

EVALUACIÓN DE NUEVAS VARIEDADES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) DE GRANO PARA CONSUMO HUMANO Y ANIMAL

G. Oramas[✉], C. M. Torres, E. García y M. Sánchez

ABSTRACT. The results of a survey on genotype-environment interaction, applied to a group of four promising grain sorghum varieties (80 L (27925-1); M-36285; MR 4 (4606) T ⊕ 11; GOLDEN ISIAP) are shown, with the purpose of evaluating grain yield, plant height and precocity, compared to two checks (V-4, V-3). The study had 12 randomized block-designed experiments and four replications. The trials were carried out in two locations (Alquízar, Havana and Velasco, Holguín), during the poorly-rainy and rainy seasons (November-February and April-July, respectively), for three years (1985-1986; 1986-1987; 1987-1988). Different univariate and multivariate methods of genetic evaluation were used for the selection of the introduced varieties with favorable response to the weather and handling conditions in the agricultural areas. The results show that the promising varieties reached good yields (3843-3969 kg.ha⁻¹), as well as acceptable plant height (166-169 cm) and precocity (70 days), especially the GOLDEN ISIAP variety.

Key words: sorghum, genotype ambient interaction, evaluation

RESUMEN. Se muestran los resultados de un estudio de interacción genotipo-ambiente realizado a un grupo de cuatro variedades promisorias de sorgo de grano para consumo humano y animal (80 L (27925-1); M-36285; MR 4 (4606) T ⊕ 11; ISIAP DORADO), con el propósito de evaluar el rendimiento en grano, la altura de la planta y la precocidad, comparadas con dos testigos locales (V-4; V-3). Este estudio se realizó en 12 experimentos diseñados en bloques al azar con cuatro réplicas. Los ensayos se llevaron a cabo durante las épocas poco lluviosa y lluviosa (noviembre-febrero y abril-julio, respectivamente), en dos localidades (Alquízar, La Habana y Velasco, Holguín) a través de tres años (1985-1986; 1986-1987 y 1987-1988). Para la selección de las variedades introducidas que respondieran favorablemente a las condiciones ambientales y de manejo en las zonas agrícolas, se utilizaron diferentes métodos de evaluación genética uni y multivariados. Los resultados obtenidos muestran que las variedades promisorias alcanzaron buenos rendimientos (3843-3969 kg.ha⁻¹) y aceptables altura de planta (166-169 cm) y precocidad (70 días), destacándose la ISIAP DORADO.

Palabras clave: sorgo, interacción genotipo ambiente, evaluación

INTRODUCCIÓN

El sorgo para grano es un cultivo de variado aprovechamiento. El grano se emplea como alimento humano, para la alimentación del ganado (1, 2, 3), las aves de corral (4, 5, 6) y como materia prima en almidonería y la industria alcoholera (7).

Este cultivo ofrece perspectivas favorables en relación con otros granos (8), debido a que necesita menos requerimientos agrotécnicos en general y presenta una mayor plasticidad respecto a la época de siembra y tipo de suelo (9, 10, 11, 12, 13, 14).

G. Oramas, Investigador Auxiliar, Especialista del CITMA, Capitolio Nacional, Industria y San José, Ciudad de La Habana; C. M. Torres, Especialista de la Estación de Semilla Básica y Cuarentena "El Tomeguín", km 5 ½ carr. del Tumbadero, Alquízar, La Habana; E. García, Especialista del Programa de Granos de la Estación de Velasco, Holguín; M. Sánchez, Investigador Agregado del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", km 5 ½ carr. Bejucal, Quivicán, La Habana, Cuba.

✉ oramas@citma.cu

En Cuba, el millo (sorgo de porte alto, de grano pequeño y blanco) ha sido consumido como alimento humano y animal durante los últimos 100 años, en zonas limitadas del país, tales como Bejucal, Alquízar, Quivicán y otras. Sin embargo, el mayor empleo de la especie en los últimos 25 años ha sido como alimento del ganado. En efecto, Cuba, como la mayoría de los países tropicales, dispone de grandes extensiones de pastos naturales en contraste con pequeñas áreas dedicadas al cultivo de granos, que constituyen una importante vía para mejorar la dieta animal. Por otra parte, las circunstancias económicas que atraviesa el país actualmente, tornan casi prohibitiva la importación de cereales a los niveles requeridos para la elaboración de piensos, por lo que se hace necesario consolidar una base alimentaria nacional, que garantice incrementar la oferta a la población de alimentos ricos en proteínas de origen animal como huevos, carnes y leche, hasta cubrir sus necesidades nutricionales (15). Para la alimentación animal, es necesario disponer de un cereal que se adapte a las condiciones tropicales del país, capaz de crecer hasta en suelos salinos y alcalinos (hasta de pH 8.9), con posibilidad de cultivo manual o mecani-

zado (6, 13). Sin duda alguna, entre los materiales que cumplen los requerimientos anteriores se encuentra el sorgo de producción nacional.

Para contar con un número considerable de variedades de sorgo de consumo humano y animal, adaptadas a las condiciones climáticas de Cuba, con rendimientos aceptables y buenas características agrotécnicas se requiere, en primer término, la introducción de genotipos procedentes de zonas similares a la del país y su posterior mejoramiento a través de la selección u otros métodos conocidos (15).

El objetivo del presente estudio realizado en 12 ambientes diferentes fue valorar variedades de sorgo introducidas, empleando métodos de evaluación genética para seleccionar las que respondieran favorablemente a las condiciones ambientales y de manejo en las zonas donde tradicionalmente se ha sembrado el sorgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo de regionalización se llevó a cabo usando un diseño de bloques al azar de efecto fijo (16) con cuatro réplicas. Las variedades (Tabla I) se sembraron en parcelas de cuatro surcos de 5 m de largo y 0.70 m entre surcos. El área de cálculo fue de 4.2 m². Con los datos de tres años (1985-1986; 1986-1987 y 1987-1988) del experimento, correspondiente a dos épocas, poco lluviosa (con riego) y lluviosa (noviembre-febrero y abril-julio, respectivamente) por año, se realizó un análisis de varianza multifactorial para experimentos en serie o en espacio y tiempo (17) para todos los caracteres en estudio. Los factores analizados fueron genotipos, localidades, épocas de siembra y años (18), así como los efectos de las réplicas en los años y localidades (17). Se procedió posteriormente a la docimación de estas con la prueba de F. Se emplearon dos de los principales métodos considerados como clásicos, para estimar la estabilidad fenotípica y adaptabilidad de los genotipos a través de sus estadígrafos principales sobre la serie de experimentos (19) y Ecovalencia de Wricke (20), utilizando para ello el programa de estabilidad de la Facultad de Biología de La Habana (21). También se efectuaron el análisis de cartografía de residuos individuales a partir de un reagrupamiento de ensayos y el de componentes principales, que se realizó con el objetivo de clasificar los genotipos atendiendo a su comportamiento respecto a rendimiento (kg.ha⁻¹), altura de planta (cm) y floración (días), por considerarse los más importantes desde el punto de vista agrícola.

Tabla I. Relación de variedades

Denominación	Tipo de grano	Procedencia	Utilización
80 L (27925-1)	Moteado	México	Consumo animal
M-36285	Moteado	México	Consumo animal
MR 4 (4606) T ⊕ 11	Moteado	México	Consumo animal
ISIAP DORADO	Blanco	México	Consumo humano y animal
V-4 (Control)	Rojo	Cuba	Consumo animal
V-3 (Control)	Rojo	Cuba	Consumo animal

Las condiciones climáticas de las regiones, fundamentalmente precipitación y temperatura, se muestran en las Figuras 1 y 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez chequeada la homogeneidad de la varianza del error y de todas las interacciones de los tratamientos, se realizó el análisis de varianza multifactorial. En relación con los aspectos fundamentales del análisis de varianza sobre todas las variables en estudio del experimento de regionalización, se obtuvo significación ($P > 0.05$) para todos los factores excepto réplica dentro de "años x localidad". La información de mayor interés se refiere al rendimiento y a la interacción de tercer orden (Tabla II). En general, se puede observar que los ambientes más favorables fueron los de la localidad de Holguín y que la variedad experimental ISIAP Dorado fue la que mejor se adaptó a la mayoría de los ambientes de ambas localidades, coincidiendo en gran medida con el resultado planteado posteriormente en los análisis de estabilidad fenotípica y adaptabilidad.

Como se puede apreciar en la Tabla III, para el rendimiento todas las variedades en estudio presentaron adaptabilidad (19); la variedad ISIAP Dorado mostró diferencia significativa por debajo de 1, por lo que se considera mejor adaptada a ambientes menos favorables. Al observar la media de este carácter, la ISIAP Dorado presentó el mayor valor por encima de la media general -39 692 vs 38 632- (19) y la estabilidad expresada como coeficiente de determinación r^2 fue mayor para la variedad ISIAP Dorado (0.9211), lo que demuestra que dicha variedad fue la más estable; le siguieron en orden de mérito la 80 L (27925-1) con 0.8922 y la variedad control V-3 (0.8907). Las variedades MR 4 (4606) T ⊕ 11 y V-4 (control), con los valores de r^2 de 0.5768 y 0.6380 respectivamente, no presentaron mucho ajuste de la linealidad, mostrando menor estabilidad. Además, con respecto a la ecovalencia (20), las variedades que presentaron menor valor del W_i y no difirieron significativamente fueron en orden ascendente: la testigo V-3 ($W_i=1.5393$), la 80 L (27925-1) con una $W_i=1.7822$ y la variedad ISIAP Dorado ($W_i=2.2173$), considerando por tanto que son las más estables. Para el carácter altura de la planta, lo cual se refleja en la Tabla III, en las medias no existió diferencia de importancia agronómica. En cuanto a floración, no se encontraron diferencias importantes respecto a la media.

En cuanto a la descripción de las interacciones genotipo x ambiente, utilizando la cartografía de los residuos para la variable rendimiento, se pudo observar que los ambientes más favorables fueron los de la localidad de Holguín y que la variedad experimental ISIAP Dorado fue la que mejor se adaptó a la mayoría de los ambientes de ambas localidades, coincidiendo en gran medida con el resultado planteado anteriormente en los análisis multifactorial, de estabilidad fenotípica y adaptabilidad (Figuras 3 y 4).

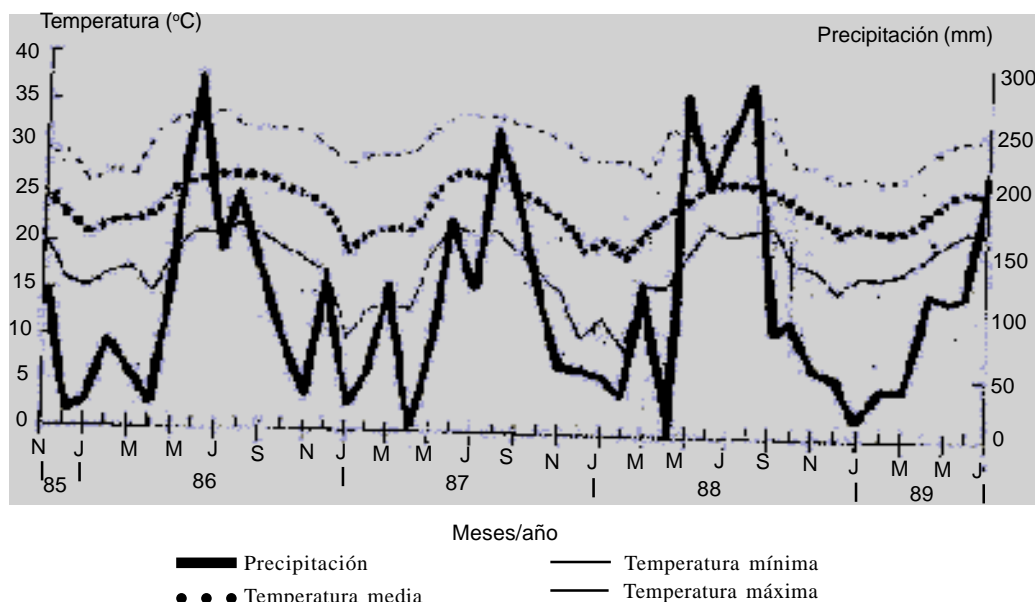


Figura 1. Condiciones meteorológicas (Alquízar 1985-1989)

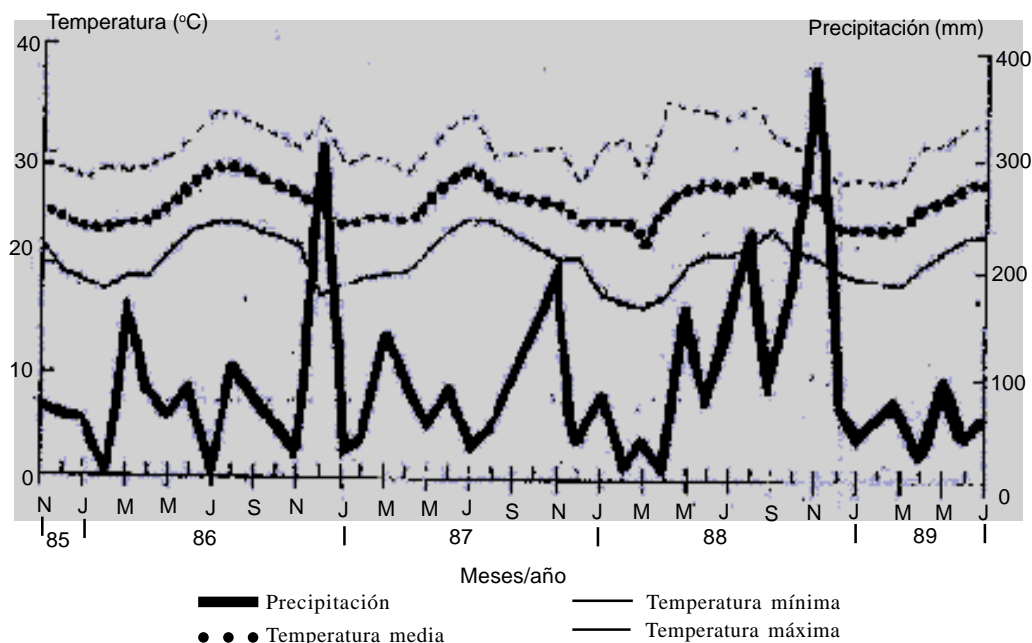


Figura 2. Condiciones meteorológicas (Velasco 1985-1989)

Tabla II. Resultados de la prueba de rangos múltiples de Duncan en la interacción variedad x localidad x época x año para la variable rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Variedades	Localidad Alquízar						Localidad Velasco					
	Época poco lluviosa			Época lluviosa			Época poco lluviosa			Época lluviosa		
	1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988
80 L (27915-1)	2940 ^{de}	2240 ^e	1722 ^e	3392 ^{cd}	3642 ^{cd}	4650 ^{bc}	4067 ^{cd}	5750 ^{ab}	3667 ^{cd}	5282 ^{ab}	3352 ^{cd}	4615 ^{bc}
MR4(4606) T ⊕ 11	3435 ^{cd}	3122 ^d	2887 ^{de}	2515 ^{de}	3877 ^{cd}	6100 ^a	4170 ^{cd}	4755 ^{bc}	3632 ^{cd}	3867 ^{cd}	4570 ^{bc}	4222 ^{cd}
M-36285	2467 ^{de}	2805 ^{de}	1932 ^e	3355 ^{cd}	4047 ^{cd}	5575 ^{ab}	3792 ^{cd}	4932 ^{bc}	3277 ^d	5675 ^{ab}	3277 ^d	4267 ^c
ISIAP Dorado	2505 ^{de}	2420 ^{de}	1565 ^e	3675 ^{cd}	3840 ^{cd}	4575 ^{bc}	4025 ^{cd}	5312 ^{ab}	5127 ^{bc}	4035 ^{cd}	5127 ^{bc}	4367 ^{bc}
V-4 control	2930 ^{de}	1875 ^e	1682 ^e	4075 ^{cd}	3050 ^{de}	4087 ^{cd}	4204 ^{cd}	5872 ^{ab}	5213 ^b	4100 ^{cd}	4915 ^{bc}	4260 ^c
V-3 control	3960 ^{cd}	2032 ^e	1435 ^e	3677 ^{cd}	4123 ^{cd}	5082 ^{bc}	3912 ^{cd}	5730 ^{ab}	4900 ^{bc}	3980 ^{cd}	4900 ^{bc}	5167 ^{bc}
EEx							± 270					

a, b, c, d, e Medias con letras comunes no difieren significativamente a nivel de $p < 0.05$, según la prueba de rangos múltiples de Duncan

Tabla III. Parámetros de estabilidad para el rendimiento, la altura de la planta y la floración

Carácter y variedades	Parámetros estimados				
	X	B	EE (b)	γ^2	Wi
Rendimiento (kg)					
80 L (27925-1)	3846	0.8251	0.0907	0.8922	1.7822 ab
M-36285	3843	0.7456	0.1205	0.7929	3.6087 abc
MR 4 (4606) T ⊕ 11	3934	0.8399	0.2275	0.5768	5.3526 bc
ISIAP Dorado	3969	0.7476**	0.0692	0.9211	2.2173 abc
V-4 (c)	3756	0.6953	0.1656	0.6380	5.8400 c
V-3 (c)	3829	0.8744	0.0969	0.8907	1.5393 a
X General	3863				
Altura de la planta (cm)					
80 L (27925-1)	166	0.5812**	0.1294	0.6685	848.08 a
M-36285	166	0.7140 *	0.1094	0.8111	398.59 a
MR 4 (4606) T ⊕ 11	166	0.5276 *	0.2125	0.3814	1155.29 ab
ISIAP Dorado	169	0.6764	0.1641	0.6294	643.28 a
V-4 (c)	154	0.2907 ***	0.0961	0.4779	4209.58 c
V-3 (c)	155	0.1929 **	0.2064	0.0803	2907.02 bc
X General	163				
Floración (días)					
80 L (27925-1)	70	0.9573	0.0608	0.9612	15.18 a
M-36285	70	1.0186	0.1217	0.8751	46.67 ab
MR 4 (4606) T ⊕ 11	70	0.8897	0.0713	0.9396	27.89 ab
ISIAP Dorado	70	0.8109 *	0.800	0.9113	51.53 b
V-4 (c)	69	0.8984	0.0834	0.9206	33.97 ab
V-3 (c)	71	0.9465	0.1093	0.8823	44.90 ab
X General	70				

*Significativo para P<0.05
 **Significativo para P<0.01
 ***Significativo para P<0.001
 a,b,c, letras distintas significan valores estadísticamente diferentes de ecovalencia con P<0.05

Sobre el análisis de componentes principales (Figura 5), se apreció que, de acuerdo con los autovalores y autovectores, la primera componente extrajo un 57.1 % y conjuntamente con la que le sigue se llegó al 84.4 %, lo que indica que con estas dos componentes prácticamente se pudo explicar la población estudiada. Analizando la primera componente, se pudo observar que el valor del rendimiento resultó el más importante (0.6437), se-

guido del valor días hasta la floración (0.6118). En cuanto a la segunda componente, se observó que prácticamente se explica por la altura de la planta (0.8755). Además, se presentaron los seis grupos obtenidos de acuerdo con las mencionadas características. En el grupo I se ubicaron los individuos (variedad, época y año) que más rindieron (5 280 kg.ha⁻¹) y más precoces (63 días); la variedad ISIAP Dorado fue la que más apareció en este grupo, fundamentalmente en la localidad oriental de Velasco y en la época lluviosa. Resultados similares se encontraron en un estudio de épocas de siembra realizado en la localidad de Alquizar con otro grupo de variedades promisorias, las que rindieron más en la época lluviosa (22), corroborando lo planteado por otros autores (23).

Le siguieron en orden de mérito la testigo V-4, en la localidad oriental de Velasco y en la época lluviosa, las variedades experimentales 80 L (27925-1) y la MR 4 (4606) T ⊕ 11, en la localidad de Velasco y en la época lluviosa fundamentalmente. En el grupo II en oposición al I se encuentran los individuos que obtuvieron los rendimientos más bajos (2 660 kg.ha⁻¹) y más tardíos (75 días); dentro de este grupo se observaron todos los individuos o variedades de una manera bastante pareja, con excepción de la variedad V-3, que ligeramente supera a todas las otras; pero es bueno destacar que la mayoría de los individuos ubicados en este grupo pertenecen a la localidad occidental de Alquizar y a la época poco lluviosa. En los grupos III, IV, V y VI se presentaron los individuos que obtuvieron los rendimientos intermedios, alcanzando 4 540, 4 360 y 4 100 kg.ha⁻¹ respectivamente, pero dentro de ellos los grupos III y V son los que obtuvieron menor altura de planta (157.8 cm y 154.3 cm); dentro de estos se destacó también ligeramente la variedad testigo V-3; sin embargo, la localidad oriental de Velasco y la época lluviosa se observaron en la mayoría de los individuos.

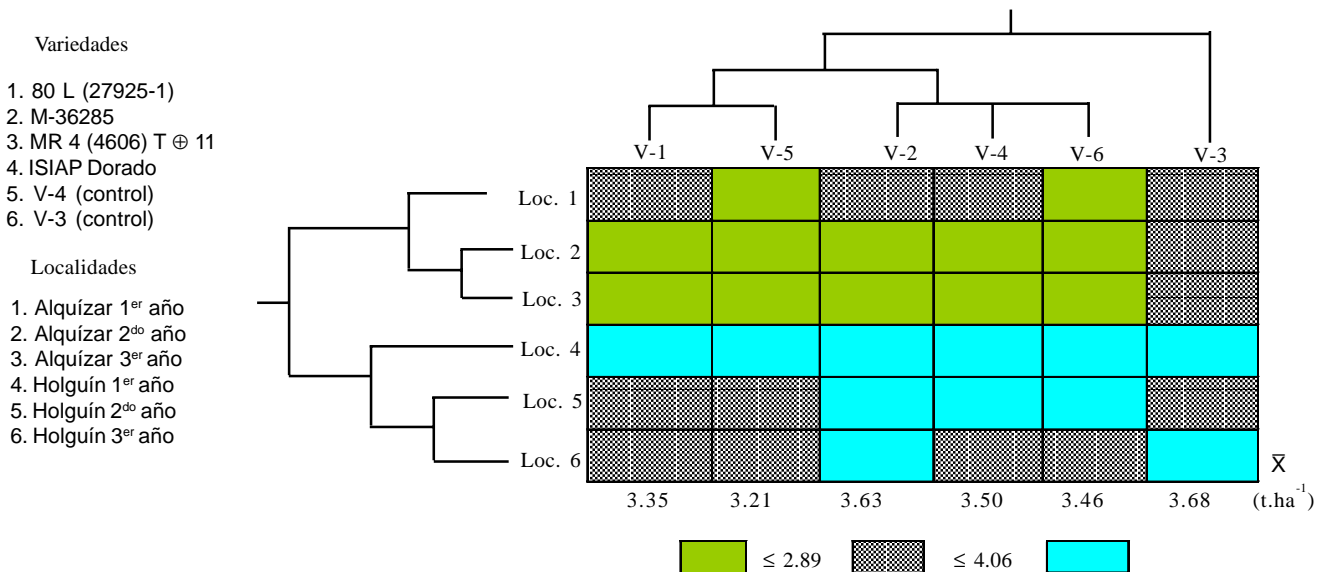


Figura 3. Interacción genotipo x ambiente y agrupamiento de genotipos y ambientes por su contribución a la varianza de la interacción en la variable rendimiento (t.ha⁻¹). Época poco lluviosa

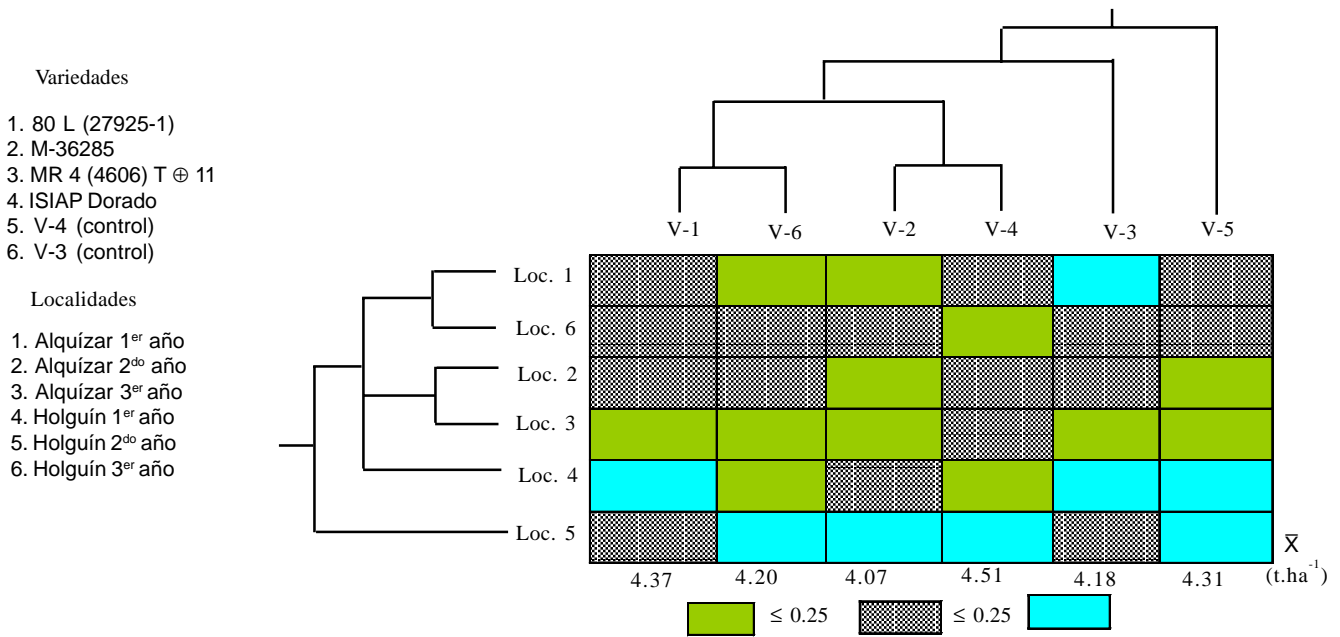


Figura 4. Interacción genotipo x ambiente y agrupamiento de genotipos y ambientes por su contribución a la varianza de la interacción en la variable rendimiento (t.ha⁻¹). Época lluviosa

	C1			C2		
Xi	1.7127			0.8186		
%	57.1			27.3		
ε %	57.1			84.4		
	Autov.	r	r ²	Autov.	r	r ²
Rendimiento	-0.6437	-0.84	0.70	0.2133	0.19	0.03
Altura	-0.4599	-0.60	0.36	-0.8755	-0.79	0.62
Días hasta flor.	0.6118	0.80	0.64	-0.4337	-0.39	0.15

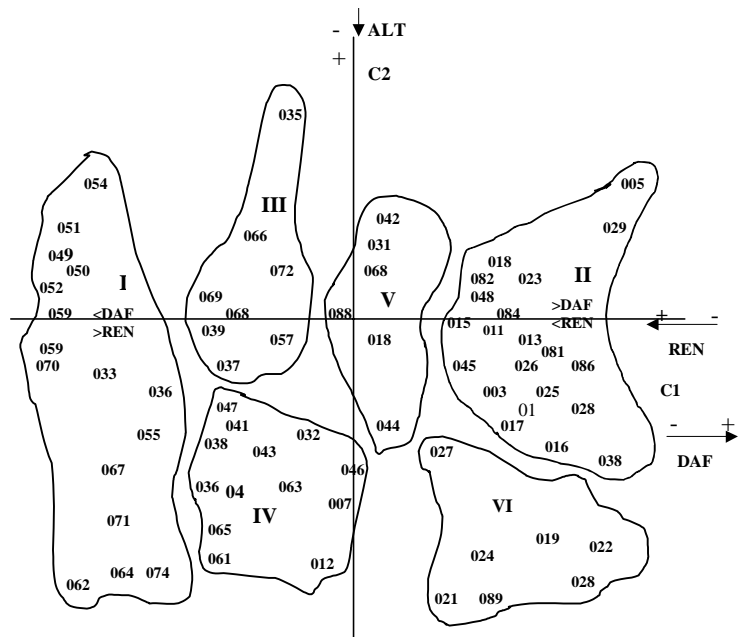


Figura 5. Análisis de componentes principales

CONCLUSIONES

- * La variedad ISIAP Dorado fue la más sobresaliente de las introducidas, pues resultó la de mejor adaptación con rendimientos elevados y estabilidad para este carácter en los 12 ambientes estudiados.
- * La localidad de Velasco en la provincia de Holguín resultó más apropiada para la producción de grano que la de Alquizar en la provincia de La Habana para las dos épocas estudiadas lluviosa y poco lluviosa. En la localidad de Alquizar la época lluviosa (abril-junio) resultó más adecuada para el cultivo que la poco lluviosa (noviembre-febrero).

- * Las restantes variedades que arribaron a la etapa de regionalización mostraron un potencial de rendimiento en grano lo suficientemente elevado y una aceptable estabilidad de este carácter en los 12 ambientes incluidos, como para ser consideradas materiales promisorios para el programa de mejoramiento del sorgo en Cuba.
- * La combinación de métodos uni y multivariados resultó efectiva para la selección de variedades superiores de sorgo. La técnica de agrupamiento de ensayos enriqueció la información rendida por los anteriores análisis, posibilitando la identificación precisa de los ambientes más adecuados para cada variedad.

REFERENCIAS

1. Ostrowski, B. Sistemas intensivos en invierno. Argentina, *Mundo Lácteo*, 1998, vol. 4, no. 44, p. 148-150.
2. Salerno, J. C. Forrajeras en su Máximo Esplendor. Argentina, *Mundo Lácteo*, 1998, vol. 4, no. 40, p. 46-50.
3. Oramas, G. /et al./. Obtención de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. *Moench*) de doble propósito a través del método de selección progenie por surco. *Agrotecnia de Cuba*, 2000, vol. 28.
4. Caballero, C. Sorgo Forrajero. ABC Rural, 9 de septiembre, 1998, p. 9.
5. Gilbert, P. M. Sorgo en Nutrición Animal. ABC Rural, 13 de enero, 1999, p. 3.
6. Oramas, G. /et al./. Nueva colección de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para diferentes fines, IIHLD, 1998, 161 p.
7. Vitale, J. D., Coulibaly, O. y Sander, J. H. Expected effects of devaluation on cereal production in the Sadanian region of Mali. *Agricultural Systems*, 1998, vol. 57, no. 4, p. 489-503.
8. Baffes, J. Structural reforms and price liberalization in Mexican agriculture. *Journal of International Development*, 1998, vol. 10, no. 5, p. 575-587.
9. FAO. La economía del sorgo y del mijo en el mundo, hechos, tendencias y perspectivas. ICRISAT, 1997.
10. ICRISAT. Partnerships in Research for Development. 1998, 12 p.
11. Niemeijer, D. Soil nutrient harvesting in indigenous teras water harvesting in eastern Sudan. *Degradation and Development*, 1998, vol. 9, no. 4, p. 323-330.
12. Caballero, R. /et al./. Recuperación de la disponibilidad de semilla categorizada de granos básicos del país. La Habana. IIHLD, 1998, p. 274-276.
13. Sánchez, M. /et al./. Densidad de población óptima de sorgo enano de grano "V-3018". La Habana, 1998, 49 p.
14. Oramas, G. /et al./. Evaluación de variedades promisorias de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) de grano para consumo humano y animal, IIHLD, 1998, 164 p.
15. Oramas, G. Evaluación de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. *Moench*) de grano para Cuba. [Tesis de Grado], Fondo Nacional de Manuscritos de ACC-IDICT-BNCT T 89 99, 1997.
16. Cochran, W. y Cox, G. Diseños experimentales. México: Editorial TRILLAS, 1990, 135 p.
17. Steel, R. y Torrie, J. Bioestadística: Principios y Procedimientos. México: Mc Graw/Interamericana de México, 1990, 333 p.
18. Little, T. y Hills, F. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Chapingo: Editorial TRILLAS, 1987, 50 p.
19. Bilbro, J. D. y Ray, L. L. Environmental stability and adaptation of several cotton cultivars. *Crop Sci.* 1976, no. 16, p. 821-824.
20. Wricke, G. Uber cinc methode zur erfassung der cklogischen in feld-versuchen. *Z. Pflanzenzuch*, 1962, no. 47, p. 92-96.
21. Sigarroa, A. Programa para microcomputadora en lenguaje BASIC. La Habana : Universidad de La Habana. 1986.
22. Oramas, G. /et al./. Evaluación de variedades promisorias de sorgo en dos épocas de siembra, Fondo Nacional de Manuscritos de ACC-IDICT-BNCT D 137 98, 1998.
23. Paul, L. P. Agronomía del Sorgo. El Salvador, CENTA, 1990. 90 p.

Recibido: 7 de febrero del 2002

Aceptado: 4 de octubre del 2002

CURSOS DE POSGRADO

Precio: 320 USD

Estadística y diseño experimental

Coordinador: Dr.C. Alberto Caballero Núñez

Duración: 40 horas

Fecha: marzo

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu