo condiciones de interferencia.



**FIGURA 5.** Comparación del número de macollos  $m^{-2}$  de las variedades de arroz entre el tratamiento de testigo y 130 DDE de interferencia.



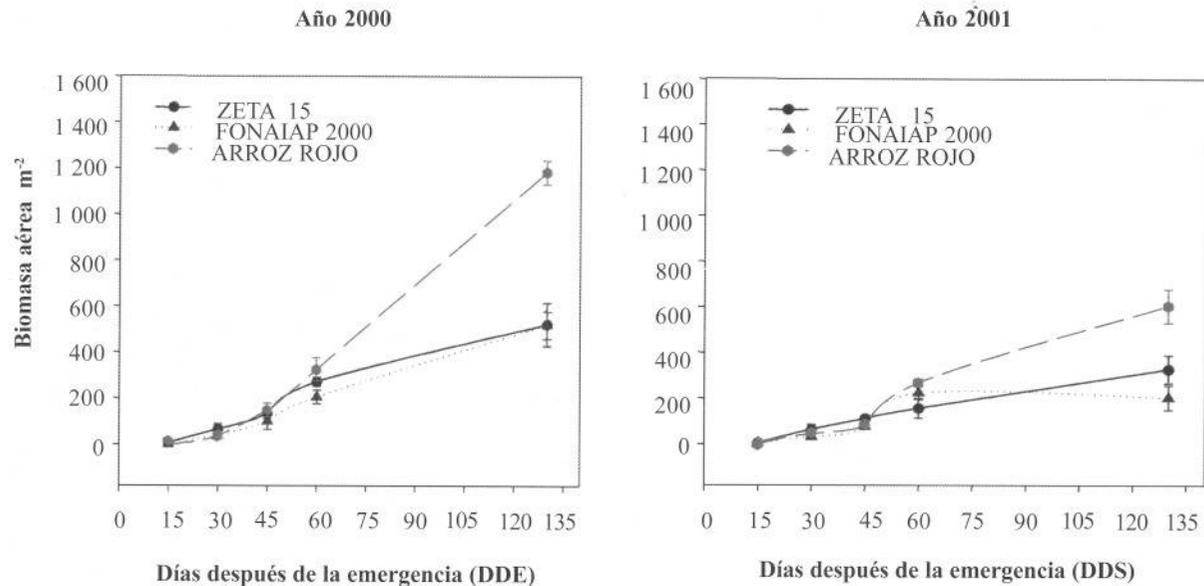
**FIGURA 6.** Número de macollos m<sup>-2</sup> las variedades de arroz (ZETA 15 y FONAIAP 2000) y el arroz rojo de glumas color negro aristado en el tratamiento de máxima interferencia (130 días).

El AR mostró mayor BA que las variedades a partir de los 60 DDE en ambos años de evaluación. Esta variable mostró diferencias entre años en el comportamiento de las variedades, en tal sentido de que en el primero ZETA 15 alcanzó mayor BA a los 60 DDE y en el segundo FONAIAP 2000 se atribuyó más materia seca en el mismo período, al final del ciclo en el primer año no hubo diferencias entre las dos variedades en el primer año, sin embargo, en el segundo ZETA 15 mostró mayor BA que FONAIAP 2000. De manera general se observó mayor biomasa de la maleza y variedades en el año 2000 que el 2001 (Figura 7).

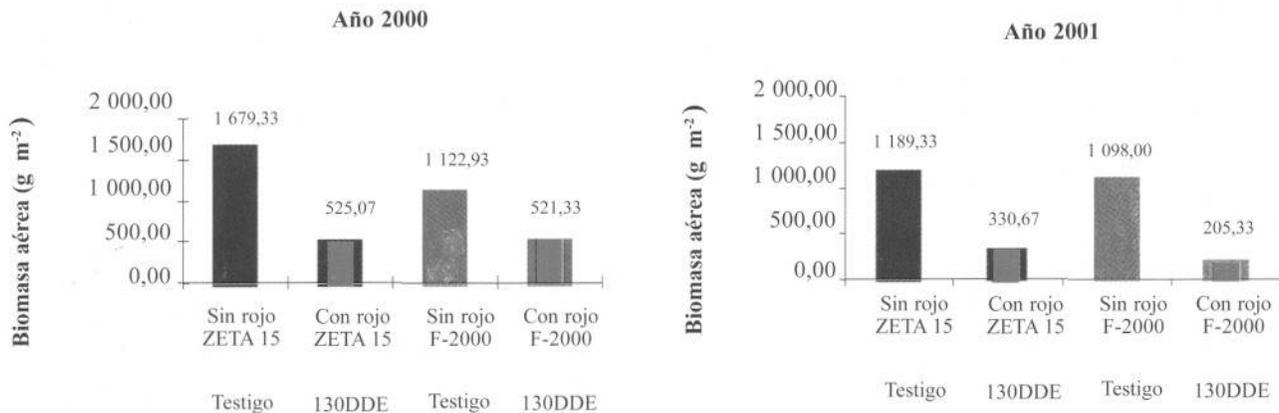
Cuando se comparó el tratamiento testigo (sin rojo) con la biomasa de las variedades en el tratamiento testigo y 130 DDE (Figura 8), se encontró una reducción de 68,73 y 72,2% en ZETA 15 y 53,57 y 81,00% en FONAIAP 2000, en los años 2000 y 2001, respectivamente. Estos resultados muestran el efecto negativo que produce la interferencia del AR en la BA de las variedades.

La maleza mostró 58,39 y 45,5% más BA que ZETA 15 y 53,13 y 66,45% que FONAIAP 2000, bajo el tratamiento de máxima interferencia, en los años 2000 y 2001, respectivamente (Figura 9). La reducción de BA en las variedades pudiera estar relacionada con el menor  $NMm^{-2}$ , como efecto de la interferencia por luz ocasionada por la maleza (sombra), así mismo, pudiera también estar involucrado algún efecto alelopático del AR sobre las variedades. Si las plantas de arroz de las variedades disminuyeron el macollamiento y la AP se mantuvo similar al tratamiento testigo entonces obviamente que la disminución de la BA estuvo relacionada con la cantidad de macollos producidos.

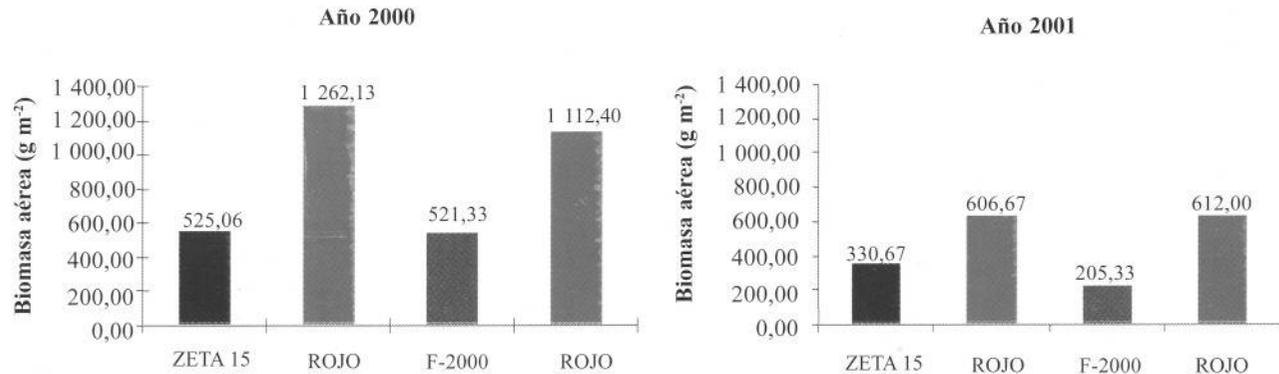
Resultados similares obtuvo Ortiz (1997), bajo condiciones de no-competencia en invernadero, encontrando que la biomasa de las poblaciones de AR fue mayor que las de las variedades a partir de los 56 DDE. Sin embargo, en un ensayo de interferencia conducido por Kwon Smith *et al.*, 1992, en Arkansas (USA), se encontró que el AR mostró su máximo peso seco a los 80 DDE y las variedades Lemont y Newbonnet a los 100 DDE, así mismo el AR fue superior en peso a las variedades hasta esa fecha y posteriormente redujo drásticamente su BA. Estos autores, atribuyeron la reducción de peso del AR a la pérdida por desgrane de las semillas del AR en campo que ocurrió antes de los 100 DDE.



**FIGURA 7.** Evolución de la biomasa aérea del arroz rojo de glumas color negro aristado y las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000 bajo condiciones de interferencia.



**FIGURA 8.** Comparación de la biomasa aérea m<sup>-2</sup> de las variedades de arroz entre el tratamiento de testigo y 130 DDE de interferencia.



**FIGURA 9.** Biomasa aérea de las variedades de arroz (ZETA 15 y FONAIAP 2000) y el arroz rojo de glumas color negro aristado en el tratamiento de máxima interferencia (130 días).

## CONCLUSIONES

- La interferencia del AR afectó negativamente el  $NMm^{-2}$  y la BA de las variedades de arroz ZETA 15 y FONAIAP 2000.
- La AP de las variedades de arroz no presentó variaciones debida a la interferencia con AR.
- El AR fue más alto y con mayor BA que las variedades de arroz evaluadas.
- La maleza exhibió mayor NM que FONAIAP 2000 y en menor cuantía con ZETA 15, esto podría indicar que la segunda variedad fue más competitiva que la primera.
- Las características morfofisiológicas AP,  $NMm^{-2}$ , macollamiento y BA le confirieron al AR mayor ventaja competitiva sobre ZETA 15 y FONAIAP 2000.

## AGRADECIMIENTO

La autora quiere expresar su agradecimiento al productor de arroz Luis Badiali por su valiosa colaboración para la conducción de los ensayos en la Finca Tierra Rica, estado Cojedes.

## SUMMARY

In Venezuela the red rice weed not only decrease the yield and milling of cultivated rice, but also, due to its control, increase the cost of production of rice. In this paper we evaluated the relationship between red rice of black glumes and long awn on yield and quality of ZETA 15 and FONAIAP 2000 which are normally sowed in Venezuela, during two consecutive years (2000 and 2001), in a randomized block with split-plot design, where the varieties ZETA 15 and FONAIAP 2000 were the main effect, and the length of the interference (0, 15, 30, 45, 60, and 130 days) were the secondary factor. There were three replicates for each treatment. Due that there was not homogeneity of variance between years, each year was analyzed individually. The height, the number tiller  $m^{-2}$  and shoot biomass higher than ZETA 15 and FONAIAP 2000.

The number tiller  $m^{-2}$  of ZETA 15 was higher than that of FONAIAP 2000, which could allow ZETA 15 to face the negative effect of red rice interference better than FONAIAP 2000. The interference of red rice decreased the number of tiller  $m^{-2}$ , and aerial biomass of ZETA 15 and FONAIAP 2000, but there was not effect on the high of these varieties.

**Key Words:** Red rice; *Oryza sativa* L.; rice cultivars; interference.

## BIBLIOGRAFÍA

DUNAND, R. 1988. Red Rice: Its impact on grain quality and its cultural control. A review of research in Louisiana. 1960-1982. Bulletin N° 792. Louisiana Agricultural Experiment Station. 44 p.

FISCHER, A. 1998. Manejo integrado de malezas del arroz. **In:** Manejo integrado de plagas del arroz. CIAT-FLAR-Fundación Polar. 31-49 p.

GÓMEZ, O. 2002. Caracterización morfofisiológica y quimiotaxonómica de las especies del complejo de malezas arroz rojo de las principales zonas productoras de arroz en Venezuela. Trabajo de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 121 p.

HARPER, J. 1977. Populations biology of plants. Scholl of plan biology. University College of North Wales, Bangor. Academic Press. 83-110 p.

KWON, S., R. SMITH and R. TALBERT. 1991. Interference durations of red rice (*Oryza sativa*) in Rice (*O. sativa*). Weed Science. 39:169-174.

KWON, S., R. SMITH and R. Talbert. 1992. Comparative growth and development of red rice (*Oryza sativa* L.) and rice (*O. sativa* L.). Weed Science. 40:57-62.

MONTEALEGRE, F. y J. CLAVIJO. 1992. Tipos de arroz rojo en Colombia. Federación Nacional de Arroceros. Revista Arroz 40 (375): 16-23.

ORTIZ, A. 1997. Caracterización morfológica y quimiotaxonómica de ecotipos de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela. Tesis de Postgrado. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. 117 p.

ORTIZ, A. 2000. Efecto de algunos ecotipos de arroz rojo sobre el rendimiento en molino y transparencia de los cultivares de arroz FONAIAP 1, Cimarrón y ZETA 15. *Agronomía Trop.* 50(4):633-643.

PEÑA, J. 1999. Caracterización morfológica y taxonómica de las especies involucradas en el complejo de malezas denominado arroz rojo (*Oryza-Poaceae*) de las zonas arroceras de Venezuela. Tesis de grado. Maracay, Ven. Universidad Central. Facultad de Agronomía. 90 p.

RADOSEVICH, S., J. HOLT and C. GHERSA. 1997. *Weed ecology, implications for vegetation management.* John Wiley and Sons, INC. 265 p.

ROUSH, M., S. RADOSEVICH, R. WAGNER, B. MAXWELL and T. PETERSEN. 1989. A comparison of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments. *Weed Sci.* 37:268-275.

## UTILIZACIÓN DE GENERACIONES AVANZADAS DE HÍBRIDOS SIMPLES COMO PROGENITORES DE HÍBRIDOS DOBLES DE MAÍZ<sup>1</sup>

Tatiana Pugh\* y Alfredo Layrisse\*

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comparar híbridos dobles convencionales (HDC) de maíz, *Zea mays* L., obtenidos mediante el cruzamiento de dos híbridos simples (HS), con los producidos al cruzar las generaciones avanzadas (GA; F<sub>2</sub>) de esos HS. Los híbridos dobles (HD) probados fueron PB-8, FM-6, HIMECA 92 e HIMECA experimental 395. Los ocho HS, las ocho GA (F<sub>2</sub>), los cuatro HDC y los cuatro híbridos dobles no convencionales (HDA) fueron evaluados en tres localidades del estado Aragua (Venezuela) en 1994. En 1995 se probaron sólo los cuatro HDC y los cuatro HDA en dos localidades del mismo estado. Las características medidas fueron altura de planta, altura a la mazorca, longitud y diámetro de mazorca y rendimiento. Para el rendimiento hubo siempre diferencias altamente significativas entre localidades, pero no así para la interacción genotipo x ambiente. El contraste entre HS y GA (F<sub>2</sub>) fue siempre altamente significativo (1994), pero en ningún caso hubo diferencias estadísticas entre HDC y HDA (1994 y 1995). Con estos resultados podría recomendarse el uso de GA (F<sub>2</sub>) como progenitores de HD de maíz, siempre y cuando se hayan tomado las medidas necesarias para que el avance ocurra en ausencia de fuerzas modificadoras de la frecuencia génica.

**Palabras Clave:** *Zea mays* L.; híbridos simples; híbridos dobles.

### INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., constituye el cereal de mayor producción y más amplio uso en la dieta diaria del venezolano. Su cultivo en Venezuela se basa fundamentalmente en la siembra de híbridos dobles (HD), obtenidos a partir de cuatro líneas endocriadas mediante el esquema (AxB) x (CxD), lo cual supone que previamente deben obtenerse por separado los híbridos simples (HS) A x B y C x D para luego generar el HD. Este último paso

---

1 Trabajo financiado por Fondo Nacional de la Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit).

\* Profesora y Profesor jubilado, respectivamente. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Genética. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.  
E-mail: alayrisse@icnet.com.ve

RECIBIDO: mayo 28, 2003.

es llevado a cabo por agricultores cooperadores de las industrias semilleras, pero los HS son obtenidos por las empresas públicas o privadas propietarias de las líneas progenitoras. Este proceso, que incluye el mantenimiento de las líneas parentales, requiere de una considerable inversión de tiempo, recursos financieros, trabajo y supervisión, por lo que se justifica la búsqueda de procedimientos alternativos que faciliten y abaraten la producción de HD.

De acuerdo a la ley de Hardy-Weinberg, las clases genotípicas y frecuencias alélicas de una población alógama suficientemente grande serán siempre las mismas, mientras no existan fuerzas modificadoras como mutación, selección, migración y deriva genética (Falconer, 1989; Hallauer y Miranda, 1988). Esto implicaría que las frecuencias génicas de un HS y de su generación avanzada (GA) serían las mismas, si ese avance se realiza con poblaciones suficientemente grandes para evitar el arrastre genético fortuito, si se evita la contaminación con polen extraño y cualquier tipo de selección y se ignora el efecto de las mutaciones, por lo que se supondría que la semilla de un HD de maíz sería igual si se obtiene mediante el cruzamiento entre dos HS o entre las GA de éstos.

La alternativa de utilizar las generaciones F2 o F3 de los HS como progenitores tendría innumerables ventajas, como una mayor economía y facilidad en la producción de los padres del HD, una mayor disponibilidad de semilla de estos parentales al no cosechar sobre líneas de bajo rendimiento, y la garantía de existencia de suficiente polen durante la floración. Además no tendrían que obtenerse los HS año tras año.

Basados en estos supuestos se ha llevado a cabo este trabajo con el objetivo de comparar el comportamiento de HD de maíz obtenidos por el cruzamiento de dos HS con los producidos mediante el cruce entre sus GA (F2).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Obtención de las generaciones avanzadas (GA) de los híbridos simples (HS)**

Los cultivares de maíz utilizados fueron los HD siguientes: PB-8 y FM-6, desarrollados por el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias

(FONAIAP), ahora Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA); HIMECA 92 e HIMECA experimental 395 de la empresa Híbridos Mejorados C. A. (HIMECA).

Para la obtención de las GA (F2) de los 8 HS, progenitores de los 4 HD antes citados, se establecieron bloques de cruzamiento en el campo experimental de HIMECA en Magdaleno, estado Aragua, constituidos por parcelas de 15 hileras de 6 m de largo para cada genotipo, con una densidad de 4 plantas por metro lineal. Los cruces para obtener la F2 de cada HS se llevaron a cabo manualmente, simulando panmixia mediante mezcla de polen e involucrando para ello el mayor número de plantas ( $n > 200$ ).

#### **Obtención de los 4 híbridos dobles convencionales (HDC) y de los 4 híbridos dobles no convencionales (HDA)**

Se establecieron bloques de cruzamiento con características similares a las descritas anteriormente, con los 8 HS, progenitores de los 4 HDC, y las 8 GA, progenitores de los 4 HDA. Los cruces entre los progenitores de cada tipo de híbrido fueron realizados mediante las técnicas tradicionales del maíz, con un número de cruzamientos suficientemente grande ( $n > 200$ ), evitando la selección, y haciendo que cada individuo contribuyera con sus gametas una sola vez, como progenitor femenino o masculino, de tal forma de evitar la actuación de las fuerzas modificadoras de las frecuencias génicas.

#### **Evaluación de los 2 tipos de híbridos dobles (HD) y de sus progenitores**

Ciclo 1994.

Los 24 genotipos constituidos por los 8 HS, las 8 GA, los 4 HDC, y los 4 HDA, fueron evaluados en la Estación Experimental INIA ( Santa Cruz), Campo Experimental CENIAP (Maracay) y Campo Experimental del Instituto de Genética de la Facultad de Agronomía, UCV (Maracay), todos en el estado Aragua. Las siembras fueron realizadas el 14 de junio, 5 de julio y 22 de junio de 1994, respectivamente.

El diseño experimental consistió en un arreglo en bloques al azar con 3 repeticiones y 24 tratamientos. Cada parcela experimental con 2 hileras de 8 m de largo separadas a 0,8 m y con 4 plantas por metro lineal.

Las características medidas fueron las siguientes:

1. Rendimiento en kg parcela<sup>-1</sup> a 12% de humedad y corregido por el número de plantas cosechadas por parcela.
2. Altura de planta (cm; AP), desde la base de la planta hasta la lígula de la hoja bandera.
3. Altura a la mazorca (cm; AM), desde la base de la planta hasta el entrenudo desde donde se origina la mazorca superior.
4. Longitud de mazorca (cm; LM), desde la base hasta el ápice de la mazorca.
5. Diámetro de mazorca (cm; DM), medido en el punto medio de la misma.

Para medir las características distintas a rendimiento se tomaron al azar 48 plantas por parcela.

Para cada ambiente se realizó el análisis de varianza correspondiente, incluyendo las comparaciones ortogonales siguientes: HS vs. GA y HD vs. HDA. También se compararon las medias de esos mismos contrastes para cada uno de los híbridos en cada ambiente, mediante la prueba de mínima diferencia significativa (Steel y Torrie, 1960).

En este último caso, para el contraste HS vs. GA se consideró por separado la comparación de los progenitores femeninos entre sí ( $\varnothing$ HS vs.  $\varnothing$ GA) y los masculinos ( $\sigma$ CHS vs.  $\sigma$ GA).

Se llevaron a cabo los análisis combinados en aquellos casos donde hubo homogeneidad de la varianza del error de acuerdo a la prueba de Bartlett (Steel y Torrie, 1960). En el análisis combinado se hicieron las mismas comparaciones ortogonales y de medias mediante mínima diferencia significativa que se obtuvieron en cada ambiente.

#### Ciclo 1995

Por falta de semilla de algunos HS, los ensayos de este año constaron sólo de 8 tratamientos: los 4 HDC y los 4 provenientes de las GA de los HS (HDA). Los ambientes incluidos originalmente en las evaluaciones fueron: Estación Experimental SEFLOARCA (Villa de Cura), Campo Experimental CENIAP(Maracay), Campo Experimental del Instituto de

Genética, Facultad de Agronomía (Maracay). En SEFLOARCA hubo graves problemas sanitarios por lo que sólo se dispone de los datos de los dos ambientes restantes.

El diseño experimental, el tamaño de las parcelas, las características medidas y los análisis realizados fueron los mismos del año anterior con la diferencia de que fueron 4 las repeticiones y sólo se pudo evaluar el contraste ortogonal HD vs. HDA. Los análisis para cada ambiente y el análisis combinado se realizaron también con los mismos procedimientos de 1994.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ciclo 1994

De acuerdo a los análisis de varianza de todas las variables en cada una de las localidades del estado Aragua, se observaron siempre diferencias altamente significativas entre los genotipos evaluados y también entre los HS y las GA de los mismos (GA), con una sola excepción. Los HDC fueron estadísticamente iguales a los HDA en todas las localidades. En vista de que los resultados para cada localidad coinciden con los obtenidos en el análisis combinado, se presenta solamente estos últimos.

Según la prueba de Bartlett para homogeneidad de la varianza de los errores, fue posible realizar el análisis combinado de las tres localidades en los casos de AP y AM, la relación entre ambas y el DM. Para la LM, sólo hubo homogeneidad de varianzas del error entre los campos experimentales del Instituto de Genética y del CENIAP, y en la variable rendimiento únicamente se pudo combinar los ambientes Santa Cruz y CENIAP.

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los cuadrados medios para cada variable y fuente de variación. En los mismos se puede apreciar que, a excepción de la relación AM/AP, se observaron diferencias altamente significativas entre ambientes, señalando que, a pesar de ser localidades cercanas del estado Aragua, se pueden considerar ambientes diferentes. La fuente de variación genotipos mostró cuadrados medios altamente significativos para todas las variables.

El contraste entre HS y GA fue siempre altamente significativo, pero no así la comparación ortogonal entre HDC y HDA. La interacción genotipo

x ambiente sólo fue significativa para la relación AM/AP y DM, indicando que, en casi todos los casos y especialmente en el rendimiento, el orden de los tratamientos fue siempre el mismo y que las comparaciones ortogonales no cambiaron al variar de localidad.

En el Cuadro 3 y en la Figura se observa la comparación de medias para el contraste entre los HS y sus GA (diferenciando progenitores femeninos y masculinos de cada HD) y entre los HDC y HDA para cada uno de los genotipos evaluados en el caso del rendimiento.

Resulta evidente que, con la excepción de CENIAP PB - 8 (♀HS vs. ♀GA), siempre hay diferencias significativas entre HS y GA, pero no las hay entre HD y HDA.

#### Ciclo 1995

En los ensayos de 1995, en los campos experimentales del Instituto de Genética (UCV. Facultad de Agronomía) y del CENIAP, sólo se compararon los HDC y HDA. La confirmación de homogeneidad de varianzas entre los dos ambientes permitió realizar el análisis de varianza combinado para las variables DM, LM, la relación AM/AP y el rendimiento.

En el Cuadro 4 se presentan los cuadrados medios para cada variable y fuente de variación. En el mismo se muestra que sólo hubo diferencias altamente significativas entre localidades para rendimiento y significativas al 5% para DM. La interacción genotipo x ambiente nunca fue significativa. Se detectaron diferencias altamente significativas entre genotipos para AM/AP y rendimiento; sin embargo en ningún caso hubo diferencias entre HDC y HDA.

En primer lugar hay que destacar las diferencias observadas entre los distintos HS y sus GA. De acuerdo a la teoría de la genética cuantitativa (Falconer, 1989), en la F2 de un cruce determinado de dos líneas endocriadas, aún cuando haya sido obtenida por cruzamientos al azar, la heterosis es solamente la mitad de la mostrada por la F1. En otras palabras, se espera que en la F2 se produzca una caída desde el valor de la F1 hacia el promedio de los padres. Esto se debe a que ocurre un cambio en las frecuencias genotípicas aun cuando las frecuencias alélicas se mantengan constantes, lo que implica una reducción del valor fenotípico promedio debido a un incremento en el coeficiente de consanguinidad por endocria y a un aumento en la frecuencia de genotipos homocigotas.

**CUADRO 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinando los tres ambientes para las variables altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), relación entre altura de mazorca y altura de planta (AM/AP) y diámetro de mazorca (DM), y combinando los ambientes Campo Experimental del Instituto de Genética y Campo Experimental del CENIAP para longitud de mazorca (LM) de los 24 tratamientos evaluados durante el año 1994.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	AP	AM	AM/AP (*100)	DM	Grados de Libertad	LM
Ambiente	2	17 575,18**	6 260,32**	0,311	2,254 **	1	20,123 *
Repetición / ambiente	6	1 295,29**	375,72**	0,072 *	0,043	2	3,200 **
Genotipos	23	2 919,93**	2 167,77**	0,749 **	0,217 **	23	8,248 **
HS vs. GA	1	8 064,04**	1 218,12**	0,718**	1,354 **	1	40,196 **
HD vs. HDA	1	33,26	132,98	0,099	0,003	1	0,513
Genotipo x Ambiente	46	83,00	58,36	0,041 *	0,041 *	23	0,611
(HS vs. GA) x ambiente	2	25,28	17,43	0,015	0,015	1	0,338
(HD x HDA) x ambiente	2	1,68	2,62	0,0005	0,06	1	0,328
Error	138	91,40	41,98	0,028	0,025	46	0,502
Coefficiente de variación (%)		3,62	5,06	3,48	5,498		4,73

\* P (<0,05); \*\* P (<0,01)

En sus estudios Falconer (1989) le asigna al coeficiente de endocria de la F2 de un HS un valor de 0,5 y de 0,25 a la F2 de un HD. Kiesselbach (1930) encontró una disminución cercana al 35% al avanzar un cruce simple a F2. Valdivia y Vidal (1995) hallaron una reducción de 50, 47, 43 y 39 por ciento en las F2 de HS, de tres líneas, dobles e intervarietales, respectivamente. Algunos autores (Neal, 1935; Sprague y Jenkins, 1943) indican que a partir de la generación F3, luego de libre polinización, no se producen cambios importantes en el rendimiento.

En el caso de este trabajo, durante la evaluación realizada en 1994 en tres ambientes comparando los HS y sus GA, se encontró una disminución del valor fenotípico promedio de las F2, pero, este comportamiento no fue uniforme para todos los híbridos. Mientras que los HS de H-92, H-395 y FM6 fueron claramente superiores a sus GA en rendimiento, no sucedió lo mismo con PB-8, especialmente en la comparación del HS que actúa como el progenitor femenino de ese HD y su GA. Este hecho podría deberse a la escasa distancia genética entre las líneas que originaron a PB-8 o que esas líneas no fueran altamente endocriadas.

**CUADRO 2.** Cuadros medios del análisis de varianza combinando los ambientes Estación Experimental del INIA, Santa Cruz y el Campo Experimental CENIAP para la variable rendimiento de 24 tratamientos evaluados durante el año 1994.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadros Medios
Ambiente	1	50 604 666 **
Repetición / Ambiente	4	433 202
Genotipos	23	4 912 530**
HS vs. GA	1	57 060 400**
HD vs. HDA	1	303 169
Genotipos x ambientes	23	730 777
(HS vs. GA) x ambientes	1	234 238
(HD x HDA) x ambientes	1	677 807
Nº de plantas / parcela	1	24 667 663**
Error		477 035
Coeficiente de variación (%)		9,80

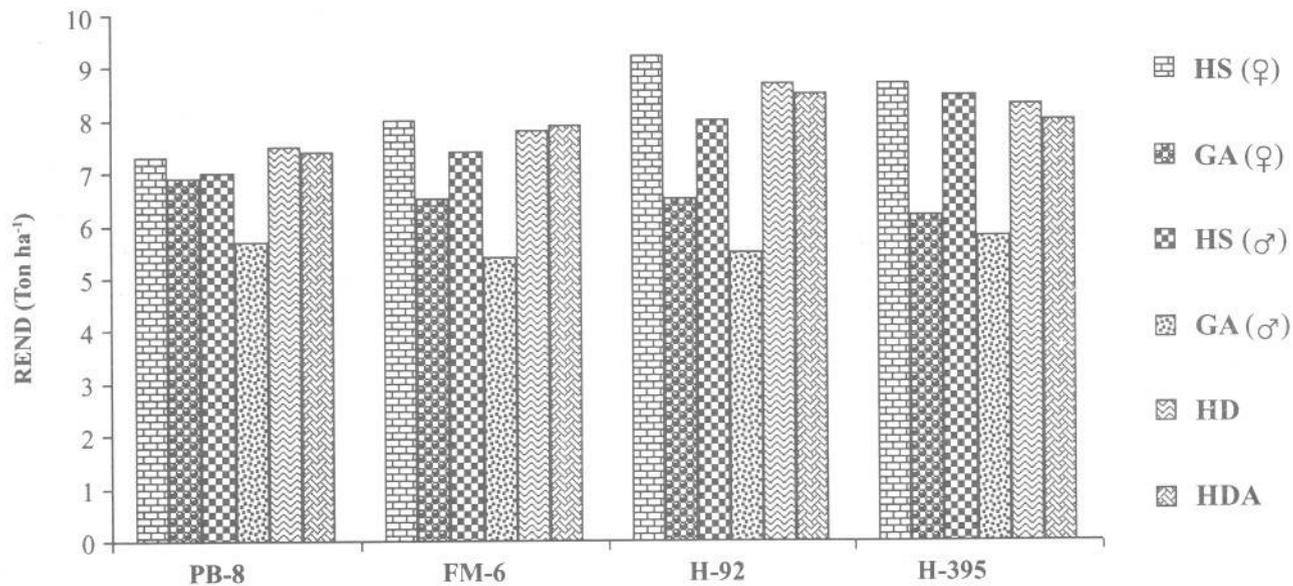
\* P (< 0,05); \*\* P (< 0,01)

**CUADRO 3.** Comparación de medias para el contraste entre los híbridos simples (HS) y sus generaciones avanzadas (GA) y entre híbridos dobles convencionales (HDC) y los híbridos dobles no convencionales (HDA) relacionados con los cuatro genotipos para la variable rendimiento evaluada en los dos ambientes durante el año 1994.

Genotipos	Comparaciones	Rendimiento
PB-8	♀ HS vs. GA ♀	N.S.
	♂ HS vs. GA ♂	**
	HD vs. HDA	N.S.
FM-6	♀ HS vs. GA ♀	**
	♂ HS vs. GA ♂	**
	HD vs. HDA	N.S.
H-92	♀ HS vs. GA ♀	**
	♂ HS vs. GA ♂	**
	HD vs. HDA	N.S.
H-395	♀ HS vs. GA ♀	*
	♂ HS vs. GA ♂	**
	HD vs. HDA	N.S.

\*:  $P(<0,05)$ ; \*\*:  $(>0,01)$

En las evaluaciones de los años 1994 y 1995, los HDC y los desarrollados a partir de las GA de los HS exhibieron un comportamiento similar en todos los genotipos y para todas las características consideradas, lo que fue hipótesis de este trabajo. Si se obtiene un HD a partir del cruce de cuatro líneas bajo el esquema convencional  $(A \times B) \times (C \times D)$ , la frecuencia alélica de la población resultante será el promedio de las frecuencias alélicas de los HS para cada locus; los distintos arreglos entre alelos y por lo tanto la distribución de genotipos dependerá de la divergencia entre los padres.



**FIGURA.** Rendimiento de cuatro híbridos dobles convencionales y no convencionales de maíz y de los híbridos simples y generaciones avanzadas que le dieron origen 1994.

**CUADRO 4.** Cuadros medios del análisis de varianza combinando los dos ambientes para las variables relación entre altura de mazorcas y altura de planta (AM/AP), diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM) y rendimiento de los 8 genotipos evaluados durante el año 1995.

Fuente variación	Grado de Libertad	AM/AP (*100)	DM	LM	Rend.
Ambiente	1	0,460	0,1272*	0,9270	27 704 680**
Repetición/ambiente	6	0,270**	0,0124	0,4062	945 791
Genotipo x ambiente	7	0,510**	0,0256	0,9019	2 091 967**
HD vs HDA	1	0,210	0,0043	0,2162	928 427
Genotipo x ambiente	7	0,130	0,0180	0,4930	268 011
(HD vs HDA) x ambiente	1	0,010	0,0047	0,1545	130 899
Error	42	0,051	0,0186	0,3473	843 381
Coefficiente de variación (%)		4,58	4,97	5,03	12,69

\* P (<0,05) \*\* P (<0,01)

Si el HD se produce a partir de las GA de los HS, la frecuencia alélica para cada locus será la misma que en el caso anterior, si el avance ha ocurrido en ausencia de mutación, migración, selección y derivación genética; de igual manera las frecuencias genotípicas dependerán de las divergencias entre los padres. Si además se considera que el valor fenotípico promedio de una población para una característica cuantitativa depende de las frecuencias génicas, del grado de dominancia y del coeficiente de consanguinidad de la misma, expresado en la ecuación  $M = a(p-q) + 2pqd(1-F)$  según Falconer (1989), los HDC y HDA deben tener la misma media si las frecuencias alélicas son las mismas, y los padres no están emparentados y además hay ausencia de epistasias.

Lo antes expuesto fue lo que se observó en todos los genotipos considerados para las características AM y AP, la relación entre ellas, LM y DM y el rendimiento en grano. Lo que permite concluir que se cumplieron las condiciones señaladas arriba incluyendo que hubo ausencia de epístasis o que las posibles desviaciones, debidas a las interacciones entre los diferentes loci que afectan las características consideradas, son de sentidos diferentes cancelándose sus efectos.

## CONCLUSIONES

- Con estos resultados podría recomendarse el uso de GA (F2) como progenitores de HD, HS y cuando se hayan tomado las medidas necesarias para que el avance ocurra en ausencia de fuerzas modificadoras de la frecuencia génica.
- El procedimiento alternativo proporciona varias ventajas, como una mayor economía y disponibilidad de semillas, pero sobre todo el no tener que producir los HS como un paso previo para la obtención del HD, año tras año.
- Su implementación no implicaría cambio alguno para el usuario final de la semilla híbrida y sería muy ventajosa para las empresas productoras de semillas. Sin embargo, podría afectar negativamente a los agricultores cooperadores, pues estos cosecharían sobre una GA de menor rendimiento y posiblemente menos uniforme, debido a la segregación existente en cada locus, y no sobre un HS. Una opción para contrarrestar este efecto sería utilizar la GA como padre masculino y un HS como madre, para así producir un HDA de igual rendimiento promedio que los convencionales, sin afectar a los agricultores cooperadores.

## AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Mauricio Riccelli, autor intelectual de la hipótesis que sustenta el trabajo, a la empresa HIMECA donde se realizaron las primeras etapas experimentales.

## SUMMARY

Our objective was to compare conventional double-cross hybrids of corn obtained by crossing two single-cross hybrids with those produced by

crossing the advanced generations (F<sub>2</sub>) of the same single-cross hybrids hybrids with those produced by crossing the advanced generations (F<sub>2</sub>) of the same single-cross hybrids. The double-cross hybrids tested were PB-8, FM-6, HIMECA 92 and HIMECA Experimental 395. Eight single-cross hybrids, eight advanced generations (F<sub>2</sub>), four conventional double-cross hybrids, and four non-conventional double-cross hybrids were grown in three locations of Aragua State (Venezuela) in 1994. In 1995 only the four conventional and the four non-conventional double-cross hybrids were tested in two locations of the same state. Plant height, ear height, length and diameter of the ear, and yield were measured. There were always highly significant differences between locations for yield but not for the genotype x environment interaction. The contrast between single-cross hybrids and advanced generations was always highly significant (1994) but there were not differences between conventional and non-conventional double-cross hybrids (1994 and 1995). According to the results it would be advisable the use of advanced generations (F<sub>2</sub>) as parents of double-cross hybrids, provided that the advance has been made in the absence of forces that modify gene frequency.

**Key Words:** *Zea mays* L.; single-cross hybrids; double-cross hybrids.

## BIBLIOGRAFÍA

- FALCONER, D. S. 1989. Introduction to quantitative genetics. 3rd ed. Longman. New York. 340 p.
- HALLAUER, A. R. and J. B. MIRANDA. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd ed. Iowa State Univ. Press 468 p.
- KIESSELBACH, T. A. 1930. The use of advanced generation hybrid as parents of double cross seed corn. J. Am. Soc. Agron. 22:614-622.
- NEAL, N. 1935. The decrease in yielding capacity in advanced generations of hybrid corn. J. Am. Soc. Agron. 27:666-670.
- SPRAGUE, G. F. and M. T. JENKINS. 1943. A comparison of synthetic varieties, multiple crosses and double-crosses in corn. J. Am. Soc. Agron. 34:923-932.
- STEEL, R. G. D. and J. H. TORRIE. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill. 481 p.

VALDIVIA BERNAL, R. y U. A. VIDAL MARTÍNEZ. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 18(1):69-76.

## EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUTO Y LA RELACIÓN FRUTA/JARABE SOBRE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE MANGO EN CILINDROS<sup>1</sup>

Anne Valera\*, Judith Zambrano\*\*,  
Willian Materano\*\* e Ibis Quintero\*\*

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en estudiar el efecto de la concentración del agente osmótico (glucosa en el jarabe a 50, 60 y 70% p/p) y la relación fruta/jarabe (1:2, 1:3 y 1:4) sobre la deshidratación osmótica de frutos de mango, *Mangifera indica* L., en cilindros. Para el estudio, se obtuvieron los mangos tipo bocado del mercado local, se seleccionaron, pelaron, cortaron en forma de cilindros y se introdujeron en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad conteniendo 300 ml de la solución osmótica. Los trozos fueron sacados después de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 y 360 min para realizar determinaciones de ganancia de soluto (GS), pérdida de agua (PA) y °Brix. Determinaciones de actividad de agua ( $a_w$ ) fueron realizadas en la relación fruta/jarabe 1:4. En todas las concentraciones del agente osmótico (50, 60 y 70% p/p) la ganancia de sólidos fue más notable en el caso de la relación fruta/jarabe 1:4. En todos los casos se observó que la PA es más importante que la GS. Se alcanzó el máximo de grados Brix en menor tiempo en los trozos de mango tratados con el jarabe a 50 °Brix comparado con los jarabes a 60 y 70 °Brix. Las observaciones del presente trabajo en términos de GS y PA permiten concluir que la concentración del jarabe y particularmente la relación jarabe/fruta influyen de una manera directa en el proceso de osmodeshidratación de mango.

**Palabras Clave:** *Mangifera indica* L.; deshidratación osmótica; concentración; glucosa.

---

1 Trabajo financiado por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes.

\* Ingeniero Químico asociada a la investigación. Actividad privada.

\*\* Profesores. Núcleo Universitario Rafael Rangel. ULA. Grupo de Investigación de Fisiología de Postcosecha. Trujillo, Venezuela. E-mail: juditz@cantv.net

RECIBIDO: septiembre 24, 2004.

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los componentes primordiales en la mayoría de los productos alimenticios. Su importancia radica en que sirve de vehículo para sustancias reaccionantes como los sistemas enzima-sustrato, además de ser clave en el desarrollo de microorganismos, principales agentes de deterioro de los alimentos. La disminución del agua presente en un alimento ha sido una estrategia utilizada desde la antigüedad para conservar la calidad durante los períodos de almacenamiento.

En el proceso de deshidratación se disminuye la actividad acuosa ( $a_w$ ), la cual es una medida de la disponibilidad del agua para las reacciones químicas y bioquímicas y para el desarrollo de microorganismos. Existen varios procesos de deshidratación tal como la exposición del producto alimenticio a una corriente de aire caliente, sin embargo, este método y otros similares tienen el inconveniente de someter el producto a altas temperaturas que pueden alterar sus propiedades organolépticas y nutricionales (Saravacos y Charm, 1962; Newman *et al.*, 1996).

Una técnica que se utiliza con baja temperatura y sin requerimiento de energía es la denominada deshidratación osmótica (DO). Este es el proceso de remoción de agua en el cual los alimentos (tales como frutas y vegetales) son colocados en una solución concentrada de sólidos solubles donde ocurre deshidratación parcial del agua del producto, y simultáneamente se presenta en menor cantidad, la entrada de soluto desde la parte externa hasta el interior del producto a deshidratar (Levi *et al.*, 1983; Lerici *et al.*, 1985; Welti *et al.*, 1995; May *et al.*, 1999).

La DO es un método no térmico de deshidratación mediante el cual se logra obtener productos de humedad intermedia con muy buena calidad organoléptica (Reppa *et al.*, 1999; Tapia *et al.*, 1996; Barat *et al.*, 2001). Los solutos que se utilizan en la elaboración de los jarabes son de bajo costo y el consumo energético involucrado es mínimo (Palou *et al.*, 1993). La posibilidad de desarrollar esquemas de procesamiento mínimo de frutas, que permitan generar productos con características sensoriales similares a la materia prima de origen y al mismo tiempo obtener una vida comercial razonable del producto, plantea hoy en día amplias perspectivas de aplicación industrial en la fabricación de materias primas pre-procesadas para ser utilizadas posteriormente.

En tal sentido, uno de los mayores retos que enfrenta el procesamiento mínimo de alimentos es el poder combinar adecuadamente distintos factores a fin de generar productos inocuos, pero que al mismo tiempo garanticen las características sensoriales de frescura que desea el consumidor. A pesar de los numerosos estudios (Lerici *et al.*, 1985; Alzamora *et al.*, 1993; Tapia *et al.*, 1997), la aplicación de estos procesos en la industria de alimentos esta todavía restringida debido a que el mecanismo que controla la transferencia de masa a contracorriente no esta totalmente dilucidado, y no se pueden establecer reglas acerca de las variables que afectan el proceso (Waliszewski *et al.*, 2002).

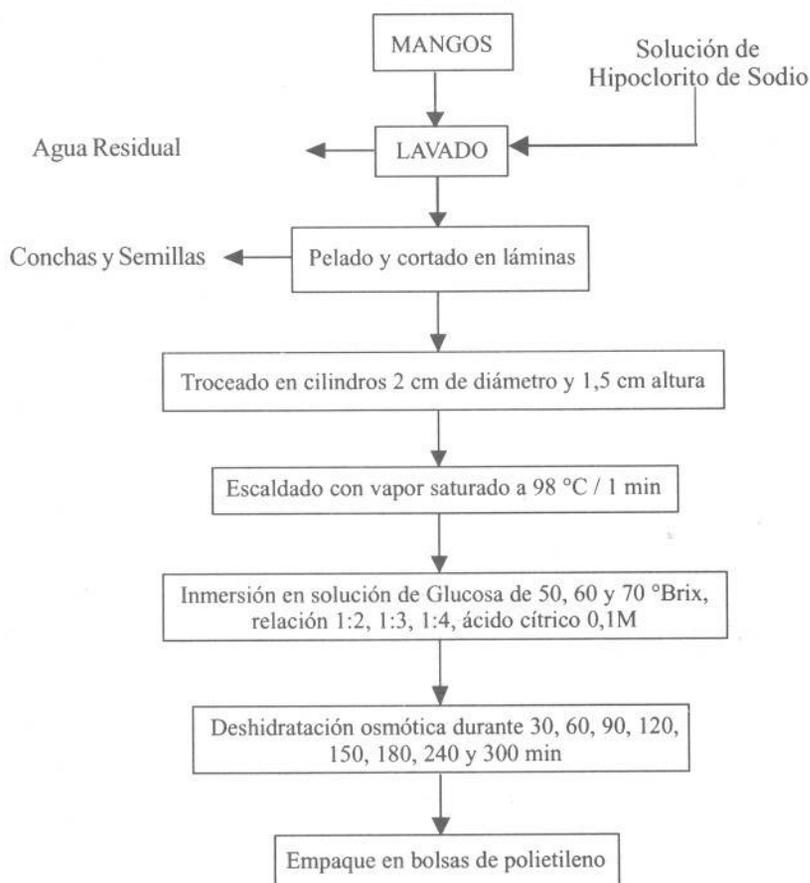
La cinética de los procesos osmóticos normalmente se expresa en términos de la pérdida de agua (%PA), pérdida de peso (%PP), disminución de actividad acuosa (%  $a_w$ ), y la ganancia de sólidos (GS; Levi *et al.*, 1983; Lenart y Flink, 1984; Lerici *et al.*, 1985). La velocidad de deshidratación o de transferencia de agua de la fruta a la disolución osmótica depende de las características de la materia prima, la composición y concentración del agente osmótico (Palou *et al.*, 1993; May *et al.*, 1999), de la temperatura (Panades *et al.*, 1996), la agitación (Palou *et al.*, 1993), la relación fruta/jarabe (Lerici *et al.*, 1985; Reppa *et al.*, 1999; Zapata-Montoya *et al.*, 2002) y la presión externa (Escriche *et al.*, 1999; Castro *et al.*, 1997).

Tomando en cuenta las consideraciones señaladas y con el interés de proponer nuevas alternativas para el uso de una fruta tropical de gran aceptación como el mango, el propósito del presente trabajo se fundamentó en la evaluación del efecto de la concentración de glucosa en el jarabe (50, 60 y 70% p/p) y la relación fruta/jarabe (1:2, 1:3 y 1:4) en la DO de frutos de mango en cilindros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron utilizando mangos tipo *Bocado*, compradas en el mercado local. El proceso se efectuó mediante el procedimiento que se muestra en la Figura 1. Los mangos previamente seleccionados por criterios de homogeneidad, se lavaron con solución al 0,1% de hipoclorito de sodio y luego fueron cortados en dos láminas paralelas a la semilla. Muestras aproximadas de 250 g de mango en láminas fueron utilizadas para cada tratamiento. De cada lámina se obtuvieron muestras en forma de cilindros extraídos con un sacabocado de acero inoxidable.

Sus dimensiones fueron de 2 cm de diámetro y 1,5 cm de altura. Para llevar a cabo la inactivación enzimática o escaldado, las muestras cilíndricas de mango, se mantuvieron en contacto con vapor de agua saturado a 98 °C durante 1,0 min., suspendidas sobre una rejilla en un recipiente cerrado con agua a ebullición. Transcurrido el minuto, las muestras fueron sumergidas en agua con hielo para su enfriamiento.



**FIGURA 1.** Diagrama de flujo del proceso de deshidratación osmótica de Mango.

### Deshidratación Osmótica (DO)

Como agente osmótico, se emplearon soluciones de glucosa, obtenidas a partir de glucosa comercial de grado alimentario (Indelma® Alfonso Rivas, Venezuela) y agua destilada para alcanzar distintas concentraciones: 50, 60 y 70 °Brix, y el pH fue ajustado a 4 con un ph-meter marca EMS por adición de ácido cítrico 0,1M. La DO de las muestras se realizó por inmersión de la fruta en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad conteniendo 300 ml de la solución osmótica, en relaciones fruta jarabe 1:2, 1:3 y 1:4. La DO se alcanzó por agitación de los trozos de fruto en un baño con temperatura controlada a  $25 \pm 1$  °C (Bioblock, Salvis A 28300). La amplitud de las oscilaciones fue aproximadamente de 4 cm con una frecuencia de 60 por minuto. Los trozos fueron sacados después de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 y 360 min. Los trozos fueron rápidamente lavados y colocados sobre papel filtro para secar.

Durante el proceso de DO se calculó la ganancia de azúcar y la PA midiendo la evolución de materia seca, determinada por el secado de las muestras a 103 °C hasta alcanzar peso constante. La ganancia de azúcar también fue determinada mediante un refractómetro ABBE, marca Leica, termostatado a 20 °C, midiendo los °Brix. La GS y la PA del fruto a un tiempo *t* del tratamiento osmótico se calcularon de la siguiente forma:

$$GS = \frac{m - m_0}{M_0}$$

$$PA = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{M_0}$$

Donde:

$M_0$ : masa inicial del producto fresco (g)

$M$ : masa del producto a tiempo *t* del tratamiento osmótico (g)

$m$ : materia seca del fruto a tiempo *t* del tratamiento osmótico (g)

$m_0$ : materia seca del fruto fresco (g)

Los valores de GS y PA son el promedio de tres determinaciones independientes. La actividad de agua ( $a_w$ ) se determinó mediante análisis gravimétrico. Se colocó 1 g de la muestra en la unidad de prueba utilizando soluciones estándar de  $H_2SO_4$ , realizando las pesadas a las 26 h una vez alcanzado el equilibrio.

Para evaluar el efecto de las variables (concentración del agente osmótico y relación fruta/jarabe) se realizó análisis de varianza del efecto de los tratamientos sobre los parámetros medidos durante la DO. Los datos fueron analizados usando el General Linear Model (Proc GLM) del SAS (SAS, Inc. Cary, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra las características iniciales de los frutos de mango antes de ser sometidas al proceso de deshidratación.

Se condujo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia de los efectos de las variables independientes sobre los parámetros evaluados (Cuadro 2). La concentración del jarabe afectó los Brix del fruto y del jarabe a nivel del 95%, mientras que la relación fruta/jarabe afectó sólo los Brix del fruto. La PA y GS fueron afectadas por la relación fruta/jarabe a 95%.

La evolución de GS y PA fue observada como función del tiempo de la DO en las diferentes condiciones de la relación fruta/jarabe y a las variadas concentraciones de la solución osmótica.

**CUADRO 1.** Características de los frutos de mango antes del proceso de deshidratación.

Producto	Contenido de humedad (g x 100 g <sup>-1</sup> pf <sup>1</sup> )	°Brix	$a_w$ <sup>2</sup>	pH
Fresco	87,35±0,35	15,5±0,5	0,98±0,003	3,70±0,05

<sup>1</sup>pf: Peso fresco

<sup>2</sup> $a_w$ : actividad de agua medida.

**CUADRO 2.** Análisis de varianza mostrando la significancia de los efectos de las variables: concentración del soluto y relación fruta/jarabe sobre cada una de las respuestas.

Variables	Suma de Cuadrados			
	Pérdida de agua	Ganancia de solutos	Brix fruto	Brix Jarabe
Concentración	0,0054 N.S.	0,00178 N.S.	10,814*	45,757*
Fruta/jarabe	0,0241*	0,0048*	28,777*	13,87 N.S.

\*: Significante a 0,05

N.S.: No significativo

Los resultados se muestran en las Figuras 2 y 3, señalando que el azúcar es transferido de la solución a la muestra de mango y viceversa, en un modo dinámico. Durante la DO la GS tiende a aumentar debido a la transferencia de azúcar del jarabe al fruto. En las condiciones operacionales de esta investigación el máximo cambio se alcanzó aproximadamente a las dos horas. Se observó en todas las concentraciones del agente osmótico (70, 60 y 50 ° Brix) que la GS fue más importante en el caso de relación fruta/jarabe 1:4, aún cuando la relación fruta/jarabe afectó en forma significativa los parámetros GS y PA a la concentración osmótica de 50 °Brix, observándose diferencias significativas en el caso de la relación fruta/jarabe 1:2 con respecto a 1:3 y 1:4.

Se observa en todos los casos (Figuras 2 y 3) que la PA es más substancial que la ganancia de azúcar. Este fenómeno es esencialmente debido a las diferencias en la difusión entre el agua y el azúcar, producto de la diferencia en masa molecular así como la presencia de las membranas vegetales. Raoult-Wack *et al.* (1989) describieron un efecto antagonista de la transferencia del agua y el soluto, probablemente debido a la penetración del azúcar por difusión y el transporte del azúcar por la salida del agua, en función de la tasa del flujo de agua.

La máxima GS y PA se alcanzó en los frutos tratados con jarabe a 70 °Brix comparados con 60 y 50 °Brix. Lenart y Flink (1984) observaron en la DO de papa, que la GS y la PA acrecentó rápidamente con el incremento de la concentración de la sacarosa en el jarabe y relación papa/jarabe 1:4. Estos resultados confirman que el proceso osmótico es afectado por la concentración del soluto. La GS y PA son mayores para

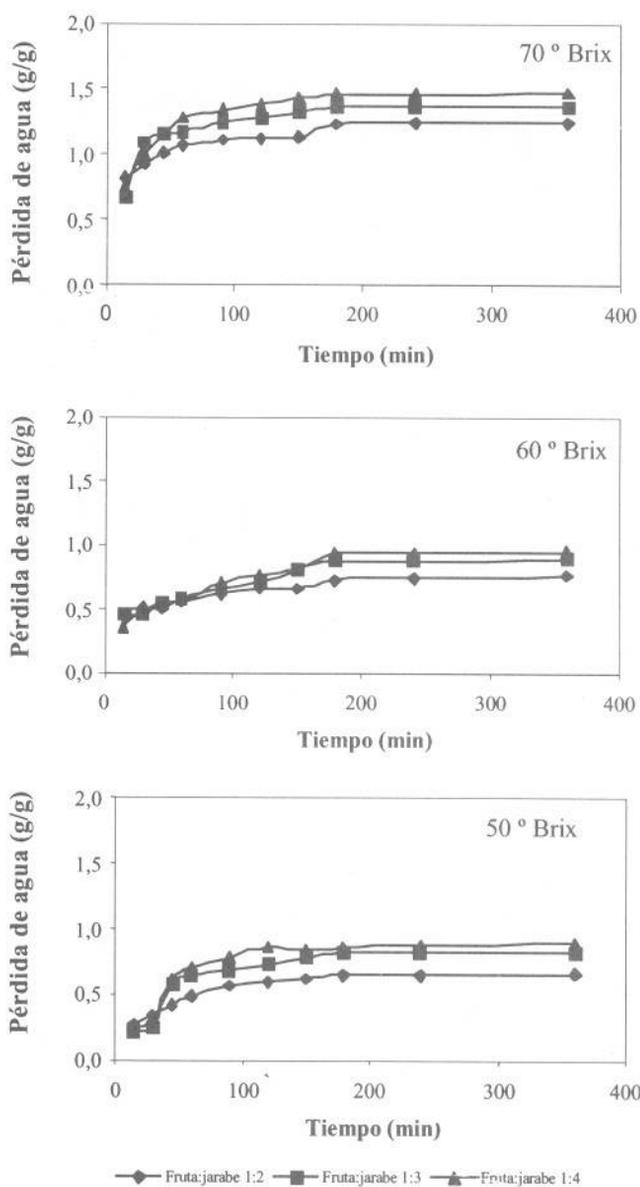
la solución osmótica a 70 °Brix, apreciándose un efecto marcado de la concentración. Le Maguer (1988) señaló como regla general, que para el mismo tiempo de contacto, el incremento de la concentración de la solución osmótica resulta en una DO más efectiva.

Heng *et al.* (1990) explicaron que el uso de soluciones altamente concentradas favorables a mayor PA pueden reducir la GS, probablemente debido a una capa de azúcar que se puede formar en la periferia de las piezas del fruto como una barrera. Sin embargo, Panagiotou *et al.* (1999) encontraron que a medida que se incrementó la concentración del agente osmótico durante la DO de banana, manzana y kiwi se acentuó la GS.

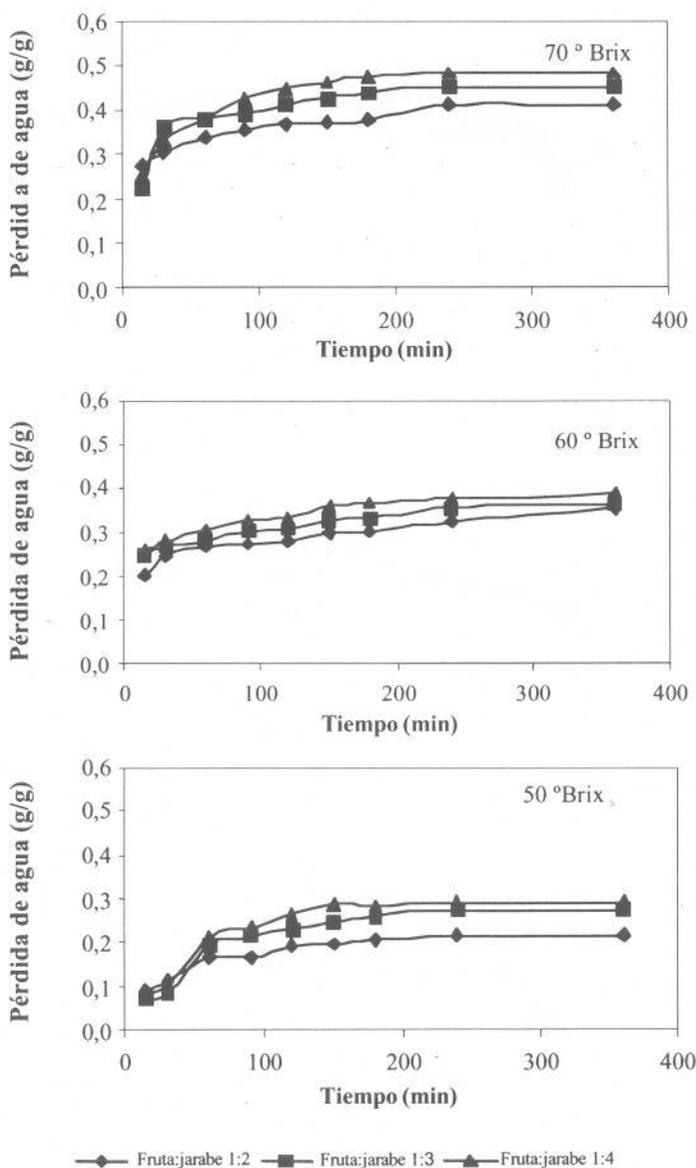
Es de hacer notar que a relación fruta/jarabe baja, se puede presentar dilución del jarabe por el agua que sale de la fruta y esto podría repercutir en la velocidad de deshidratación. Para observar el comportamiento de la actividad de agua ( $a_w$ ) se realizaron las mediciones a relación fruta/jarabe (1:4), observadas en la Figura 4 que los frutos tratados con soluciones de azúcar más concentradas presentaron menores valores de  $a_w$  que las muestras tratadas con soluciones menos concentradas. El valor de  $a_w$  varió desde 0,986 hasta 0,963 en las muestras tratadas con solución osmótica a 70 °Brix y de 0,985 hasta 0,964 con el agente osmodeshidratante a 60 °Brix, mientras que a 50 °Brix el  $a_w$  descendió sólo a 0,968.

Dado que la concentración osmótica es un proceso simultáneo de difusión de agua y de solutos, el contenido de sólidos solubles (°Brix) disminuyó en función del tiempo en el jarabe, mientras que el contenido de sólidos solubles aumentó en la fruta (Figuras 5 y 6). No se observaron diferencias marcadas debidas a la relación fruta/jarabe con las diferentes concentraciones del agente osmótico. A 70 °Brix la concentración de sólidos (°Brix) del jarabe disminuyó aproximadamente 18% en la relación fruta/jarabe 1:2, mientras que disminuyó alrededor de 12 % con las relaciones fruta/jarabe 1:3 y 1:4.

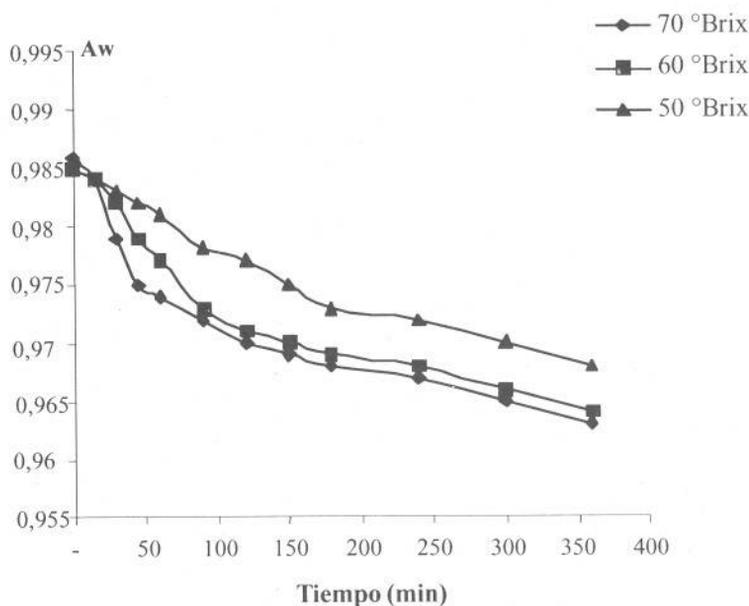
El comportamiento de la evolución de grados Brix en el fruto observado en la Figura 6, muestran que aproximadamente se duplicó el valor inicial (15,5 °Brix) en el tratamiento con jarabe a 50 °Brix, se triplicó con el jarabe a 60 °Brix y alcanzó 48 °Brix con el jarabe a 70 °Brix. En cuanto a los grados Brix de los trozos de mango es importante señalar que el máximo se alcanzó a 300 min (jarabe 1:2, 1:3, 1:4) con el jarabe a 50 °Brix, mientras que con los jarabes a 60 y 70 °Brix el tiempo de deshidratación fue mayor.



**FIGURA 2.** Efecto de la concentración del soluto y la relación fruta/jarabe sobre la pérdida de agua durante la DO de mango en cilindros.



**FIGURA 3.** Efecto de la concentración del soluto y la relación fruta/jarabé sobre la ganancia de sólidos durante la DO de mango en cilindros.



**FIGURA 4.** Variación del aw de los cilindros de mango durante la deshidratación osmótica en función del tiempo (fruta/jarabe 1:4).

## CONCLUSIÓN

- En conclusión, las condiciones utilizadas en la presente investigación permiten obtener trozos de mango minimamente procesados. De acuerdo a los valores de actividad de agua alcanzado durante el proceso de deshidratación en los cilindros de mango y los grados Brix de los mismos, permiten sugerir que con el jarabe a 60 °Brix se dio una buena relación en la ganancia de azúcar-pérdida de agua.
- La deshidratación de la fruta sin romper células y sin poner en contacto los sustratos que favorecen el oscurecimiento químico, permite mantener una alta calidad al producto final. La fruta obtenida conserva en alto grado sus características. Además, es estable a temperatura ambiente (20 °C) lo que la hace atractiva a varias industrias con perspectivas de aplicación al abastecimiento de materia prima pre-procesada para la industria de obtención de jugos o pulpas.

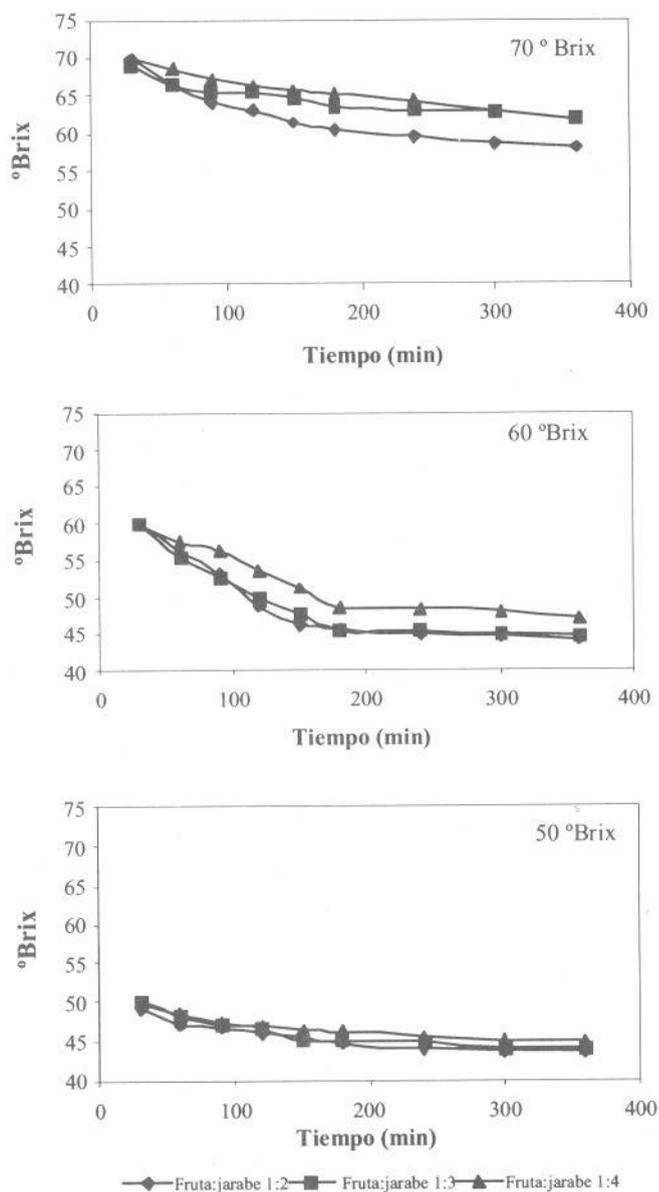


FIGURA 5. Variación de los Brix del jarabe en función del tiempo de deshidratación.

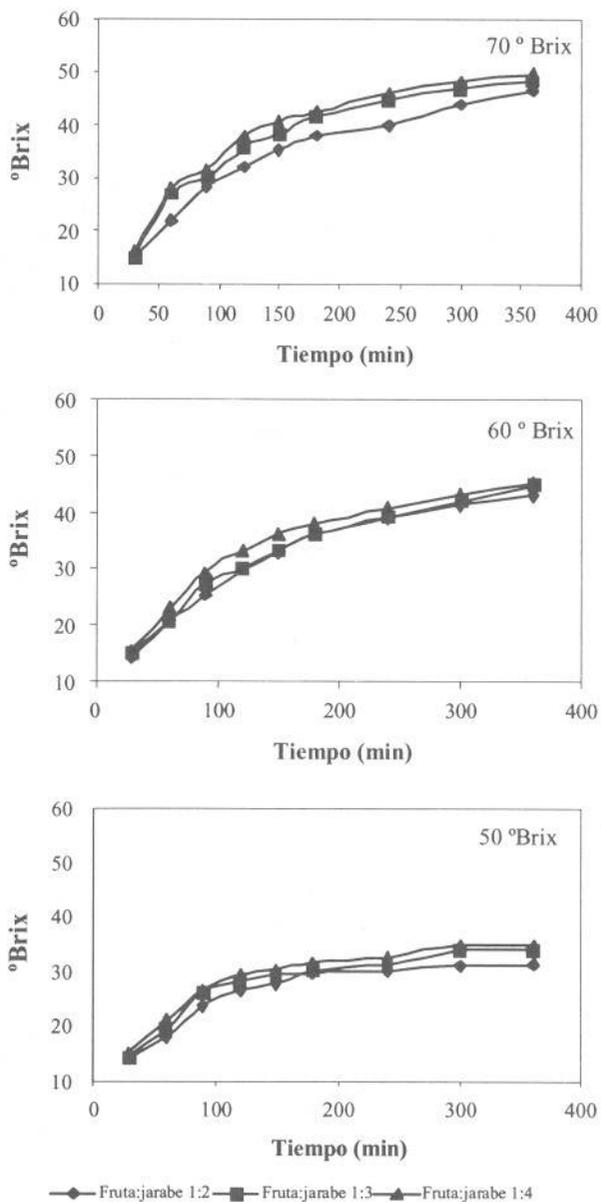


FIGURA 6. Variación de los °Brix de los cilindros de mango en función del tiempo de deshidratación.

- Desafortunadamente en este trabajo no se determinó la composición química del mango antes y después del proceso, ni se realizaron pruebas sensoriales, en tal sentido, se recomienda continuar investigando, considerando los aspectos mencionados con esta fruta tropical de gran aceptación como el mango.

## SUMMARY

The objective of this work was to study the effect of the concentration of the osmotic agent (glucose in the syrup to 50, 60 and 70 % p/p) and the ratio fruit/syrup (1:2, 1:3 and 1:4) on the osmotic dehydration of mango fruits in cylinders. For the study, mangoes type "Bocado" were obtained from the local market, selected, peeled, cut in form of cylinders and introduced in a 500 cc container of glass with 300 cc of osmotic solution. The pieces were removed after 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 y 360 min to make determinations of gain of solute (GS), loss of water (PA) and °Brix. Determinations of water activity ( $a_w$ ) were made in the ratio fruit/syrup 1:4. In all the concentrations of the osmotic agent evaluated the solid gain was more important in the ratio fruit/syrup 1:4. In all the cases, it was found that the PA was more important than GS. The highest degree Brix was reached in less time in the mango pieces treated with 50 °Brix syrup than with 60 and 70 °Brix syrup. The observations of the present work about GS and PA allow to conclude that the concentration of the syrup, and particularly the ratio fruit/syrup influences the process of osmotic dehydration of mango.

**Key Words:** Mango; osmotic dehydration; concentration; glucose.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALZAMORA, S., M. S. TAPIA, A. ARGAIZ and J. WELTI. 1993. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. *Food Res. Int.* 26:125.
- BARAT, J. M., A. CHIRAT and P. FITO. 2001. Effect of osmotic solution concentration, temperature, and vacuum impregnation pretreatment on osmotic kinetics of apple slices. *Food Sci. Technol Int.* 7(5):451-456.
- CASTRO, D., O. TRETO, P. FITO, G. PANADES, M. NUÑEZ y C. FERNÁNDEZ. 1997. Deshidratación osmótica de piña a vacío pulsante: estudio de las variables del proceso. *Alimentaria* (mayo):27-32.

- PANADES, G. O. TRETO, C. FERNÁNDEZ, D. CASTRO and M. NÚÑEZ. 1996. Pulse vacuum osmotic Dehydration of Guava. *Food Science Tecnol Internat* 2:301-306.
- PANAGIOTOU, N. M., V. T. KARATHANOS and Z. B. MAROULIS. 1999. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technol.* 17:175-189.
- RAOULT-WACK, A. L., S. GUILBERT and G. RIOS. 1989. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. **In:** A. Mujumdar (ed), *Drying* 88, Hemisphere Publishing Corp. p. 487.
- REPPA, A., J. MANDALA, A. K. KOSTAROPOULOS and G. D. SARAVACOS. 1999. Influence of solute temperature and concentration on the combined osmotic and air drying. *Drying Technology.* 17(7-8):1 449-1 458.
- SAS. INSTITUTE Inc. 1989. *User' s guide:Statistics* 6<sup>th</sup> edition. SAS Inst, INC. Cary N.C.
- SARAVACOS, G D. and S. E. CHARM. 1962. A study of the mechanism of fruit and vegetables dehydration. *Food Technol.* 16(1):78-82.
- TAPIA DE DAZA, M. S., S. M. ALZAMORA and J. W. CHANES. 1996. Combination of preservation factors applied to minimal processing of foods. *Crit. Rev. Sci. Nutr.* 36(6):629-659.
- WALISZEWSKI, K. N., V. T. PARDIO and M. RAMÍREZ. 2002. Effect of Chitin on color during osmotic dehydration of Banana Slices. *Drying Technology.* 20(3):719-726.
- WELTI, J., E. PALOU, A. LÓPEZ-MALO and A. BALSEIRA. 1995. Osmotic concentration of mango slices. *Drying Technology.* 13(1-2):405-416.
- ZAPATA-MONTOYA, J. E., L. M. CARVAJAL and N. OSPINA. 2002. Efecto de la concentración de solutos y la relación fruta/jarabe sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en laminas. *Interciencia.* 27(5):236-242.

## MEJORAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE LA INDUCCIÓN DE MUTACIONES EN CULTIVO DE CALLOS<sup>1</sup>

Morela Fuchs\*, Ventura González, Ramón Rea\*,  
Asia Y. Zambrano\*, Orlando De Sousa-Vieira\*\*\*,  
Ezequiel Díaz\*\*, Zulay Gutiérrez\* y Luis Castro\*

### RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la variabilidad generada en plantas de caña de azúcar, *Saccharum* spp. Híbrido, provenientes del cultivo *in vitro* de callos irradiados con rayos gamma, y confirmar la característica de resistencia al virus del mosaico observada en ensayos previos, se evaluaron características agronómicas y morfológicas en ensayos de campo en sucesivas generaciones de propagación vegetativa. Una muestra de las plantas o subclones fueron inoculados con la raza B del virus del mosaico para evaluar la estabilidad de la resistencia a esta enfermedad. Las plantas seleccionadas en los ensayos comparativos fueron caracterizadas molecularmente utilizando la técnica de RAPD's. Los resultados obtenidos mostraron un alto porcentaje de plantas sin síntomas de la enfermedad en condiciones de campo (84%) y en los subclones reinoculados con la raza B del virus (95%). Un bajo porcentaje de plantas mostraron variaciones morfológicas, en las yemas, desarrollo de yemas en nudos superiores y pubescencia en la lámina de la hoja. De 264 subclones incorporados en los ensayos comparativos, 16 de ellos han mantenido buenas características de rendimiento ( $t\ ha^{-1}$  de caña y Pol% en caña) y de resistencia a las principales enfermedades del cultivo. La caracterización de estas plantas utilizando la técnica de RAPD's permite señalar que se trata de materiales genéticamente diferentes a la planta madre (clon B67-49). La radiación indujo cambios en la estructura del ADN que pudieron ser detectados con esta metodología y que resultaron favorables en un alto porcentaje de las plantas evaluadas.

**Palabras Clave:** *Saccharum* spp.; variabilidad; resistencia; virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV); RAPD's.

---

<sup>1</sup> Trabajo financiado por la Agencia Internacional de Energía Atómica y FUNDACITE-ARAGUA.

\* Investigadores y \*\*TAI, respectivamente. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Departamento de Biotecnología. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

\*\*\* Investigador. INIA. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Yaracuy. Estación Local Yaritagua.

RECIBIDO: abril 22, 2004.

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar, *Saccharum* spp., es la principal fuente de edulcorantes naturales del país, considerado como un cultivo prioritario desde el punto de vista económico y social, siendo fuente de empleo directo en el campo e industria, en la producción de azúcar, y en la elaboración de subproductos como el alcohol, conglomerados, alimentos para animales, entre otros.

Por ser un cultivo semiperenne, la caña de azúcar está expuesta a la acción de factores bióticos y abióticos durante gran parte del año los cuales inciden en los rendimientos. Entre estos las enfermedades, bien sea producidas por hongos, virus y bacterias, constituyen un factor de relativa importancia, entre estas, el mosaico de la caña de azúcar, enfermedad que ha ocasionado la desincorporación de cultivares híbridos como PR62258, Co740, CI41223, V63-2 y H382915 (Rea *et al.*, 1994).

En el país han sido identificadas las razas A, B, D y H del virus del mosaico de la caña de azúcar (sugarcane mosaic virus, SCMV). SCMV-B es la raza predominante y la de mayor severidad en este cultivo (Ordosgoitti *et al.*, 1986). El virus produce en las hojas de las plantas infestadas un moteado severo con rayas finas, alargadas, cloróticas o blancas, las cuales varían en el grado de necrosis (Rea *et al.*, 1994).

El mejoramiento tradicional del cultivo se ha realizado mediante la producción de híbridos, no obstante este procedimiento requiere de 10 a 15 años y variedades de comprobada adaptabilidad y rendimiento obtenidas a través de éste proceso han mostrado con el tiempo susceptibilidad a enfermedades introducidas al país (González, 1983). Es así, que con el uso de técnicas de cultivo *in vitro* e inducción de mutaciones se puede en corto tiempo inducir en estas plantas características de interés como la resistencia a enfermedades, sin alterar las de comprobada adaptabilidad y rendimiento.

La aplicación de mutágenos puede incrementar la frecuencia de mutaciones y permite al mejorador usarlas dentro de ciertos límites. La primera limitación es impuesta por el genoma pre-existente, es decir los genes que no existen no pueden ser mutados ni eliminados. Una limitación adicional de ésta técnica es que los mutágenos que se utilizan actualmente no pueden ser dirigidos a un gen específico. Los mutágenos afectan

la estructura molecular del ADN, pero muchos de estos cambios inducidos, pueden ser reparados antes de que se manifiesten como mutaciones (mutaciones génicas, translocaciones y otras aberraciones cromosomales).

No obstante, el uso de las técnicas de cultivo de tejidos, ha permitido la recuperación de mutaciones ocurridas en células somáticas, cuando estas son sometidas a la acción de agentes mutagénicos, tales como radiación y sustancias químicas. Esto se debe a que el cambio ocurrido en una célula puede ser expresado en todas las células del organismo, cuando ésta es capaz de regenerar una planta vía embriogénesis somática. En caña de azúcar se han evaluado los cambios ocurridos en plantas regeneradas a partir de callos por variación somaclonal (Taylor *et al.*, 1995; Irvine *et al.*, 1991; Heinz, 1971).

Dentro de la gran variedad de marcadores moleculares existentes, los más utilizados son los RAPD's. En la caña de azúcar, los mismos han sido empleados para una gran diversidad de estudios, entre ellos la identificación de híbridos inter- genéricos, el estudio de estabilidad genética de plantas generadas por cultivo *in vitro* (Taylor *et al.*, 1995), la identificación de variantes somaclonales resistentes al virus del mosaico de la caña de azúcar SCMV (Oropeza y García, 1996), la identificación de materiales seleccionados *in vitro* tolerantes a glifosato (Zambrano, 1999).

En el año 1990, se obtuvieron plantas de caña de azúcar a partir de variedades comerciales utilizando la combinación del cultivo de callos y la inducción de mutaciones mediante radiación con rayos gamma (Fuchs *et al.*, 2002), con el objetivo de inducir variabilidad genética y generar resistencia al SCMV, enfermedad de alta incidencia en el país y con varias razas señaladas (Ordosgoitti *et al.*, 1986).

En las plantas regeneradas a partir de los callos irradiados y no irradiados, fue evaluada la resistencia a la enfermedad causada por SCMV, tanto en umbráculo, como en condiciones de campo durante dos generaciones de propagación vegetativa (Fuchs *et al.*, 2002). Para confirmar las características de resistencia al virus del mosaico observada en un alto porcentaje de las plantas y además establecer si esta variación es consecuencia de cambios genéticos inducidos por la radiación, se plantearon los siguientes objetivos: evaluar la resistencia al SCMV en subclones de caña de azúcar al ser inoculados con la raza B del virus, evaluar sus

características agronómicas y fisiológicas en ensayos de campo durante varias generaciones de propagación vegetativa y caracterizar la variabilidad genética generada en los subclones a través de marcadores moleculares (RAPD's).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas evaluadas provienen de la regeneración de callos de las variedades B67-49 y PR62-258, ambas con buenas características de adaptabilidad y rendimiento, pero susceptibles al SCMV. Estos callos fueron irradiados con diferentes dosis de rayos gamma utilizando una fuente de Co <sup>60</sup> (Fuchs *et al.*, 2002).

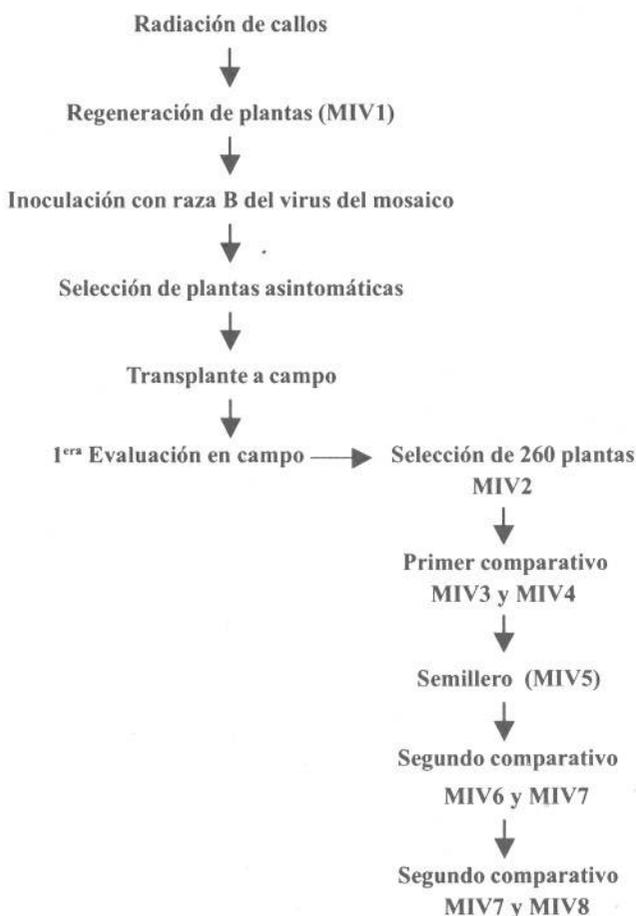
A los 60 días las plantas regeneradas fueron inoculadas con la raza B de este virus y aquellas que no mostraron síntomas de la enfermedad fueron sembradas en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), para posteriores evaluaciones. Una muestra de estas plantas, 260 subclones, fueron incorporados al Programa de Mejoramiento de la caña de azúcar en la Estación Local Yaritagua (ELY), estado Yaracuy, con la finalidad de continuar su evaluación en campo. En la Figura 1 se detalla el proceso de evaluación y selección de éstas plantas.

### Evaluación morfológica

Los subclones seleccionados, fueron evaluados morfológicamente considerando ocho (8) caracteres: color del entrenudo, número de yemas /nudo, forma de la yema, posición de la yema, lígula, color de la aurícula, color de la lámina, color de la vaina, porte de la planta y pubescencia en hojas. Esta evaluación se realizó tanto en las plantas sembradas en el Campo Experimental del CENIAP como en las plantas seleccionadas en un primer ensayo comparativo en la ELY, en Yaracuy, de acuerdo a los descriptores morfológicos para el cultivo.

### Evaluación agronómica

La evaluación agronómica de los subclones incorporados al Programa de Mejoramiento del cultivo, se realizó en ensayos comparativos situados en el campo experimental de la ELY, ubicado en el municipio Peña del estado Yaracuy.



**FIGURA 1.** Esquema de selección y evaluación de los subclones de caña de azúcar regenerados a partir de callos irradiados (MIV1 primera generación de propagación vegetativa, MIV2 segunda generación de propagación vegetativa, MIV3 tercera generación de propagación vegetativa, MIV4, cuarta generación de generación propagativa, MIV5 quinta generación de propagación vegetativa, MIV6 sexta generación de propagación vegetativa, MIV7 séptima generación de propagación vegetativa, MIV8 octava generación de propagación vegetativa).

La siembra de las plantas para el primer ensayo comparativo se realizó en parcelas experimentales constituidas de 1 hilo de 10 m de longitud por subclón, con una separación de 1,5 m entre hileras, y utilizando esquejes de tres yemas. Para el segundo comparativo la siembra se realizó en parcelas experimentales compuestas de 2 hilos 10 m de longitud por subclón; con una distancia entre hileras de 1,5 m y empleando esquejes de tres yemas. El diseño experimental aplicado fue el de bloques aumentados de Federer.

Las variables evaluadas fueron: rendimiento y productividad en caña de azúcar de  $t\ ha^{-1}$ , Pol%, y grados Brix, pureza y floración. La evaluación fitosanitaria se realizó mediante la detección visual de los síntomas de las principales enfermedades del cultivo: SCMV, roya, escaldadura y carbón.

### **Inoculación de las plantas con la raza B del virus del mosaico**

Para evaluar la estabilidad en la resistencia al virus del mosaico observada en las plantas provenientes de los callos irradiados, fueron seleccionadas y mantenidas 240 subclones en el ensayo ubicado en el Campo Experimental del CENIAP, provenientes de las plantas inicialmente regeneradas de callos de las variedades B67-49 y PR62-258 irradiados con rayos gamma (0, 2, 4, 8 y 12 Kr).

De una primera siembra se seleccionaron 2 tallos/planta, a partir de los cuales se tomaron esquejes de una yema. Estos esquejes se colocaron en papel humedecido para inducir la brotación de yemas y el desarrollo de raíces, posteriormente se sembraron en una mezcla de suelo: turba: arena en proporción 1:1:1. En algunos subclones se presentaron fallas en la formación de raíces, mientras que en otros se observó una lenta brotación de yemas. Las plantas desarrolladas a partir de los esquejes mostraron un desarrollo muy lento y se observó contaminación con hongos y bacterias fitopatógenas que produjeron muerte regresiva de las plantas.

Una segunda siembra se realizó con plantas jóvenes tomadas directamente de la macolla. Se sembraron 2 hijos/subclón en condiciones de umbráculo. En esta ocasión se observó un buen desarrollo de las plantas. En el Cuadro 1, se muestra la identificación de los subclones que fueron inoculados. A los 4 meses de la siembra las plantas fueron inoculadas con un extracto de hojas de la variedad C571, altamente susceptible a la raza B del virus del mosaico.

**CUADRO 1.** Subclones de caña de azúcar regenerados e inoculados con SCMV-B obtenidos a partir de callos irradiados con diferentes dosis de rayos gamma provenientes de las variedades B67-49 y PR62-258.

Variedad	Dosis de Radiación	Identificación	Total
B67-49	0 Kr	201-1, 201-3, 201-4, 201-5, 201-7, 204-2, 204-2, 204-3, 204-4, 213-1, 213-3	11
	2 Kr	221-1, 221-2, 221-5, 221-6, 221-7, 223-1, 223-2, 223-3, 224-1, 224-2, 224-3, 225-4, 225-5, 225-6, 225-7, 225-8, 225-9, 229-1, 229-2, 234-1, 234-4, 234-5, 234-6, 234-7, 234-9, 234-10, 236-1, 236-2, 236-3, 236-4, 236-5, 236-6, 236-7, 236-8	34
	4 Kr	240-1, 240-2, 244-3, 244-4, 245-5, 244-6, 244-7, 244-8, 244-9, 241-1, 245-3, 245-4, 245-5, 425-6, 245-7, 245-8, 245-9, 245-10, 246-1, 246-2, 246-3, 246-4, 249-1, 249-2, 249-3, 249-4, 249-5, 249-6, 249-7, 249-8, 250-1, 250-2, 253-1, 254-1, 254-2, 254-3, 254-6, 254-7, 254-8, 255-1, 255-2, 255-5, 256-1, 256-2, 258-1, 258-2, 258-3	47
	8 Kr	264-1, 264-2, 264-5, 266-2, 271-1, 271-2, 271-4, 274-1, 274-2, 274-3, 274-4, 274-5, 274-6, 274-7, 274-8, 274-9, 276-1, 277-1, 277-2, 280-1	20
	12 Kr	292-1, 292-2, 298-1, 298-2, 298-3, 298-4, 298-5, 298-6, 298-7, 298-8, 298-9, 298-10	12
PR62-258	0 Kr	312-1, 317-1, 317-2, 317-3, 317-4, 317-7, 351-8, 351-9, 351-10, 351-11	08
	4 Kr	351-1, 351-3, 351-4, 351-5, 351-6, 351-7, 351-8, 351-9, 351-10, 351-11	10
Total Subclones			152

El primer número que identifica al subclón corresponde a la variedad de Origen (2:B67-49; 3:PR62-258). El segundo número de dos cifras corresponde a la dosis de radiación (0 al 20: sin irradiar; 21 al 40: 2 Kr; 41 al 60: 4Kr; 61 al 80: 8 Kr; 81 al 99: 12 Kr). El último número después del guión corresponde al número de planta.

La inoculación fue realizada según la metodología utilizada por Rea (1993), con algunas modificaciones. El inóculo fue preparado licuando 400 g de hojas/ 2 l de agua destilada fría, el licuado fue filtrado con gasa y almacenado a 4 °C hasta el momento de su uso. Previamente a la aplicación del inóculo con asperjadora de espalda se aplicó el abrasivo carborundum más inóculo a cada una de las hojas en forma manual. Se realizó una segunda inoculación tres meses después, utilizando esta vez el método del dedo impregnado con carborundum. La observación de los síntomas se realizó semanalmente. Se incluyeron como testigos plantas de B67-49 y PR62-258 y la planta indicadora sorgo variedad Maracay, altamente susceptible a la enfermedad<sup>1</sup>.

### **Caracterización molecular de clones de caña de azúcar resistentes al virus del mosaico.**

La extracción de ADN se realizó utilizando la metodología de mini-extracción descrita en CIAT (1999). La calidad y concentración del ADN genómico fue determinada en geles de agarosa. Una vez extraído y cuantificado el ADN se procedió a su amplificación con iniciadores aleatorios según metodología descrita por Zambrano (1999), utilizando 25 µl de mezcla de reacción constituidos por 2,5 µl de Buffer B 10X, 3 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0,2 mM de cada uno de los dNTPs (A, C, G y T), 1 µM de primer, 1 unidad de Taq DNA polimerasa (Promega) y 25 ng de ADN. A la mezcla de reacción se le agregó 20 µl de aceite mineral. Para la amplificación se utilizaron 12 primers de Operon Technologies: OPA01, OPA04, OPA07, OPB04, OPB07, OPK03, OPK05, OPK15, OPM04, OPM 14, OPM18 y OPM 20.

La amplificación fue llevada a cabo en un termociclador marca Techne GeneE. El ciclo de desnaturalización fue iniciado a 94 °C por 5 min, seguido de 45 ciclos de amplificación a 94 °C por 1 min, 36 °C por 30 seg, y extensión a 72 °C por 2 min. El paso final fue un ciclo a 72 °C por 7 min.

Los productos de amplificación fueron analizados en geles de agarosa al 1,4% en buffer Tris borato, los geles se tiñeron con bromuro de etidium y las bandas fueron observadas y fotografiadas en un transiluminador con luz UV. Como marcador de pesos moleculares se utilizó λ Phage DNA digerido con Hind III y Eco R I.

---

<sup>1</sup> Mena, Héctor. Investigador. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Venezuela. Comunicación personal.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1. Evaluación morfológica

Al comparar las variaciones morfológicas de los subclones generados con la variedad de origen, las mismas se observaron con baja frecuencia. Las variaciones se percibieron principalmente en el patrón de las yemas, porte de la planta, el desarrollo de yemas en los nudos superiores, pubescencia en la lámina de la hoja y coloración del entrenudo (Cuadro 2).

**CUADRO 2.** Frecuencias de las variaciones morfológicas observadas en subclones de caña de azúcar generados a partir de callos irradiados con diferentes dosis de rayos gamma.

Característica morfológica evaluada	Número de subclones que presentaron variación
Patrón de la yema	03
Desarrollo de yemas en nudos superiores	08
Pubescencia en lámina de la hoja	01
Quimera en hojas	01
Coloración morada de entrenudos	01

#### Característica morfológica evaluada número de subclones que presentaron variación

De un total de 89 plantas evaluadas en el Campo Experimental del CENIAP, se observaron yemas ovales en los subclones 229-10 y 229-2; yemas aplanadas en el subclón 229-5 yemas triangulares en el subclón 229-15 y emisión de brotes en las yemas de los nudos superiores en los subclones 229-2, 220-8, 220-12 y 225-9.

De un total de 60 plantas evaluadas en el semillero para el 2<sup>do</sup> ensayo comparativo se observó: quimera en las hojas del subclón 232-78; pronunciada pubescencia en la lámina de hojas del subclón 229-13 y la emisión de brotes en los nudos superiores en los subclones 234-36,

232-78 y 232-69. La presencia de pelos epidérmicos en la lámina de la hoja es una característica marcadora del clon SP83-3079, carácter que ha sido observado en pocos clones de *S. robustum* y *S. edule* (Irving, 1991). La presencia de quimeras en plantas de caña de azúcar regeneradas a partir de callos, sugiere un origen multicelular de las plantas en las que estarían involucradas capas de células con plastidios carentes de clorofila y capas de células normales.

En los subclones inoculados con el virus del mosaico, también se observaron variaciones morfológicas muy evidentes. El subclón 298-7, presentó abundantes brotes en los nudos superiores, además de entrenudos de coloración morada. Esta planta proviene de un callo sometido a la dosis más alta de radiación (12 Krad).

La radiación puede generar cambios morfológicos y fisiológicos que son indeseables en una variedad, por ejemplo la variedad de caña de azúcar Co8152 es un mutante de la variedad Co527 inducido por rayos gamma, la cual tiene un 40% más rendimiento en caña que la variedad madre, pero que presenta como característica indeseable que las hojas inferiores se secan más rápidamente que la Co527 (Singh, 1999). En este caso, la característica de múltiples brotes en los nudos superiores observada en algunos subclones, pudiera considerarse indeseable para la producción de azúcar. Aún cuando pocas mutaciones morfológicas han sido identificadas en caña de azúcar, los cambios morfológicos que permanecen estables a través de diferentes generaciones de propagación vegetativa sugiere la presencia de efectos mutacionales (Irvine, 1991).

## 2. Evaluación Agronómica

De los 261 genotipos evaluados en un 1<sup>er</sup> ensayo comparativo, se seleccionaron un total de 60 subclones para ser incorporados al 2<sup>do</sup> ensayo comparativo. En este ensayo 16 subclones presentaron características sobresalientes en rendimiento y tolerancia a las principales enfermedades del cultivo (Cuadro 3).

Cuatro de los clones evaluados (6,6%) dieron rendimiento en t de caña ha<sup>-1</sup> similares a los testigos en plantilla (B67-49 y PR980) y cinco clones (8,3%) con valores de Pol % en caña similares a los de variedad de origen B67-49. Estos resultados indican aún cuando el comportamiento agronómico de los subclones fue variable, un 26,6% de los clones evaluados en el 2<sup>do</sup> ensayo comparativo mantuvo características de rendi-

miento y adaptabilidad similares a los de la variedad de origen. Los cambios generados en estas plantas producto de la radiación, no afectaron las características de rendimiento y productividad de la variedad de origen, la B67-49.

Al evaluar el comportamiento agronómico de dos somaclones PR62-258, resistentes al virus del mosaico Oropeza y García (1996), encuentran que el comportamiento de las plantas a los 9 meses de cultivo fue similar a la variedad de origen en las características siguientes: grosor del tallo, número de tallos secundarios y grados Brix, sin embargo, observaron que la altura de los tallos fue significativamente menor.

La inducción de mutaciones en plantas de caña de azúcar ha permitido la selección de variedades resistentes a enfermedades como el carbón *Ustilago scitamineae* (Suni *et al.*, 1984) y ha sido incorporada a programas de mejoramiento para suprimir la floración (Prida y Preecha, 1984), también se ha señalado que el estudio de mutaciones morfológicas, como es la presencia de múltiples yemas, que se considera ventajosa para la supervivencia de la yema y producción de plantas por unidad de área (Burner y Legender, 1998), pueden ser incorporada en programas de mejoramiento de este cultivo. En este caso, el uso de mutaciones en la obtención de clones resistentes al SCMV-B ha permitido además mantener las características de rendimiento de la variedad de origen, en seis de las plantas regeneradas, sin la presencia de características morfológicas o fisiológicas indeseables.

### **Inoculación con el virus del mosaico**

Los primeros síntomas (clorosis en las hojas más jóvenes) de la enfermedad se observaron la 3<sup>ra</sup> semana después de la aplicación del inóculo. A las 12 semanas se observaron síntomas severos (clorosis en todas las hojas y enrollamiento de los bordes). La variedad sorgo Maracay, mostró síntomas muy severos de la enfermedad con necrosis foliar.

Se pudo observar que solamente cinco subclones B67-49 y un subclón PR62-258, mostraron síntomas de la enfermedad (Cuadro 4), considerando los resultados obtenidos por Rea *et al.* (1994) y Oropeza y García (1996), quienes encontraron que el SCMV está presente únicamente en las plantas que muestran síntomas de la enfermedad, se puede señalar que la resistencia al virus del mosaico observada en los subclones asintomáticos durante todo el proceso de evaluación en campo, es producto de un cambio

**CUADRO 3.** Evaluación agronómica de subclones de caña de azúcar regenerados a partir de callos provenientes de dos variedades irradiadas con diferentes dosis de rayos gamma.

Clon	Planta		Soca		Promedio	
	TCH	Pol% caña	TCH	Pol% caña	TCH	Pol% caña
2-21-19	152,29	13,57	104,21	11,38	128,25	12,48
2-23-08	71,67	11,53	45,50	11,86	58,59	11,70
2-25-28	115,00	10,32	94,67	8,50	104,84	9,41
2-25-62	124,83	9,55	114,17	12,01	119,50	10,78
2-29-04	104,42	11,17	62,58	10,90	83,50	11,04
2-31-06	202,17	11,73	112,42	12,21	157,30	11,97
2-32-06	204,83	10,81	121,67	10,86	163,25	10,84
2-32-23	149,50	9,86	104,58	10,42	127,04	10,14
2-32-28	200,33	11,73	145,92	11,76	173,13	11,75
2-32-46	146,46	11,68	104,29	15,58	125,38	13,63
2-32-49	130,25	8,83	104,17	7,15	117,21	7,99
2-32-67	188,46	9,73	104,17	10,71	146,32	10,22
2-34-06	164,00	11,50	97,08	9,64	130,54	10,57
2-34-31	201,92	10,21	106,21	10,58	154,07	10,40
2-34-36	190,71	10,65	130,63	10,29	160,67	10,47
B67-49	183,33	11,23	130,17	11,65	156,75	11,44
PR980	113,46	11,96	96,83	12,83		

El primer número que identifica al subclón corresponde a la variedad de Origen (2:B67-49, 1:PR62-258). El segundo número de dos cifras corresponde a la dosis de radiación (0 al 20: sin irradiar, 21 al 40: 2 Kr, 41 al 60: 4Kr, 61 al 80: 8 Kr, 81 al 99: 12 Kr). El último número después del guión corresponde al número de planta.

genético inducido por la radiación. A este respecto, Oropeza y García (1996), aún sin el uso de radiación y sólo como producto de la variación somaclonal, señalan la obtención de dos variantes resistentes al virus del mosaico y confirman la no presencia de partículas virales en estas plantas, lo que demuestra la característica de resistencia a esta enfermedad.

**CUADRO 4.** Subclones de caña de azúcar que mostraron síntomas de mosaico después de ser inoculados con la raza B del virus.

Subclon	Síntomas
221-5	Clorosis en todas las hojas
244-6	Clorosis en hojas jóvenes
244-9	Clorosis en hojas jóvenes
258-3	Clorosis en hojas jóvenes
264-5	Clorosis en hojas jóvenes
312-1	Clorosis en todas las hojas y enrollamiento en los bordes

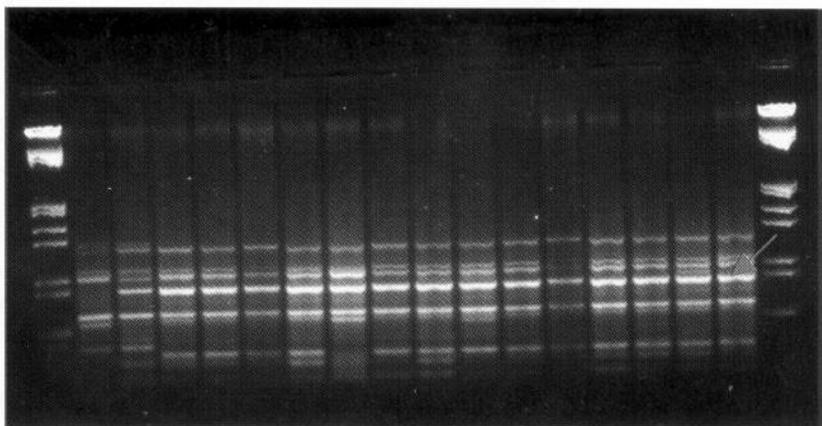
### Caracterización molecular

Las diferencias de los productos de RAPDs utilizando para la amplificación el iniciador OPM20 (Figura 2), permitieron detectar la separación entre los quince genotipos mutantes y cultivar B67-49.

Los productos de PCR obtenido con el iniciador OPM-14 (Figura 2) exhiben un fragmento de 854 pares de bases que puede ser usado para caracterizar los quince clones resistentes a SCMV obtenidos por mutaciones (2-21-19, 2-23-08, 2-25-28, 2-25-62, 2-29-04, 2-31-06, 2-32-06, 2-32-23, 2-32-28, 2-32-46, 2-32-49, 2-32-67, 2-34-06, 2-34-31 y 2-34-36). Este segmento no está presente en el cultivar B67-49 susceptible al virus. Estos resultados son similares a los obtenidos por Oropeza y García (1996), quienes encuentran una banda de 874 bp en somaclones de caña de azúcar que mostraron resistencia al virus del mosaico, la cual no fue observada en el cultivar PR62258 susceptible a esta enfermedad. Estos autores utilizaron el iniciador OPA04 para obtener los productos de PCR.

Las diferencias detectadas entre los genotipos mutantes y el genotipo del cultivar B67-49 que los originó a través de irradiación gamma corrobora las diferencias detectadas en campo con respecto a la resistencia a SCMV de los mutantes.

El análisis usando iniciadores para la amplificación aleatoria de segmentos de ADN diferencia eficientemente clones de caña de azúcar resistentes al SCMV generados por mutaciones inducidas de su progenitor cv B67-49 susceptible a dicha enfermedad. Esto confirma que las variaciones agronómicas, morfológicas y fisiológicas observadas durante los ensayos de campo en los subclones al compararlos con la variedad de origen, se deben a cambios genéticos producidos por el tratamiento mutagénico, que en todas las plantas seleccionadas corresponde a la dosis de 2 Kr.



**FIGURA 2.** Productos de PCR obtenidos con el iniciador OPM-14, en la variedad de caña de azúcar B67-49 (M) y los subclones mutantes (1 al 15). Se señala con una flecha el fragmento de 854 pares de bases presente en todos los subclones y ausente en B67-49, que pudiera estar relacionado con la resistencia a mosaico.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación de los subclones de caña de azúcar, permiten señalar que se trata de plantas con un comportamiento diferente a la variedad de la cual se originaron.
- Las diferencias se observan en un alto porcentaje de plantas, en la respuesta a la presencia de agentes patógenos como el virus del mosaico, al mantenerse la característica de resistencia a esta enfermedad luego de ser inoculadas nuevamente con la raza B de este virus.
- Los 16 subclones seleccionados después de 8 generaciones de propagación vegetativa, mantienen características de rendimiento como t de caña ha<sup>-1</sup> y Pol% en caña, similares a las de B67-49.
- Aún cuando, un porcentaje muy bajo de estas plantas mostraron cambios en su morfología, los estudios de caracterización molecular realizados, demostraron que existen cambios genéticos en ellas, al compararlas con B67-49, los cuales se atribuyen al efecto de la radiación.
- Estos resultados sugieren la posibilidad de que al finalizar el proceso de selección en campo (ensayos replicados y regionales) se pueda contar con al menos una planta que mantengan buenas características de rendimiento y adaptabilidad, es decir con una nueva variedad, mutante de la B67-49.

## AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (IVIC) por su colaboración en la irradiación de los callos. Al personal técnico del programa varietal del INIA-Yaracuy: Anfer Ortiz, Milagros Niño y Jose George, por la colaboración prestada en la evaluación y toma de muestra de las plantas.

## SUMMARY

To evaluate the variability induced by gamma rays *in vitro* cultivated sugarcane callus, as well as to determine the stability to mosaic virus

resistance (SCMV), agronomic and morphologic characters were evaluated in field trials through successive vegetative generations. A sample of sugarcane plants was inoculated using the strain B of the SCMV in order to evaluate disease resistance stability. Sugarcane plants selected through the standard selection program were molecularly characterized by using the RAPD's technique. The results showed a high percentage of plants, 84% under field conditions and 95% of SCMV-B inoculated plants, free of mosaic symptoms. A low percentage of plants showed morphological variations such as buds, knot buds and leaf pubescence. Sixteen (16) out of 264 sugarcane plants evaluated in field trials had both, a good yield performance (Tons of sugar and cane) and disease resistance. RAPD's technique allowed to genetically differentiate sugarcane plants from the source parent B67-49. Callus irradiation with gamma rays promoted DNA structural changes that were favorable in a high percentage of evaluated sugarcane plants.

**Keys Words:** *Saccharum* sp.; mutation; resistance; sugarcane mosaic virus (SCMV), RAPD.

## BIBLIOGRAFÍA

BURNER, D. and B. L LEGENDERE. 1998. Agronomic performance and transmission of the multiple-bud mutation of sugarcane. *Crop Science* 38(4):928-932.

CIAT. 1999. Taller integración de fitopatología, mejoramiento y biología molecular para el desarrollo de resistencia al añublo del arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali. Colombia. 14-18 de octubre.

FUCHS, M., V. GONZÁLEZ, S. CASTRONI, E. DÍAZ y L. CASTRO. 2002. Evaluación de la reacción al virus del mosaico en plantas de caña de azúcar provenientes de callos irradiados. *Agronomía Trop.* 52(3):375-390.

GONZÁLEZ, V. 1983. El mejoramiento genético de la caña de azúcar en Venezuela (1961-1981). I. Selección de variedades venezolanas. *Caña de Azúcar. Venezuela.* 1 (12):41-56.

HEINZ, D. J. and G. MEE. 1971. Morphologic, cytogenetic, and enzymatic variation in *Saccharum* species Hybrid clones derived from callus tissue. *American Journal of Botany*, 58(3):257-262.

IRVINE, J. E., G. T. BENDA, B. L. LEGENDRE and G. R. MACHADO. 1991. The frequency of marker changes in sugarcane plants regenerated from callus culture. *Planta, Cell, Tissue and Organ Culture*. 26:115-125.

ORDOSGOITTI, A., A. APONTE y V. GONZÁLEZ. 1986. Reacción de variedades de caña de azúcar a las enfermedades carbón, roya, escaldadura, mancha de ojo y mosaico. **In:** Primera reunión Latinoamericana sobre enfermedades de la caña de azúcar. La Habana.

OROPEZA, M. and E. GARCÍA. 1996. Somaclonal variants resistant to sugarcane Mosaic virus and their Agronomic Characterization. *In vitro cell. Dev. Biol.* 32:26-30.

REA, R., V. GONZÁLEZ y O. ORDOSGOITTI. 1994. Reacción de genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* sp. hibrid) a la raza B del virus del mosaico de la caña de azúcar. *Fitopatología Venezolana*. 7(1):18-21.

REA, R. 1993. Genética de la Reacción de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la raza B del virus del mosaico de la caña de azúcar. Tesis de maestría. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 51 p.

SUNI, S. and T. PRACHA. 1984. Mutation breeding in sugarcane for smut resistance by gamma ray on sugarcane bud. Research Report in 1984: Fiber, crop, sugarcane, tobacco. Department of Agriculture. Bangkok. Thailand. p. 338.

SINGH, B. D. 1999. Mutations in crop improvement. **In:** Plant Breeding. Principles and Methods. Kalyani Publishers. 702 p.

TAYLOR, P., J. R. GEIJSKES, H. O. KO, T. A. FRASER, R. J. HENRY and R. G. BIRCH. 1995. Sensitivity of random amplified polymorphic DNA analysis to detect genetic change in sugarcane during tissue culture. 90:1 169-1 173.

ZAMBRANO, A. Y. 1999. Generación de variabilidad para resistencia a dosis crecientes del herbicida glifosato y selección *in vitro* en cultivo de células en suspensión en tres cultivares de caña de azúcar *Saccharum* spp. Tesis Doctoral. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 80 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.

**Autor(es).** Primer nombre completo, inicial del 2<sup>do</sup> 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.

**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 asteriscos 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.

- 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.

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

Los símbolos a usar son:

	Símbolo/abrev,	reemplaza
metro,	m,	
kilómetro,	km ( $10^3$ m)	
decímetro,	dm	
centímetro,	cm ( $10^{-2}$ m)	
milímetro,	mm ( $10^{-3}$ m)	
micra	$\mu$	
micromilímetro,	$\mu$ m ( $10^{-6}$ m),	microm
nanómetro,	nm ( $10^{-9}$ m),	Angstrom
metro cuadrado,	m <sup>2</sup>	
hectárea,	ha	
metro cúbico,	m <sup>3</sup>	
litro,	l	
gramo,	g	
kilogramo,	kg	
tonelada,	t	
mega gramo,	Mg,	
miligramo,	mg ( $10^{-3}$ g)	
microgramo,	$\mu$ g ( $10^{-6}$ g)	
nanogramo,	ng ( $10^{-9}$ g)	
kilogramo/hectárea,	kg ha <sup>-1</sup>	
toneladas/hectárea,	t ha <sup>-1</sup>	
megapascal,	M Pa,	bar
grado Celsius,	°C	
grado Joule,	J,	caloría
grado Kelvin	°K	
centimole por kilogramo,	c mol kg <sup>-1</sup> ,	meq por 100g
gramo por kilogramo,	g kg <sup>-1</sup>	
miligramo por kilogramo,	mg kg <sup>-1</sup> ,	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 quien 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  
Impresión: Juan Salas

Impreso en el Taller Gráfico del INIA  
Maracay, estado Aragua, Venezuela  
Julio de 2005

