

Variedades de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para una agricultura de bajos insumos. II. Determinación de criterios de selección

Varieties of sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) for an agriculture of low inputs. II. Determination of selection approaches

Carlos Rodríguez Fuentes¹, Iván Arredondo Quevedo² y Lázaro Martínez Molina³.

1. Centro de Estudios Jardín Botánico, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara.
2. Instituto Nacional de Investigaciones en Viandas Tropicales. Santo Domingo.
3. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos.

RESUMEN. Con el fin de definir los caracteres de las plantas más relacionados con el rendimiento en granos en el sorgo, se estudió un grupo de variedades durante dos campañas diferentes. Los caracteres más correlacionados con el peso de los granos de la panícula (PGP) fueron: el número de granos de la panícula (NGP), el diámetro del tallo (DT) y el área foliar de la hoja bandera (AFHB), en sentido positivo, y la longitud de la excursión de la hoja bandera (LE) de forma negativa. Tuvieron mayores efectos directos que indirectos sobre el PGP: el número de granos de la panícula (NGP), el DT y la AFHB. El largo de la panícula (LP) y el área foliar total de la planta (AFT) hicieron lo contrario. Los caracteres DT, LP, AP, LE, AFT y AFHB son los mejores criterios de selección de las plantas para incrementar el PGP. Aún es posible incluir en el estudio otros caracteres o rasgos para una mayor definición de componentes o factores principales de variabilidad.

Palabras clave: Componentes principales, correlaciones, rendimiento en grano, sorgo.

ABSTRACT. In order to define characters highly related with the grain yield of sorghum, a group of varieties was studied during two campaigns and numerous characters of the plants were evaluated. The characters more correlated with the grain weight of the panicle (PGP) were: the number of panicle grains (NGP), the shaft diameter (DT) and the flag leaf area (AFHB), in positive sense, and the exertion longitude of the flag leaf (LE) in negative form. Direct effects bigger than indirect on the PGP had: the panicle number of grains (NGP), the DT and the AFHB. The panicle length (LP) and the total plant leaf area (AFT) showed a contrary behavior. The characters DT, LP, AP, LE, AFT and AFHB serve in the first place as approaches or selection criteria in order to increment the PGP. It is even possible to include in the study other characters or features to obtain a more complete definition of main components or factors of variability.

Key words: Principal components, correlations, yield in grain, sorghum.

INTRODUCCIÓN

En los trabajos de fitomejoramiento es sumamente importante definir aquellos caracteres, cualidades o rasgos de las plantas que pueden servir como criterios de selección, sea esta temprana o tardía. Esto es particularmente importante para caracteres de baja heredabilidad, muy influenciados por las condiciones ambientales como es el caso del rendimiento y sus caracteres componentes.

En la Universidad Central de Las Villas (UCLV) se realizan desde hace algunos años trabajos de mejora genética del sorgo vía selección, con la finalidad de

obtener variedades adaptadas a las características edafoclimáticas y de producción en condiciones sustentables, propias de la región central del país (Martín y otros, 1993, 1994, 1999; Rodríguez y otros., 1994a, b; Pedroso y col., 1994; Puente y Rodríguez, 1995; Martínez, 1996; Arredondo y Rodríguez, 2001 y otros).

El objetivo del trabajo fue determinar los caracteres de las plantas de sorgo relacionados en mayor medida con el rendimiento en granos, expresado éste como peso de los granos de la panícula, y que puedan servir como criterios de selección positiva de plantas para la mejora genética de las variedades en cuanto a su potencial productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental Agrícola Álvaro Barba Machado perteneciente al Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la UCLV y localizada en Santa Clara, provincia de Villa Clara, en una zona donde predominan los suelos pardos con diferenciación de carbonatos.

Se estudiaron dos grupos de variedades de sorgo granífero, uno en el año 1996 (Experimento I) y otro en el año 2000 (Experimento II). En ambos experimentos se empleó un diseño experimental de campo de bloques al azar con cuatro repeticiones en parcelas con 4 surcos de 4 m de longitud, espaciados a 0,90 m, para un área de la parcela de 14,40 m² y 14-17 plantas por m². Se realizó un número mínimo de atenciones culturales.

Para efectuar las evaluaciones se tomaron al azar y se marcaron cinco plantas de los dos surcos centrales de la parcela para cada variedad en cada réplica, para un total de 20 plantas por variedad. Los caracteres evaluados fueron: Largo de la hoja (LH), Ancho de la hoja (AH), Número de hojas de la planta (NH), Diámetro del tallo (DT), Altura de la planta (AP), Longitud de la excursión de la hoja bandera (LE), Área foliar de la hoja bandera (AFHB), Área foliar total de la planta (AFP), Largo de la panícula (LP), Peso de la panícula (PP), Peso de los

granos de la panícula (PGP), Peso de 100 granos (P100), Número de granos de la panícula (NGP), Peso volumétrico de los granos (PV) y Rendimiento potencial experimental (RPE).

Se obtuvo la matriz de correlaciones entre las variables mencionadas y a partir de ésta se aplicó un análisis de "Componentes Principales" y un análisis mediante "Coeficientes de Sendero". Excepto para este último análisis, los demás procesamientos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS versión 8.1 (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las correlaciones fenotípicas parciales halladas entre las variables estudiadas, aparecen resumidos en las tablas 1 y 2.

Los caracteres que mostraron en ambos experimentos las mayores correlaciones positivas y significativas con el PGP fueron: PGP, DT, AFHB, LP y AFT, mientras que LE lo hizo de forma negativa. Las variables que presentaron más altas correlaciones positivas con el NGP fueron PGP, DT, LP, AFT, AP y AFHB.

Estos resultados, en su mayoría, coinciden con los de Maiti (1986); Rodríguez y otros. (1994a,b); Pedroso y otros. (1994); Arredondo y Rodríguez (2001), entre otros.

Tabla 1. Matriz de correlaciones fenotípicas entre variables o caracteres (Experimento I)

Variabes	AFT	AFHB	DT	AP	LE	LP	NGP
DT	0,410**	0,325**					
AP	0,301**	-0,187*	--				
LE	0,220**	-0,191*	--	0,652**			
LP	0,453**	0,299**	0,327**	0,519**	0,431**		
NGP	0,360**	0,329**	0,434**	--	--	0,368**	
P100	--	--	--	--	--	--	-0,593**
PGP	0,366**	0,478**	0,637**	--	-0,209*	0,411**	0,704**

Solo se incluyen las variables que mostraron correlación significativa.

* correlación significativa (p<0,05)

** correlación altamente significativa (p<0,01)

Tabla 2. Matriz de correlaciones fenotípicas entre variables o caracteres (Experimento II)

Variabes	AFT	AFHB	DT	AP	LE	LP	NGP
DT	0,11*	0,44**					
AP	0,44**	-0,16**	--				
LE	--	-0,27**	-0,39**	0,34**			
LP	0,20**	--	0,16**	0,54**	0,21**		
NGP	0,24**	0,24**	0,45**	0,36**	-0,21**	0,44**	
PGP	0,21**	0,25**	0,45**	0,39**	-0,21**	0,42**	0,92**
PP	0,25**	0,28**	0,52**	0,34**	-0,22**	0,46**	0,87**
NH	0,61**	-0,39**	--	0,40**	0,13**	0,20**	0,22**

Solo se incluyen las variables que mostraron correlación significativa.

* correlación significativa (p<0,05)

** correlación altamente significativa (p<0,01)

Este análisis cuantifica el peso de cada variable incluida en el experimento. Los “factores” o “componentes” que explican el mayor porcentaje de la varianza total de los datos obtenidos al comparar las variedades, agrupan en ellos las variables y reducen la dimensionalidad inicial del alto número de variables a pocas dimensiones, lo que facilita la interpretación del problema. En cada factor o componente se analiza cuáles variables lo representan

fundamentalmente (Basso y col., 1992; Miranda, 2005).

Para el Experimento I, la tabla 3 muestra los tres factores o componentes principales en que se agruparon las variables estudiadas. El conjunto de estos tres factores determinan el 72,9 % de la varianza total del experimento. El 27 % restante se debe a otros factores “no principales” que no fueron tomados en cuenta.

Tabla 3. Resultados del análisis de componentes principales (Experimento I)

Variables	Matriz de factores		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
NGP	0,807*	-0,210	-0,451
PGP	0,816*	-0,354	0,163
LP	0,705*	0,436	0,253
DT	0,702*	-0,258	0,231
AFT	0,636	0,278	0,075
AFHB	0,480	-0,437	0,306
AP	0,306	0,829*	-0,038
LE	0,097	0,872*	0,141
P100	-0,346	-0,075	0,885*
Varianza explicada	72,8 %	67,4 %	62,6 %
Valor propio	3,166	2,149	1,250
Porcentaje de varianza	35,2	23,9	13,9
Porcentaje de varianza acumulada	35,2	59,0	72,9

El factor 1 incluye la mayoría de los caracteres más relacionados con el rendimiento en granos, esto es, NGP, PGP Y LP, así como DT. Este factor, en su conjunto, explica el 35,2 % de la varianza total del experimento y dentro de él, las cuatro variables mencionadas explican el 72,8 % de su varianza. El factor 2 presenta como más relevantes, dos caracteres relacionados con la morfología de la planta, esto es LE y AP, y representa el 23,9 % de la varianza experimental. Dentro del mismo, LE y AP explican el 67,4 % de la varianza total. Por último, el factor 3 representa el 13,9 % de la varianza experimental e incluye como más destacado al carácter P100, al cual corresponde el 62,6 % de la varianza de este factor.

En cuanto al experimento II, en la tabla 4 se muestra que las variables AFP, NGP, PP, PGP, AP y LP se agruparon en dos componentes, el

primero para variables asociadas al rendimiento en granos y el segundo para variables anatómo-morfológicas. El primer componente explicó el 47,82 % de la variabilidad del conjunto de variables y al segundo componente correspondió el 29,83 % de la misma. El factor 1 está representado por las variables NGP, PP y PGP y el 2 lo está por AP, AFT y LP.

En ambos experimentos, el grupo de variables o caracteres asociados con el rendimiento explicaron más del doble de la varianza total del conjunto de variables del experimento que la dada por el grupo de variables anatómicas y morfológicas. Esto implica que las variedades se diferenciaban en mayor medida en cuanto a los componentes del rendimiento que en cuanto a los restantes caracteres.

Tabla 4. Resultados del análisis de componentes principales (Experimento II)

Variables	Matriz de factores	
	Factor 1	Factor 2
NGP	0,930 *	0,207
PP	0,940*	0,218
PGP	0,966*	0,166
AFT	0,056	0,751*
AP	0,185	0,860*
LP	0,387	0,607*
Valor propio	2,870	1,790
Porcentaje de varianza	47,827	29,838
Porcentaje de varianza acumulada	47,827	77,665

Para el caso del Experimento I, en la tabla 5 se observan los valores de la correlación de cada carácter con el PGP (tomado como variable fija), fraccionada en su efecto directo sobre aquel y en

su efecto indirecto a través de las demás variables que están correlacionadas con el mismo.

Tabla 5. Análisis mediante coeficientes de sendero para el PGP (Experimento I)

Variable	Efecto sobre el PGP					
	Directo	%	Indirecto	Vía	%	Total
NGP	0,451	64,1	0,146	DT	20,7	0,704
			0,025	LP		
			0,012	AFT		
			0,068	AFHB		
			Σ 0.251	--	35,6	
DT	0,336	52,7	0,195	NGP	30,6	0,637
			0,067	AFHB		
			0,023	LP		
			0,014	AFT		
			Σ 0.299	--	46,9	
AFHB	0,207	43,3	0,148	NGP	31,0	0,478
			0,109	DT	22,8	
			0,021	LP		
			0,001	AFT		
			Σ 0.279	--	58,36	
LP	0,070	17,1	0,166	NGP	40,5	0,410
			0,110	DT	26,8	
			0,015	AFT		
			0,062	AFHB		
			Σ 0.353	--	86,09	
AFT	0,034	9,3	0,162	NGP	44,3	0,366
			0,138	DT	37,7	
			0,031	LP		
			0,008	AFHB		
			Σ 0.339	--	92,6	
Efectos residuales						0,569

Así por ejemplo, el NGP tiene un valor total de la correlación con el PGP de 0,704. De esta cifra, el valor de su efecto directo sobre el PGP es de 0,451, lo que representa el 64,1 % de la correlación total y, a su vez, tiene valores de efecto indirecto sobre el mismo carácter en su relación con los restantes (DT, AFHB, LP y AFT). Entre estos

últimos, se manifestó como más importante su efecto indirecto a través del DT (20,7 %). De manera similar ocurre con los demás caracteres analizados en su relación con el PGP.

De forma general, la tabla 5 mostró que el carácter que influye en mayor medida sobre el PGP es NGP,

seguido en orden de importancia por DT, AFHB, LP y, finalmente, el AFT, lo cual es importante a los efectos de la selección de las mejores plantas y variedades.

El Experimento II (tabla 6) demostró que el PP tiene un valor total de correlación con el PGP de 0,939. De este valor, su efecto directo es de 0,583, su efecto indirecto a través del NGP es de 0,368 y el del LP es de -0,015, o sea, este último es prácticamente nulo. Similarmente ocurre con los demás

caracteres analizados.

Las tablas 5 y 6 mostraron que los caracteres con mayores efectos directos sobre el PGP son el NGP y el DT en el experimento I, así como el PP seguido por el NGP en el II y que el LP tiene mayores efectos indirectos que directos sobre el PGP. Ambas tablas señalan además que existen efectos residuales (0,569 y 0,279) debidos a causas no consideradas en el trabajo, como por ejemplo, el número de variables estudiadas, que tal vez debió ser mayor.

Tabla 6. Análisis mediante coeficientes de sendero para el PGP (Experimento II)

Variables	Efectos sobre el PGP					Total
	Directo	%	Indirecto	Vía	%	
NGP	0,423	46,1	0,507	PP	55,2	0,917
			-0,014	LP		
			Σ 0,493			
PP	0,583	61,3	0,368	NGP	38,6	0,939
			-0,015	LP		
			Σ 0,353			
LP	-0,031	7,3	0,188	NGP	41,5	0,423
			0,265	PP	58,5	
			Σ 0,453			
Efectos residuales						0,279

CONCLUSIONES

1. Las variables más estrechamente correlacionadas con el PGP fueron NGP, DT, AFHB y LP, en sentido positivo, mientras que la LE lo hizo en forma negativa.
2. Los caracteres NGP, DT, AFHB y PP tienen un mayor efecto directo sobre el PGP que indirecto, mientras que LP y AFT hacen lo contrario.
3. Los caracteres que pueden servir en mejor medida como criterios de selección temprana para el aumento del rendimiento en granos son, en orden de preferencia, DT, LP, AP y LE, que son fáciles de evaluar, y les siguen AFT y AFHB que son más complejos.
4. De acuerdo con los valores de los efectos residuales del análisis de coeficientes de sendero y por la definición de los factores del análisis de componentes principales, el número de caracteres o variables evaluados no explicó todas las diferencias entre las variedades, por lo cual quedan otros por considerar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARREDONDO, I. Y C. RODRÍGUEZ: Estudio de variedades

de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para una agricultura de bajos insumos. CD Rom 9 789592 500341, ISBN 959-250-034-7 (Evento Internacional "Entorno Agrario 2001", Sancti Spíritus, Cuba, 2001.

2. BASSO, L. A.; J. MACHÍN Y F. PELLICER: Análisis estadístico multivariante aplicado a la calidad del agua de drenaje, *Investigación Agraria*, 227-244, 1992.

3. MAITI, R.: Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Facultad de Agronomía. Marín, Nuevo León, México, 419 pp, 1986.

4. MARTÍN, D.; O. SAUCEDO Y A. CASTILLO: "UDG-110. Variedad de sorgo de grano blanco con adaptación tropical", *Centro Agrícola* 20(2): 90, 1993.

5. MARTÍN, D.; O. SAUCEDO Y G.L.S. VALDÉS: Comportamiento de híbridos experimentales de sorgo de la FAUNL, México, en. 11 Congreso Latinoamericano de Genética, Santa Clara, Cuba y XV Congreso de Citogenética, Memorias, Monterrey, Nuevo León, 400 pp., 1994.

6. MARTÍN, D.; O. SAUCEDO; C. VALDÉS Y O. MENA: "CIAP-6E-95: Variedad de sorgo de grano blanco con adaptación tropical, apto para la alimentación humana y animal", revista *Centro Agrícola* 26(1):88, 1999.

7.MARTÍNEZ, L.: Estudio de un grupo de variedades prometedoras de sorgo con vistas a su explotación en la provincia de Villa Clara. Trabajo de Diploma, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Santa Clara, Cuba, 1996.

8.MIRANDA, ILEANA: La estadística del agropecuario. 10 preguntas 10 respuestas. [Consultado 20/09/05]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos19/estadistica-agropecuario/estadistica-agropecuario.shtml>.>

9.PEDROSO, ROSARIO Y COL.: “Caracterización del híbrido 1831 X UDG-110 de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)”, revista *Centro Agrícola* 21(3): 15-18, 1994.

10.PUENTE, MAYRA Y C; RODRÍGUEZ: “Estudio de líneas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) introducidas”, revista *Centro Agrícola* 22(2):10-14, 1995.

11.RODRÍGUEZ, C., ROSARIO PEDROSO Y F. DEL TORO: “Hete-rois para el rendimiento en grano en híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)”, revista *Centro Agrícola* 21(3): 23-28, 1994a.

12.RODRÍGUEZ, C. Y COL.: “Evaluación de híbridos heteró-ticos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)”, revista *Centro Agrícola* 21(3): 9-22, 1994b.

Recibido: 10/Enero/2007

Aceptado: 26/Marzo/2007