

Adaptabilidad y estabilidad de cultivares de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) en la región oriental de Paraguay

Adaptability and stability of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivated in the eastern region of Paraguay

Amalio Mendoza^{1*}, Orlando Noldin¹, Lidio González¹, Rodrigo López¹, Juan More¹, Victorio Báez¹, Mario Díaz¹, Rodolfo Schopfer¹

¹Programa de Investigación Maíz y Sorgo (PIMS). Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA), Paraguay.

*Autor para correspondencia (amalio.mendoza@hotmail.com)

Recibido: 14/11/2019 Aceptado: 20/12/2019

RESUMEN

El sorgo granífero es un cultivo aprovechado para la alimentación animal en sustituto al maíz en especial en regiones con deficiencia hídrica por ser un cultivo xerófitas. El estudio de adaptabilidad y estabilidad es de gran importancia en la recomendación de cultivares para la región. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento, la adaptabilidad y estabilidad de híbridos de sorgo granífero en la zafra de 2013 en la Región Oriental de Paraguay. Los experimentos fueron instalados en cuatro campos de investigación del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA). Fueron evaluados 19 genotipos en un diseño de bloque al azar con tres repeticiones, con las siguientes variables: rendimiento de granos, floración masculina, longitud de panoja y altura de planta. Fueron encontrados efectos significativos entre Genotipos y Ambientes en las características evaluadas y la interacción Genotipos x Ambientes fue significativa en REND, FM y AP. Se formaron dos grupos para el REND y AD 75 STA fue el de mayor rendimiento. Las localidades YH x CH presentaron mayor interacción del tipo compleja. Los cultivares SEMASOR 191, AD 64STA, V 80511 y V 80434, presentaron mayor estabilidad frente a la variación ambiental que los demás para el REND y los cultivares V 80511 y V 80434 presentaron mayor adaptación a ambientes favorables ($\beta_{ii} > 1$).

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, interacción GxA, mejoramiento genético, selección de híbridos.

ABSTRACT

The grain sorghum is harvested crop for animal feed in the corn substitute especially in regions with water deficiency for being a xerophytic crop. The study of adaptability and stability it is very important in the recommendation of cultivars for the region. The objective of the work was to evaluate the behavior and the adaptability and stability of grain sorghum hybrids in the 2013 harvest in the eastern region of Paraguay. The experiments were installed in four research fields belonging to the Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA). We evaluated 19 genotypes in a randomized block design with threes replications with the following variables: grain yield, male flowering, panicle width and plant height. Significant effects were found in Genotypes and Environments in the characteristics evaluated and the interaction Genotypes x Environments was significant in REND, AP and FM. Two groups were formed for the REND and AD 75 STA was the highest performance. The localities YH x CH presented greater interaction of the complex type. The cultivars SEMASOR 191, AD 64STA, V 80511 and V 80434 showed higher stability against the environmental variation that the others for the REND and cultivars V 80511 and V 80434 showed greater adaptation to favorable environments ($\beta_{ii} > 1$).

Key words: *Sorghum bicolor*, interaction GxA, genetic breeding, selection of hybrids.

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cereales más importante en el mundo después del maíz, trigo, arroz y cebada. En Paraguay se utilizado principalmente en la alimentación animal, siendo ampliamente cultivado en la región Occidental por presentar características xerófitas, las cuales confieren tolerancia a ambientes con déficit hídrico. El sorgo granífero presenta amplio potencial para uso en siembra de safrita, en que es posible mecanizar todas las prácticas culturales del cultivo. Adicionalmente, ese cultivo permite, aún, una mayor amplitud de la época de siembra, posibilitando mayor flexibilidad en la implantación (Pale *et al.*, 2003). Productividad media elevada de granos ha sido utilizada como criterio para recomendación de cultivares, lo que puede perjudicar o beneficiar los cultivares con adaptación específica a determinados tipos de ambientes (Cysne & Pitombeira, 2012). En programas de mejoramiento genético de plantas, el objetivo es la obtención de genotipos que presentan, principalmente, altas medias de productividad de granos en los ambientes a que se destina el cultivo. Para la selección de híbridos superiores, es necesario considerar la interacción genotipos por ambientes, la cual es definida como la respuesta diferencial de los genotipos a la variación de las condiciones ambientales en cada local de evaluación, y que generalmente dificulta la recomendación de aquellas más promisoras a determinado local de cultivo (Crossa, 2012).

Según Oliveira *et al.* (2002), el estudio de las interacciones genotipos por ambientes es de gran interés tanto para los agricultores como para las empresas de semillas, principalmente cuando se consideran años y locales. Interesa al agricultor el material genético que exhiba el mínimo de interacción con los varios años, de tal forma a minimizar los riesgos de la producción agrícola y garantizar su receta. Para la empresa productora de semillas se torna igualmente importante

las interacciones manifestadas con los años y con los locales. La existencia de tales interacciones implica en la necesidad de desarrollo de cultivares específicos para determinadas regiones, aumentando el costo de producción en la mantención y multiplicación de mayor número de cultivares recomendadas. Según Ramalho *et al.* (1993), para minimizar los efectos de la interacción cultivares por ambientes, es necesario identificar cultivares más estables y adaptados a las condiciones específicas de ambiente. Según Cruz *et al.* (2012), para evaluar el comportamiento de los genotipos, sea para adaptación general o específicas a determinados ambientes, bien como identificar los responsables a las variaciones ambientales favorables, se torna necesario la realización de análisis de adaptabilidad y estabilidad. Existen varios métodos para la estimación de los parámetros de adaptabilidad y estabilidad de genotipos evaluados en diferentes ambientes, siendo conveniente la utilización de aquellos que además de complementar, se adecuen al número de ambientes testados, presenten nivel de acuracia requerida, que sean de fácil interpretación y generen tipos de resultados deseados (Schmidt *et al.* 2011). La metodología propuesta por Eberhart & Russel (1966), es el comportamiento de cada genotipo frente a las variaciones ambientales, es estimados por medio de análisis de regresión lineal simples, proporcionando estimaciones de fácil interpretación, lo que hace que sea muy deseado por los mejoradores. Delante de lo expuesto el objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento, la adaptabilidad y estabilidad de híbridos de sorgo granífero en la zafra de 2013 en la Región Oriental de Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados en cuatro campos de investigación del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) localizados en la región Oriental en la zafra agrícola 2013/14; los departamentos, localidades y características generales están descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación y descripción de las localidades del experimento.

Inst.	Localidad	Dpto	Latitud	Longitud	Alt. Msnm	Textura de suelo	Precip. Media (mm)	Temp. Media (°C)
CICM	Capitán Miranda	Itapúa	27°17'	55°49'	200	Oxisol Typic origen basáltico	1732	20,9
CIAF	Choré	San Pedro	24°10'	56°37'	220	Alfisol mollic, origen arenisca	1619	22,7
CEY	Yvyrovana	Canindeyú	24°15'	55°60'	200	Oxisol rhodic, origen basáltico	1957	23,0
CECA	Natalicio Talavera	Guairá	25°15'	56°18'	170	Podzólico rojo amarillo	180	22,4

Fueron evaluados 19 genotipos pertenecientes a la red de ensayo del Programa de Investigación Maíz y Sorgo (PIMS), los materiales en estudio pertenecen a diferentes empresas, los cuales constituyeron los tratamientos de la investigación.

El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con 19 tratamientos con tres repeticiones. Los genotipos evaluados fueron: BRS 330, V 82083, SEMASOR 191, SW 6880, SW EX 05, V 80510, V 80511, SEMASOR 181, AD 75 STA, V91700, SEMASOR 145, PEX 87410, V 80434, AD 64 STA, PAN 8907 T (Testigo), PAN 8935 T (Testigo), PAN 8934 T (Testigo), DK 68T (Testigo), BUSTER (Testigo). Los genotipos fueron sembrados en el mes de octubre de 2013, en parcelas con cuatro hileras de 5 m de largo y distancia entre plantas de 0,45 m.

Para la parcela útil fueron consideradas las dos hileras centrales de cada unidad experimental. Fueron evaluadas las siguientes variables:

-Floración Masculina (FM): Fecha cuando el 50% de las plantas de la parcela esté floreciendo (emitiendo polen en las espiguillas de la panoja). Expresado en días.

-Altura de Plantas (AP): Es la longitud del tallo desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panoja, en cinco plantas por parcela presentes en el área útil, durante la fase de la maduración fisiológica. Expresado en cm.

-Longitud de panoja (LP): Es la longitud desde el nudo ciliar hasta el ápice de la panoja, en cinco plantas por parcela presentes en el área útil, durante la fase de la maduración fisiológica. Expresado en cm.

-Rendimiento (REND): Rendimiento de grano por parcela, siendo los datos corregidos a 13% de humedad y expresado en t ha⁻¹.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza conjunta con la finalidad de detectar interacción genotipos por ambiente según el modelo:

$$Y_{ijk} = m + T_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Y_{ijk} = valor observado del i-ésimo genotipo, en el j-ésimo ambiente y en el k-ésimo bloque;

m = média general;

T_i = efecto del i-ésimo Tratamiento (Fijo) T [genotipo G_i ($i = 1, 2, \dots, g$) testigo t_i ($i = 1, 2, \dots, t$)];

B/A_{jk} = efecto del bloque k dentro del ambiente j ($k = 1, 2, \dots, r$);

A_j = efecto del j-ésimo ambiente, ($j = 1, 2, \dots, a$);

TA_{ij} = efecto de interacción del i-ésimo (Híbrido o testigo) con el j-ésimo ambiente; y

E_{ijk} = erro medio aleatorio.

La descomposición de la interacción en parte compleja fue realizada según Cruz y Castoldi (1991). Esa descomposición establece que la parte compleja sea obtenida por la expresión:

$$C = \sqrt{(1-r)^3} \sqrt{Q_1 \cdot Q_2}$$

siendo Q_1 e Q_2 los cuadrados medios de los genotipos en los ambientes 1 y 2, respectivamente, y r la correlación entre las medias de los genotipos en los dos ambientes.

Para el análisis de adaptabilidad y estabilidad se utilizó el método basado en regresión propuesto por Eberhart & Russel (1966). En este método, los parámetros que expresan la estabilidad son la media, la respuesta linear a la variación ambiental y el desvío de la regresión para cada genotipo, obtenido a partir del siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{oi} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

siendo:

β_{oi} = media general del genotipo i ($i = 1, 2, \dots, g$);

β_{1i} = respuesta linear del genotipo i a la variación ambiental;

I_j = índice del ambiente ($j = 1, 2, \dots, a$) siendo

$$I_j = \frac{Y_{.j}}{g} - \frac{Y_{..}}{ga}$$

δ_{ij} = desvío de la regresión; y

$\bar{\epsilon}_{ij}$ = error experimental medio.

Las medias fueron comparadas por el test de agrupamiento de medias propuesto por Scott y Knott (1974) al 5% de probabilidad de error. Para todos los análisis fue utilizado el programa GENES (Cruz, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resumen de análisis de varianza para todas las características evaluadas es presentado en la Tabla 2. En la misma se observan efectos significativos en genotipos para todas las características evaluadas, al nivel de 1% de probabilidad de error, indicando la existencia de variabilidad entre ellos, lo que posibilita la selección de híbridos superiores; bien como de la interacción entre genotipos por ambientes, lo cual demuestra un comportamiento diferenciado de estos híbridos en los diferentes ambientes testados.

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza conjunta para floración masculina (FM), alturas de plantas (AP), longitud de panoja (LP) y rendimiento de granos (REND). Paraguay, 2014.

CV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		FM	AP	LP	REND
Bloques/Amb	8	19,07	296,59	106,57	28,21
Bloques	2	37,67	539,12	246,13	2,00
Bloq x Amb	6	12,88	215,75	60,05	4,03
Tratamientos	18	121,65**	3855,22**	42,08**	22,72**
Genotipos	14	107,89**	3517,98**	52,76**	19,60**
Testigos	4	62,94ns	5081,46**	17,92ns	34,47**
Gen vs Test	1	535,33*	3334,33**	0,03ns	16,29ns
Ambientes	3	2504,82**	46209,21**	808,73*	219,08**
Trat x Amb	54	21,16**	251,31**	9,74ns	5,11**
Gen x Amb	39	16,77**	154,85**	10,03ns	5,48**
Test x Amb	12	35,46**	564,97**	10,70ns	3,17ns
(Gen x Test) Amb	3	21,06ns	250,64*	2,09ns	8,01*
Residuo	144	8,72	86,25	8,53	2,3
Media General		66,44	135,75	24,25	6,36
Media Genotipos		67,36	138,04	24,25	6,52
Media Testigos		63,88	129,35	24,23	5,91
CV(%)		4,44	6,84	12,04	23,85

*, **, ns. Significativo a 5% y 1% de probabilidad, no significativo por el test de F, respectivamente.

La significancia de la interacción para el carácter productividad de granos evidencia que las clasificaciones de los híbridos no fueron coincidentes en los ambientes de evaluación, semejante a los obtenidos por Ezzat *et al.* (2010) y Martins *et al.* (2016). Las mismas muestran una diferencia de sensibilidad de los genotipos en variaciones ambientes, y que afecta su comportamiento (Allard 1999). Según Pinto *et al.* (2007) la significancia de la interacción es frecuente debido a estrecha base genética que los híbridos pueden presentar.

La causa de variación ambiente fue significativo en todas las características evaluadas lo cual muestra la variabilidad existente entre las diferentes localidades donde se desarrolló el experimento. La floración masculina para los genotipos también fue significativas lo cual indica una variación en el ciclo de los cultivares evaluados. Silva *et al.* (2009) menciona la importancia que los agricultores tenga a disposición cultivares de sorgo granífero con diferentes necesidades de días para la floración, pues, utilizando cultivares con diferentes ciclos en el mismo sistema productivo, el productor puede escalonar la operación de cosecha, y optimizar la maquinaria agrícola disponible para esa demanda.

En la tabla 3 son presentadas las estimaciones del

análisis de agrupamiento por el método propuesto por Scott-Knott (1974) y las medias de los testigos. En la misma se observa que en la variable floración masculina (FM) fueron formadas cinco grupos siendo el material AD 64 STA el más precoz de todas con medias de 61, 58 días y el más tardío fue el BRS 330 con 72,25 días para la floración.

En la variable alturas de plantas (AP) el más bajo fue V 91700 y el más alto SEMASOR 191, siendo formados 11 grupos lo cual muestra una gran variabilidad entre los materiales para la AP. En la longitud de panoja (LP) el V 82083 y el V 80510 presentaron los valores más bajos y más altos, respectivamente. El material con el mayor rendimiento de granos (REND), fue AD 75 STA con 8, 56 t ha⁻¹, superando a todos los testigos, formándose dos grupos para esta variable

La existencia de respuestas diferenciadas de genotipos a las variaciones ambientales ha sido frecuentemente constatada. Esa interacción, además de influenciar la ganancia genética, dificulta la recomendación para más de un ambiente. En ese sentido, se realizó procedimiento de obtención de las estimaciones de la parte compleja de las interacciones (%C) en los diferentes híbridos en los cuatro ambientes.

Tabla 3. Agrupamiento de Scott-Knott para Floración masculina (FM), alturas de plantas (AP), longitud de panoja (LP) rendimiento de granos (REND). Paraguay, 2014.

FM			AP			LP			REND		
Gen	Med	Gr	Gen	Med*	Gr*	Gen	Med	Gr	Gen	Med	Gr
BRS 330	72,25	a	SEMASO R 191	162,79	a	V 80510	27,06	a	AD 75 STA	8,56	a
V 82083	71,58	a	PEX 87410	160,56	b	V 80434	26,50	a	SEMASOR 145	8,49	a
SEMASOR 191	70,33	b	SW EX 05 AD 75	155,16	c	V91700	26,40	a	SEMASOR 181	7,76	a
SW 6880	69,75	b	STA	151,01	d	87410	26,29	a	V91700	7,57	a
SW EX 05	68,58	c	SEMASO R 145	150,19	d	SEMASO R 145	25,62	b	SW 6880	7,07	a
V 80510	67,91	c	SW 6880 SEMASO	149,60	d	R 191	25,11	b	V 82083	6,60	b
V 80511	67,66	c	R 181	145,08	e	V 80511	25,01	b	PEX 87410	6,38	b
SEMASOR 181	67,25	c	AD 64 STA	129,91	f	BRS 330 AD 64	24,57	b	V 80434	6,30	b
AD 75 STA	66,08	d	V 80434	127,25	g	STA	23,81	c	SW EX 05	6,30	b
V91700	66,00	d	V 80510	125,42	h	SW EX 05	22,58	c	V 80511	5,99	b
SEMASOR 145	65,16	d	V 82083	124,22	h	SW 6880 SEMASO	22,47	c	V 80510	5,64	b
PEX 87410	64,75	d	V 80511	122,58	i	R 181	22,30	c	AD 64 STA	5,26	b
V 80434	64,16	d	BRS 330	116,13	j	AD 75 STA	21,12	d	SEMASOR 191	5,19	b
AD 64 STA	61,58	e	V91700	112,60	k	V 82083	20,73	d	BRS 330	4,13	b
PAN 8907 T (T)	65		PAN 8907 T (T)	129,33		PAN 8907 T (T)	29,66		PAN 8907 T (T)	5,71	
PAN 8935 T (T)	76		PAN 8935 T (T)	152,33		PAN 8935 T (T)	26		PAN 8935 T (T)	8,04	
PAN 8934 T (T)	73,66		PAN 8934 T (T)	157		PAN 8934 T (T)	27		PAN 8934 T (T)	7,72	
DK 68T (T ¹)	67,33		DK 68T (T)	129,33		DK 68T (T)	23,33		DK 68T (T)	5,96	
BUSTER (T)	64		BUSTER (T)	117,66		BUSTER (T)	27,66		BUSTER (T)	4,31	

¹(T): Testigos; *Med: media de los genotipos; *Gr: grupos formados por los genotipos

Tabla 4. Disimilaridad entre ambientes para floración masculina (FM), alturas de plantas (AP), longitud de panoja (LP) y Rendimiento de granos (REND). Paraguay, 2014.

Ambientes*	FM	AP	LP	REND
	% de Interacción	% de Interacción	% de Interacción	% de Interacción
CM x YH	15,73	7,20	35,41	40,58
CM x CH	46,50	13,57	70,08	64,93
CM x NT	29,96	17,70	62,68	18,02
YH x CH	60,46	19,36	40,70	84,18
YH x NT	61,12	21,00	27,66	53,32
CH x NT	73,19	22,42	76,26	56,52

*Localidades, CM: Capitán Miranda, YH: Yhovy, CH: Choré y NT: Natalicio Talavera

Evaluando los datos de la Tabla 4 se nota que mayor interacción de tipo complejo en el REND fue observado entre las localidades YH x CH, CM x CH y de menor porcentaje se observa entre CM x NT.

La interacción de tipo compleja indica la inconsistencia de la superioridad de genotipos con la variación ambiental, o sea, habrá genotipos con desempeño superior en un ambiente, mas no en otro, tornando más difícil la selección

y/o la recomendación de estos (Cruz *et al.* 2012).

Según Carvalho *et al.* (2002) la selección y la recomendación de genotipos más productivos son objetivos básicos de los programas de mejoramiento genético de cualquier especie cultivada. El proceso de selección es frecuentemente, realizada por el desempeño de los genotipos en diferentes ambientes. La decisión de recomendación de nuevos cultivares normalmente es dificultada por la ocurrencia de la interacción genotipos por ambientes.

Las estimaciones de los coeficientes de regresión, parámetro relacionado a la adaptabilidad, obtenidos para la mayoría de los genotipos en la variable REND, FM y LP, no difieren significativamente de la

unidad ($\beta_i = 1$), o sea, estimaciones no significativas, demostrando de esta forma adaptabilidad general, indicando que los mismos se destacan tanto en ambientes favorables como el ambientes desfavorables (Tabla 5).

En cuando al desvío de la regresión, la mayoría de los genotipos en todas las variables evaluadas presentaron estimaciones significativas, indicando menor estabilidad frente a la variaciones ambientales que los demás. Si observamos la variable REND los cultivares SEMASOR 191, AD 64STA, V 80511 y V 80434, presentaron estimaciones no significativa, mostrando, así, mayor estabilidad frente a la variación ambiental que los demás.

Tabla 5. Estimaciones de los parámetros de adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de sorgo granífero por el método de Eberhart y Russel (1966). Paraguay, 2014.

Genotipos	Floración Masculina (Días)			Alturas de Plantas (cm)		
	Medias	β_1	S ² d	Medias	β_1	S ² d
SEMASOR 145	65,16	1,04ns	1,73**	150,19	1,23**	8,79**
SEMASOR 181	67,25	1,19*	1,02*	145,08	1,25**	12,08**
SEMASOR 191	70,33	0,81*	-0,09 ns	162,79	1,27**	8,79**
BRS 330	72,25	0,94ns	11,54**	116,13	0,61**	5,32**
AD 64 STA	61,58	1,01ns	8,99**	129,91	0,87**	11,09**
AD 75 STA	66,08	0,66**	0,69*	151,01	0,96ns	1,97**
PEX 87410	64,75	0,80*	12,88**	160,56	1,04**	9,38**
V 80511	67,66	1,13ns	1,17*	122,58	0,73**	33,55**
V 80510	67,91	1,16ns	2,78**	125,42	0,91**	15,51**
V 82083	71,58	1,09ns	21,39**	124,22	1,03ns	5,43**
V91700	66,00	1,08ns	0,45ns	112,60	0,64**	4,76**
V 80434	64,16	1,21**	14,93**	127,25	1,03ns	2,55**
SW 6880	69,75	0,93ns	3,34**	149,60	1,11**	13,70**
SW EX 05	68,58	0,90ns	1,55**	155,16	1,24**	19,41**

Genotipos	Longitud de Panoja (cm)			Rendimiento (t ha ⁻¹)		
	Medias	β_1	S ² d	Medias	β_1	S ² d
SEMASOR 145	25,62	1,02ns	1,18ns	8,49	1,20ns	0,80*
SEMASOR 181	22,30	1,10ns	8,42**	7,76	1,25ns	2,02**
SEMASOR 191	25,11	0,58**	0,96*	5,19	1,01ns	0,14ns
BRS 330	24,57	1,13ns	3,77**	4,13	0,80ns	7,13**
AD 64 STA	23,81	1,35**	1,28**	5,26	0,57ns	0,32ns
AD 75 STA	21,12	0,87ns	7,12**	8,56	1,36ns	0,75*
PEX 87410	26,29	0,96ns	0,53ns	6,38	1,04ns	0,92*
V 80511	25,01	1,08ns	3,21**	5,99	1,02ns	0,62ns
V 80510	27,06	0,97ns	9,55**	5,64	1,18ns	3,90**
V 82083	20,73	0,58**	1,09**	6,60	1,22ns	0,77*
V91700	26,40	1,12ns	10,47**	7,57	1,33ns	1,06*
V 80434	26,50	1,15ns	0,74*	6,30	1,02ns	0,62ns
SW 6880	22,47	0,81ns	0,60ns	7,07	0,43ns	3,40**
SW EX 05	22,58	1,21ns	-0,33ns	6,30	0,50ns	0,97**

** , * y ns: significativo al 1%, 5% y no significativo, respectivamente por el test de t. β_1 - Coeficiente de regresión, S²d – Desvío de regresión.

Las estimaciones de los coeficientes de regresión sugieren que los genotipos V 80511 y V 80434 presentan mayor adaptación a ambientes favorables ($\beta_{1i} > 1$), además de poseer estabilidad de comportamiento al tener el desvío de regresión no significativo. Estos muestran que entre los híbridos evaluados para el REND, el V 80511 y V 80434 son los que van a presentar mayor potencial cuando cultivado en ambientes con condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo de sorgo.

CONCLUSIÓN

Existe variabilidad entre los cultivares comerciales de sorgo para las características evaluadas. Por el análisis de agrupamientos fueron formados cuatro grupos para floración masculina siendo los genotipos V 80434 y AD 64 STA considerados más precoces.

Para altura de planta se formaron 11 grupos y para longitud de panoja cuatro grupos. Para el rendimiento de granos se formaron dos grupos siendo los genotipos AD 75 STA y SEMASOR 145 los que presentaron mayores rendimientos.

La mayor interacción de tipo complejo en el REND fue observado entre las localidades YH x CH, CM x CH y de menor porcentaje se observa entre CM x NT.

Para el REND los cultivares SEMASOR 191, AD 64STA, V 80511 y V 80434, presentaron mayor estabilidad frente a la variación ambiental que los demás y los genotipos V 80511 y V 80434 presentaron mayor adaptación a ambientes favorables.

AGRADECIMIENTOS

A todos los técnicos que conforman el equipo del Programa de Investigación de Maíz y Sorgo del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allard, R.W. 1999. Principles of plant breeding. 2nd. New York: John Wiley & Sons, 254p.

Carvalho, HWL; Leal, MLS; Cardoso, MJ; Santos, MX; Tabosa, JN; Santos, MD; Lira, MA. 2002. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho em diferentes condições ambientais do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 1:75-82.

Crossa, J. 2012. From genotype x environment interaction to gene x environment interaction. *Current Genomics*. 13 (3): 225-244.

Cruz, CD. 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. 35 (3): 271-276.

Cruz, CD; Castoldi, FL. 1991. Decomposição da interação

genotípica x ambientes em partes simples e complexa. *Pesquisa Ceres*. 38: 422-430.

- Cruz, CD; Regazzi, AJ; Carneiro, PCS. 2012. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4.ed. Viçosa: UFV, 514p.
- Cysne, JR; Pitombeira, JB. 2012. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo granífero em diferentes ambientes do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*. 43 (2): 273-278.
- Eberhart, SA; Russell, WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 01 (6): 36-40.
- Ezzat, EM; Ali, MA; Mahmoud, AM. 2010. Agronomic Performance, Genotype X Environment Interactions and Stability Analysis of Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Asian Journal of Crop Science*. 2 (4): 250-260.
- Martins, L; Menezes, CB; Simon, FA; Silva da, AG; Tardin, FD; Gonçalves, FH. 2016. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero no sudoeste de Goiás. *Revista Agrarian*, 9 (34): 334-347.
- Oliveira, JS; Ferreira, RP; Cruz, CD; Pereira, AV; Botrel, MA; Von Pinho, RG; Rodrigues, JAS; Lopes, FCF; Miranda, JEC. 2002. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31 (2): 883-889.
- Pale, S; Mason, SC; Galusha, TD. 2003. Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. *Agronomy Journal, Madison*. 95: 1047-1053.
- Pinto, RJ; Kvitschal, MV; Scapim, CA; Fracaro, M; Bignott, L; Neto, IL. 2007. Análise dialéctica parcial de linhagens de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 6 (3): 325 - 337.
- Ramallo, MAP; Santos, JB; Zimmermann, MJO de. 1993. Interação dos genótipos x ambientes. In: Ramallo, MAP; Santos, JB; Zimmermann, MJO. *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: UFG, p.131-169.
- Schmidt, ER; Nascimento, AL; Cruz, CD; Oliveira, JAR. 2011. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. *Acta Scientiarum Agronomy*. 33: 51-58.
- Scott, AJ; Knott, MAA 1974. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics, Raleigh*. 30 (3): 507-512.
- Silva, AG; Barros, AS; Silva, LHCP; Moraes, EB; Pires, R; Teixeira, IR. 2009. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 39 (2): 168-174.