

## Interacción genotipo-ambiente de 135 líneas endogámicas recombinantes de sorgo para producción de biocombustibles\*

### G\*E interaction of 135 recombinant inbred lines of sorghum for biofuel production

Armando Rodríguez García<sup>1§</sup>, Víctor Manuel Zamora Villa<sup>1</sup>, Manuel Humberto Reyes Valdés<sup>1</sup>, José Ángel Villarreal Quintanilla<sup>2</sup>, Raúl Rodríguez Herrera<sup>3</sup> y Cristóbal Aguilar González<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, Núm. 1923. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. C. P. 25315. Tel. 01 844 4110295. (vzamvil@uaaan.mx), (matgenoma@gmail.com). <sup>2</sup>Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tel. 01 844 4110252. (javq05@yahoo.com.mx). <sup>3</sup>Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Coahuila V. Carranza y González Lobo. Col. República. Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25280. Tel. 01 844 4161238. (rrh961@hotmail.com), (cn-aguilar@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: armando-roga@hotmail.com.

#### Resumen

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench), es uno de los alimentos básicos para la población más pobre del mundo, que es también la que padece una situación de mayor inseguridad alimentaria. Este cultivo se adapta a un entorno agroecológico cálido y seco, donde es difícil cultivar otros cereales alimenticios. La formación de genotipos sobresalientes requiere evaluar los materiales genéticos en diferentes ambientes y determinar su interacción genotipo-ambiente. El objetivo del trabajo fue detectar y analizar la interacción genotipo-ambiente de un grupo de líneas endogámicas recombinantes y seleccionar las de mayor potencial, para ser utilizadas en la producción de biocombustibles. Se evaluaron 135 líneas endogámicas recombinantes de sorgo en diferentes localidades durante los años 2006, 2007 y 2008. Los datos de siete variables se analizaron como corresponde a un experimento en diseño de bloques al azar, en cada uno de varios ambientes. La interacción genotipo-ambiente, se analizó mediante el modelo AMMI. Fue altamente significativa, calificando las líneas endogámicas recombinantes por su magnitud y seleccionando las de menor magnitud, se determinó el

#### Abstract

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) is one of the main basic foods for the poorest people in the world, suffering from a situation of increased food insecurity. This crop is adapted to a warmer and drier agro-ecological environment, where it's difficult to grow other cereals. The formation of outstanding genotypes requires to evaluating the genetic materials in different environments and determines their genotype-environment interaction. The objective was to detect and analyze the genotype-environment of a group of recombinant inbred lines and select the highest potential to be used in the production of biofuels. 135 recombinant inbred lines of sorghum were evaluated at different locations during the years 2006, 2007 and 2008. Data from seven variables were analyzed as corresponding to an experiment in randomized block design in each of several environments. Genotype-environment interaction was analyzed using the AMMI model. It was highly significant, scoring the recombinant inbred lines, selecting them by its size and selecting those with less magnitude, the best environment for the proper development of recombinant inbred lines were determined and, 13 lines with higher sugar content were selected measured in °Bx.

\* Recibido: agosto de 2011  
Aceptado: diciembre de 2011

mejor ambiente para el desarrollo adecuado de las líneas endogámicas recombinantes y se seleccionaron 13 líneas con mayor contenido de azúcar medido en °Bx.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor* L. Moench, ambientes, contenido de azúcar, genotipo, sobresalientes.

## Introducción

El sorgo es uno de los alimentos básicos para la población más pobre del mundo, que es también la que padece mayor inseguridad alimentaria. Desde el punto de vista agronómico este cultivo se adapta a un entorno agroecológico cálido y seco, donde es difícil cultivar otros cereales alimenticios, porque también sufren frecuentes sequías. En muchas de esas zonas agroecológicas, el cultivo del sorgo cumple una doble finalidad, ya que tanto al grano como a la paja tienen alto valor. La producción mundial de sorgo en el ciclo agrícola 2007-2008 fue de 63.53 millones de toneladas, cifra superior en 6.9 millones de toneladas a la registrada el año anterior. Las estimaciones de producción del mes de enero para el ciclo agrícola 2008-2009 fueron de 63.79 millones de toneladas, 259 000 toneladas más que el ciclo 2007-2008 (DGAPEAS, 2009).

El sorgo es uno de los principales granos en nuestro país. Abastece de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales, la cual a su vez, permite que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal. En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa; además en la fermentación aceto-butílica que produce tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol.

De acuerdo con Murray *et al.* (2009); Fernández (2004); Siri-Prieto *et al.* (2006), el sorgo dulce es un candidato importante en los sistemas de producción de energía basados en biomasa, debido a la alta producción de biomasa por unidad de superficie, alto porcentaje de azúcares fácilmente fermentables para la elaboración de combustibles orgánicos, tolerancia al estrés de agua y bajos requerimientos de fertilizantes y agua. Además, se ha demostrado que el sorgo dulce es ampliamente adaptado y tiene el potencial de proveer una fuente importante de carbohidratos fermentables, a través de una amplia área geográfica.

**Key words:** *Sorghum bicolor* L. Moench, environments, sugar content, genotype, outstanding.

## Introduction

Sorghum is one of the main basic foods for the poorest people in the world, which is also suffering from a situation of increased food insecurity. From an agricultural point of view, this crop is adapted to a warmer and drier agro-ecological environment, where it is difficult to grow other cereals, because they also suffer from frequent droughts. In many of these agro-ecological zones, the cultivation of sorghum has a dual purpose, as both the grains and straw have a high value. World production of sorghum in the crop season 2007-2008 was around 63.53 million tons, higher by 6.9 million tons to that recorded last year. Production estimates for January in the 2008-2009 growing season were 63.79 million tons, 259 000 tons more than the 2007-2008 (DGAPEAS, 2009).

Sorghum is a major grain in our country, supplies of raw materials to the industry generating animal feed, which in turn allows the market availability of food of animal protein. In the extraction industry is mainly used for obtaining starch, alcohol and glucose in the fermentation also aceto-butyl that produces three important solvents, alcohol, acetone and butanol.

According to Murray *et al.* (2009); Fernández (2004); Siri-Prieto *et al.* (2006), sweet sorghum is a major candidate in the energy production systems based on biomass, due to its high biomass production per unit-area, high percentage of readily fermentable sugars for the production of organic fuels, water stress tolerance and low fertilizer and water requirements. Furthermore, it has been shown that, the sweet sorghum is widely adapted and it has the potential to provide a major source of fermentable carbohydrates through a wide geographic area.

Domestic production between 5 and 7 million tons per year on average, in the recent years has been inadequate and must be imported to meet the domestic demand. This has increased to such an extent that imports account for an average of 40% of the total demand. Even if Mexico is among the top five producing countries, it's still the third applicant, behind only to the United States of America and

La producción nacional entre 5 y 7 millones de toneladas anuales en promedio, en los últimos años ha sido insuficiente y es necesario importar para cubrir la demanda nacional. Esta se ha incrementado a tal grado que las importaciones representan en promedio 40% de la demanda total. Aún y cuando México se ubica entre los cinco países productores a nivel mundial, es el tercero más demandante, atrás sólo de Estados Unidos de América y la India (Galarza *et al.*, 2003). La importancia del cultivo y sus usos potenciales ha motivado a los fitomejoradores a generar variedades de sorgo cada vez más rendidoras, de mejor calidad de grano y con alto contenido de azúcares.

La formación de nuevos genotipos requiere evaluar los materiales genéticos en diferentes ambientes y estimar su interacción genotipo-ambiente (IGA), que nos da una idea de la estabilidad de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales, que es necesario para el desarrollo de un programa de mejoramiento. Existen varios métodos para estimar la interacción genotipo ambiente, destaca en décadas pasadas el empleado por Eberhart y Russell (1966), que se basa en el análisis de regresión para estimar la estabilidad de genotipos en diversos ambientes. Los modelos estadísticos empleados para el análisis de la IGA, tienen en común la suposición de aditividad de los efectos que la componen. Todos los modelos son también lineales en sus parámetros, que significa que las diferencias genéticas y ambientales contribuyen independientemente, unas de otras para la variación fenotípica.

En los últimos años se han desarrollado nuevas metodologías multivariadas, que permiten no sólo describir la interacción genotipo-ambiente, sino también profundizar en su naturaleza. Entre ellas destaca el modelo de análisis de los efectos principales aditivos y las interacciones multiplicativas, denominado AMMI (additive main effects and multiplicative interaction), posee una gran capacidad para interpretar un gran número de genotipos en varios ambientes, este método es actualmente de los más usados ya que considera a los genotipos y ambientes como efectos aditivos y lineales permitiendo su estudio por medio de un análisis de varianza (ANVA), mientras que la IGA la considera de efectos multiplicativos que pueden ser analizados por medio de un análisis de componentes principales (Cossa *et al.*, 1990). El objetivo de este trabajo fue analizar la IGA de 135 líneas endogámicas recombinantes (LER) y seleccionar las de mayor potencial en la elaboración de biocombustibles.

India (Galarza *et al.*, 2003). The importance of the crop and its potential uses has led the breeders to develop varieties of sorghum with an even higher yielding, better quality of grain and high sugars content.

The formation of new genotypes necessary to evaluate the genetic materials in different environments and to estimate genotype-environment interaction (G\*E), which gives us an idea of the stability of genotypes to environmental fluctuations, necessary for the development of improvements program. There are several methods to estimate the genotype-environment interaction, over the decades, that used by Eberhart and Russell (1966) it's noteworthy, which is based on regression analysis to estimate the stability of genotypes in different environments. The statistical models used for the G\*E analysis share the assumption of additivity of effects that comprise it. All models are also linear in its parameters, which mean that, the genetic and environmental differences contribute independently of each other for the phenotypic variation.

In recent years new multivariate methods have been developed, allowing not only describing the genotype-environment interaction, but also deepening their nature. Among these is the analysis model of the additive main effects and multiplicative interactions, known as AMMI (additive main effects and multiplicative interaction), with a great ability to interpret a large number of genotypes in various environments, this method is currently the most used because it considers genotypes and environments as linear additive effects and allow its study by means of an analysis of variance (ANOVA), while the G\*E considers it as a multiplicative effect that may be analyzed using a principal component analysis (Cossa *et al.*, 1990). The aim of this study was to analyze the G\*E of 135 recombinant inbred lines (LER) and select those with the highest potential for the development of biofuels.

## Materials and methods

135 LER grain sorghum were used, located in the F2:9 generation. These lines are the result of a cross between the variety RTx430 and Sureño line, derived by the descent method from a single seed. Sureño is a variety of dual-purpose (grain and forage), with moderate resistance to grain mold, photo-insensitive (Dw1, Dw2, Dw3, Dw4), cinnamon color (ppqq) and cinnamon

## Materiales y métodos

Se utilizaron 135 LER de sorgo grano, las cuales se encuentran en la generación F2:9. Estas líneas son producto de una cruce entre la variedad Sureño y la línea RTx430, fueron derivadas por el método de descendencia de una sola semilla. Sureño es una variedad de doble propósito (grano y forraje), con moderada resistencia a moho de grano, foto-insensitiva (Dw1, Dw2, Dw3, Dw4), color de planta canela (ppqq) y glumas canela. La semilla de Sureño presenta un pericarpio traslúcido (el genotipo de las características de la semilla es RR yy ZZ 11 b1b1 SS) (Meckenstock *et al.* 1993).

RTx430 es una línea endogámica ampliamente adaptada con excelente habilidad combinatoria y es restaurador de fertilidad común en muchos híbridos de sorgo comercial. Es altamente susceptible a moho de grano y a varias enfermedades foliares, el grano es blanco y endospermo amarillo (el genotipo de la semilla es RR yy LL ss b2 b2Zz TPTPQQ). RTx430 es una línea triple enana (dw1 Dw2 dw3 dw4) con un color de planta púrpura (Miller, 1984)

Las 135 líneas y sus progenitores (genotipos) fueron evaluados durante los años 2006, 2007 y 2008 bajo condiciones de campo. Durante 2006, se sembró en las localidades de Valle Hermoso, Tamaulipas (VH06), Zaragoza (ZA06) y San Pedro, Coahuila (SP06). Durante el 2007, se utilizó Valle Hermoso (VH07) y Río Bravo, Tamaulipas (RB07) y Zaragoza, Coahuila (ZA07). En el 2008 se sembró en Río Bravo, Tamaulipas (RB08) y Zaragoza, Coahuila (ZA08). Localidades con distintas condiciones, tal como se aprecia en el Cuadro 1 (García, 1988).

### Cuadro 1. Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades de estudio.

Table 1. Geographic location and climatic characteristics of the study sites.

Localidad	Altitud (m)	Temperatura media °C	Precipitación anual (mm)	Latitud norte	Longitud oeste	Tipo de clima
Valle Hermoso, Tamaulipas	27	24	600	25° 40'	97° 49'	Bs,(h')hx'(e')
Río Bravo, Tamaulipas	30	23	517	25° 59'	98° 6'	Bs,(h')hx'(e')
San Pedro, Coahuila	1090	18	300	102° 58'	25° 45'	BWhw (e')
Zaragoza, Coahuila	360	20.6	376.3	28° 30'	100° 55'	Bsohx'(w)(e)w''

La siembra se realizó en seco, manualmente a chorrillo, en surcos de 5 m de longitud, a una distancia entre surcos de 80 cm y un aclareo posterior para manejar una distancia entre plantas de 15 cm, se sembró una línea por surco en dos repeticiones en las fechas mostradas en el Cuadro 2, donde se reportan también las fechas de cosecha realizada manualmente. El manejo

glumes. Sureño's seed have a translucent pericarp (the genotype of the characteristics of the seed is RR yy ZZ 11 b1b1 SS) (Meckenstock *et al.* 1993).

RTx430 is a widely adapted inbred line with good combining ability and it's a fertility restorer common in many commercial sorghum hybrids. It is highly susceptible to grain mold and several foliar diseases, with white grains and yellow endosperm (the genotype of the seed is RR yy LL ss b2 b2Zz TP TPQQ). RTx430 is a triple dwarf line (Dw1 Dw2 Dw3 Dw4) with a purple plant (Miller, 1984).

The 135 lines and their progenitors (genotypes) were evaluated during the years 2006, 2007 and 2008 under field conditions. During 2006, it was planted in the villages of Valle Hermoso, Tamaulipas (VH06), Zaragoza (ZA06) and San Pedro, Coahuila (SP06). During 2007, we used Valle Hermoso (VH07) and Río Bravo, Tamaulipas (RB07) and Zaragoza, Coahuila (ZA07). In 2008, planted in Río Bravo, Tamaulipas (RB08) and Zaragoza, Coahuila (ZA08). Localities with different conditions, as shown in Table 1 (García, 1988).

Sowing was done in dry, by hand in furrows, in 5 m rows, with a row spacing of 80 cm and a subsequent thinning to manage a plant spacing of 15 cm, seeded one line per row in two replications on the dates shown in Table 2, which also reported on harvest dates manually. Crop management was performed in accordance with the recommended cultural practices for each region. The evaluations were conducted with two replications for each environment. The particular combination of location and year of assessment are referred as environments, identified in Table 2.

The variables were measured in three representative plants of each LER. The following variables were measured: plant height (AL), exertion (EX), stem diameter (SD), size of panicle (TP), leaf's flag length (LHB), leaf's flag width (AHB) and stem sweetness (DZ), measured in °Bx with a portable refractometer ATAGO 01018, from one or

del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas culturales recomendadas en cada una de las regiones. Las evaluaciones se hicieron con dos repeticiones en cada ambiente. La combinación particular de localidad y año de evaluación se denominan como ambientes, identificados en el Cuadro 2.

several drops of juice extracted from the bottom of the stem. Each variable was analyzed by a randomized block design combined over environments whose effects were considered random. Additionally, for each variable, the coefficient of variation was estimated, amplitude, values

### Cuadro 2. Ambientes de evaluación, fechas de siembra y cosecha.

Table 2. Evaluation environments, planting and harvesting dates.

Localidad	Año	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
A1- Valle Hermoso, (VH06)	2006	16 de febrero	6 y 7 de junio
A2 - San Pedro, (SP06)	2006	19 de abril	10 y 11 de agosto
A3- Valle Hermoso, (VH07)	2007	9 de febrero	6 y 7 de junio
A4- Río Bravo, (RB07)	2007	2 de marzo	23 de junio
A-5- Zaragoza, (ZA07)	2007	21 de abril	28 de julio
A-6- Río Bravo, (RB08)	2008	7 de marzo	25 de junio
A-7- Zaragoza, (ZA08)	2008	11 de abril	8 de agosto

Las variables se midieron en tres plantas representativas de cada LER. Se midieron: altura de planta (AL), excursión (EX), diámetro de tallo (DT), tamaño de panoja (TP), largo de la hoja bandera (LHB), ancho de la hoja bandera (AHB) y dulzura de tallo (DZ), ésta se midió en °Bx con la ayuda de un refractómetro portátil ATAGO 01018, a partir de una o varias gotas de jugo extraído de la parte baja del tallo. Cada variable se analizó mediante el diseño de bloques al azar combinado sobre los ambientes cuyos efectos fueron considerados aleatorios. Adicionalmente, a cada variable se estimó el coeficiente de variación, amplitud, valores arriba y debajo de la media de cada una de las variables. La IGA se analizó mediante el modelo AMMI, usando el programa propuesto por (Vargas y Crossa, 2000) y las pruebas de AMMI se realizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 6.0 (1989).

## Resultados y discusión

En el Cuadro 3 todas las fuentes de variación para las variables consideradas, resultaron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

### Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia de siete variables de sorgo grano.

Table 3. Mean squares and significance of seven variables of grain sorghum.

Fuente	Gl	AL	EX	DT	DZ	LHB	AHB	TP
Amb (A)	6	7.5581**	2715.97**	18.82**	1904.94**	10969.73**	158.447**	1465.11**
Rep (R)	7	0.1408**	220.79**	0.4174**	34.268**	877.96**	11.224**	48.23**
Gen (G)	134	0.6101**	165**	0.4395**	35.114**	266.264**	5.853**	67.29**
G*A	804	0.0721**	33.143**	0.1404**	17.847**	99.066**	2.109**	17.57**
EE	938	0.0392	17.1172	0.0774	11.2228	56.2501	1.617	9.2637

\*\*= significativo al 0.01 de probabilidad; AL= altura de planta; EX= excursión; DT= diámetro de tallo; DZ= dulzura; LHB= largo hoja bandera; AHB= ancho hoja bandera; TP= tamaño de panoja; Amb= ambientes; Rep= repeticiones; Gen= genotipos; G\*A= interacción genotipo por ambiente; EE= error experimental.

above and below the mean of each of the variables. The IGA was analyzed using the AMMI model, using the proposed program (Vargas and Crossa, 2000) and AMMI tests were performed using SAS version 6.0 (1989).

## Results and discussion

In Table 3, all sources of variation for the considered variables were highly significant ( $p \leq 0.01$ ).

Plant height (Table 4) showed a CV of 14.52, an overall average of 1.33 m, with an amplitude of 0.98 m and a standard deviation of 0.216; reaching 60 RSI below average and 74 above. The atmosphere ZA07, recorded the highest average with 1.57 m and the lowest with 1.9 m was obtained in RB08. From both parents, Sureño showed the highest value with 1.5 m and a width of 0.7 m. From the ZA07 environments had the highest average with 2 m. RTx430 with amplitude of 1.1 m and 0.6 m was observed in RB08 where the lowest value (0.8 m). The lowest values

La altura de planta (Cuadro 4) mostró un CV de 14.52, una media general de 1.33 m, con una amplitud de 0.98 m y una desviación estándar de 0.216; ubicándose 60 LER debajo de la media y 74 arriba. El ambiente ZA07, registró el valor medio más alto con 1.57 m y el más bajo con 1.09 m y se obtuvo en RB08. De los dos progenitores, Sureño mostró el valor más alto con 1.5 m y una amplitud de 0.7 m. De los ambientes ZA07 tuvo la media más alta con 2 m. RTx430 con 1.1 m y una amplitud de 0.6 m y fue en RB08 donde se observó el valor más bajo (0.8 m). Se apreciaron valores más bajos para esta variable en localidades del estado de Tamaulipas; se observó que los materiales son relativamente bajos; toda vez, que Varela (2007) encontró en otros materiales valores medios de altura de 3.17 m con una amplitud de 0.94 a 2.32 m. En relación con la importancia de esta variable en la acumulación de azúcares, Murray *et al.* (2008) detectaron loci cuantitativos para rendimiento de jugo de tallo relacionados con altura de planta y época de floración.

were noted for this variable in locations around the State of Tamaulipas, it was observed that the materials are relatively low, since, Varela (2007) found in other materials mean height of 3.17 m with amplitude from 0.94 to 2.32 m. In relation to the importance of this variable in the accumulation of sugars, Murray *et al.* (2008) found quantitative trait loci for yield-related stem juice plant height and flowering time.

Sweet sorghum accumulates large amounts of sugar in the parenchyma of the stems after anthesis. The concentration of sucrose in the phloem parenchyma and varies with cultivar; °Bx content varies from 16 to 23. In addition, Mc Bee and Miller (1982) considered also the maturation of the plant, density, effects of the diurnal cycle and the analyzed part of the stem can affect the levels of accumulated carbohydrates. In this paper we obtained a mean value of 13.29 °Bx with an amplitude of 8.05 °Bx and a standard deviation of 1.71 (Table 4). The

**Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de siete variables de sorgo grano.**

**Table 4. Descriptive statistics of seven variables of grain sorghum.**

Estadístico	AL (cm)	EX (cm)	DT (cm)	DZ (°Bx)	LHB (cm)	AHB (cm)	TP (cm)
Media	1.33	7.43	1.64	13.29	40.69	6.08	23.42
Amplitud	0.98	17.25	0.8	8.05	20.03	2.88	10.36
DE	0.216	3.18	0.17	1.71	4.38	0.58	2.26
CV	14.52	57.19	16.97	26.05	18.43	18.03	12.69
LER > $\mu$	74	78	71	66	75	69	73
LER < $\mu$	60	56	62	68	60	66	62
Ambiente con valor más alto	ZA07- 1.57	VH07- 11.7	SP06- 2	SP06- 16.05	ZA08- 50.7	ZA08- 7.09	SP06- 26.86
Ambiente con valor más bajo	RB08- 1.09	RB-08- 3.6	IV06- 1.2	RB07- 8	VH07-30.67	VH07- 4.95	ZA07-21.24
Progenitor superior	SUR- 1.5	SUR- 7.2	RT- 1.6	SUR- 14	SUR- 42.2	SUR- 6.8	RT- 26.3

AL= altura de planta; EX= excersión; DT= diámetro de tallo; DZ= dulzura; LHB= largo hoja bandera; AHB= ancho hoja bandera; TP= tamaño de panoja; SUR= Sureño; RT= RTx430; DE= desviación estándar.

El sorgo dulce acumula grandes cantidades de azúcar en el parénquima de los tallos después de la antétesis. La concentración de sucrosa en el parénquima y en el floema varía de acuerdo al cultivar; el contenido en °Bx varía de 16 a 23. Además, Mc Bee y Miller (1982) consideran que también la maduración de la planta, la densidad, efectos del ciclo diurno y parte del tallo analizada, pueden afectar los niveles de carbohidratos acumulados. En el presente trabajo se obtuvo un valor medio de 13.29 °Bx con una amplitud de 8.05 °Bx y desviación estándar de 1.71 (Cuadro 4). La media fue más alta a la reportada por Varela (2007) de 11.8 °Bx. Reveles *et al.* (2010) encontraron una media de 13 °Bx y concluyeron que las vainas de mezquite (*Prosopis*

average was higher than that reported by Varela (2007) of 11.8 °Bx. Reveles *et al.* (2010) found a mean of 13 °Bx and concluded that, the pods of mesquite (*Prosopis glandulosa*) and sweet sorghum were successfully used to produce ethanol using commercial yeast. In the present work, RSI above 66 and 68 below average and 26 057 CV were found.

In the environments, the highest average value of sugar was in SP06 with 16.05 °Bx and lowest in Rio Grande 2007 (RB07) with 8 °Bx. From the parent, Sureño observed t highest values of °Bx with an average of 14 °Bx and a range of 12.67 °Bx, while in RTx430 gave a mean value of 11.1

*glandulosa*) y el sorgo dulce, fueron utilizadas con éxito para producir etanol usando levadura comercial. En el presente trabajo se encontraron 66 LER arriba y 68 debajo de la media y un CV de 26.057.

En los ambientes, el valor medio más alto de azúcar fue en SP06 con 16.05 °Bx y el más bajo en Río Bravo 2007 (RB07) con 8 °Bx. De los progenitores, en Sureño se observaron los valores más altos de °Bx con una media general de 14 °Bx y una amplitud de 12.67 °Bx; mientras que en RTx430 se obtuvo un valor medio de 11.1 °Bx y una amplitud de 6.3 °Bx. En relación a lo anterior se puede mencionar que aún y cuando la media general obtenida en el presente trabajo puede considerarse baja, es importante señalar que para la medición de ésta sólo se tomó la muestra de la parte baja del tallo, mientras que Fassio *et al.* (2007) en un trabajo con sorgos azucarados muestrearon y midieron los °Bx en la parte baja, media y alta del tallo encontrando valores de 13.8, 16.7 y 15.3 °Bx, respectivamente; también los midió al momento del corte, y después de 4, 7 y 13 días y encontró valores de 14.8, 14.6, 14.3 y 13.5 °Bx, respectivamente.

Los valores descritos concuerdan con muchos de los obtenidos en las LER, además en algunos ambientes se detectaron varias LER con valores cercanos a los 20 °Bx y algunas que alcanzaron los 22 °Bx, lo que evidencia el gran potencial que tienen algunas LER, para ser utilizadas como progenitoras de híbridos o como variedades de polinización libre para ser explotadas.

En general, los ambientes del estado de Coahuila mostraron mejor desarrollo que los ambientes de Tamaulipas, para todas las variables evaluadas. En SP06 donde los resultados en DT, DZ y TP indican que puede ser una buena localidad para la producción de sorgo o bien las condiciones de manejo fueron las más adecuadas. Respecto a los progenitores, los resultados demuestran las características distintivas de cada uno de ellos; Sureño, una variedad de doble propósito, que se manifiesta en los resultados con una mayor altura, excursión, dulzura y un mayor largo y ancho de la hoja bandera. RTx430 expresa un mayor diámetro de tallo y tamaño de panoja.

El análisis AMMI mostró (Cuadro 5), que los efectos principales y la IGA de todas las variables fueron significativas ( $p \leq 0.01$ ) concordando con el análisis previo. Los dos primeros componentes principales (ECP1 y ECP2) también presentaron dicha significancia. También

°Bx and amplitude of 6.3 °Bx. In relation with the above, it can be concluded that, even if the overall average obtained in this work can be considered low, it is important to note that for the measurement of this sample was taken only from the lower stem, while Fassio *et al.* (2007) in a study with sorghum sugary sampled and measured the °Bx in the lower, middle and upper stem, finding values of 13.8, 16.7 and 15.3 °Bx, respectively, also measured at the time of the cut, and after 4, 7 and 13 days and found values of 14.8, 14.6, 14.3 and 13.5 °Bx, respectively.

The values just described are consistent with many of those obtained in the LER, as well in some environments were detected several EEG with values close to 20 °Bx and some reaching 22 °Bx, showing a great potential of some RSI, for use as parents of hybrids or open pollinated varieties to be exploited.

In general, the Coahuila's environments showed better development environments than Tamaulipas, for all variables. In SP06 where the results in DT, DZ and TP indicated that there may be a good location for the production of sorghum or driving conditions were most suitable. Regarding the parents, the results demonstrated the distinctive characteristics of each of them; Sureño, a dual-purpose variety, manifested in the results with a higher altitude, exertion, tenderness and increased throughout the leaf's flag. RTx430 expresses a greater stem diameter and panicle size.

The AMMI analysis showed (Table 5) that the main effects and the IGA for all variables were significant ( $p \leq 0.01$ ) agreeing with the previous analysis. The first two main components (ECP1 and ECP2) had also this significance. Also, from the AMMI analysis, it was determined that, the total sum of squares were attributable to environmental effects from 24.7% in the variable AL, up 39.25% in DT. In the genotypic effects were observed values from 15.31% to 43.94% in DZ in LA. Finally, interaction effects were observed from 31.25% in AL to 48.24% in AHB.

In all variables, the first two axes obtained by the main component analysis (ECP) AMMI test were significant ( $p \leq 0.01$ ), and most of the variables, the first two axes explained 50% of the IGA with the exception of DT and DZ that explained 46.24 and 46.76% respectively of the above mentioned matches what Parga *et al.* (2005), who indicated that the AMMI usually explained as much variation with two or three main components.

a partir del análisis AMMI se determinó que de la suma de cuadrados total, fueron atribuibles a efectos ambientales desde 24.7% en la variable AL, hasta 39.25% en DT. En los efectos genotípicos se observaron valores desde 15.31% en DZ hasta 43.94% en AL. Finalmente, se observaron efectos de interacción desde 31.25% en AL hasta 48.24% en AHB.

The behavior of the lines in different environments for all the analyzed variables (Table 6) suggests that, the environment variables present conditions for the expression of the variables, such as the A7 (RB08) that showed high values and positive interaction in the variables AL, DT, EX, LHB and AHB and repeats in the variable in

**Cuadro 5. Cuadrados medios y significancias del análisis de AMMI de seis variables de sorgo.**  
**Table 5. Mean squares and significance of the AMMI analysis of six variables of sorghum.**

Fuente	Gl	AL	EX	DT	DZ	LHB	AHB	TP
Amb (A)	6	7.5581**	2715.97**	18.82**	1904.94**	10969.73**	158.447**	1465.11**
Rep (R)	7	0.1408**	220.79**	0.4174**	34.268**	877.96**	11.224**	48.23**
Gen (G)	134	0.6101**	165**	0.4395**	35.114**	266.264**	5.853**	67.29**
G*A	804	0.0721**	33.143**	0.1404**	17.847**	99.066**	2.109**	17.57**
ECP 1	139	0.1263**	56.286**	0.20271**	25.594**	173.077**	3.699**	30.668**
ECP 2	137	0.1063**	42.871**	0.1755**	23.016**	136.624**	3.119**	22.735**
Residual	528	0.1604	66.014	0.237	30.763	210.63	4.71	35.819
EE	938	0.0392	17.1172	0.0774	11.2228	56.2501	1.617	9.2637

\*\*= significativo al 0.01 de probabilidad; AL= altura de planta; EX= excursión; DT= diámetro de tallo; DZ= dulzura; LHB= largo hoja bandera; AHB= ancho hoja bandera; TP= tamaño de panoja; Amb= ambiente; Rep= repeticiones; GA= interacción genotipo por ambiente; ECP1= eje del componente principal 1; ECP2= eje del componente principal 2; EE= error experimental.

En todas las variables los dos primeros ejes obtenidos mediante el análisis de componentes principales (ECP) de la prueba de AMMI, fueron significativos ( $p \leq 0.01$ ), y en la mayoría de las variables, los dos primeros ejes explican más de 50% de la IGA a excepción de DT y DZ que explicaron 46.24 y 46.76% respectivamente; lo anterior coincide con lo que mencionan Parga *et al.* (2005), quienes indicaron que el AMMI normalmente explica mayor cantidad de variación con dos o tres componentes principales.

El comportamiento de las líneas en los distintos ambientes para todas las variables analizadas (Cuadro 6), sugiere que los ambientes presentaron condiciones variables para la expresión de las variables, por ejemplo la localidad A7 (RB08) mostró valores de interacción alta y positiva en las variables AL, DT, EX, LHB y AHB y se vuelve a repetir en la variable ALT en la localidad A5 (RB07), de la misma manera en la localidad A3 (SP06) se aprecia una interacción alta en las variables DT, EX, LHB y TP, en la localidad A4 (VH07) en las variables DZ y TP, finalmente en la A1 (VH06) en la variable AHB. Los ambientes A2 (SP06) y A6 (RB08) pueden ser considerados ambientes ideales para evaluación ya que muestran baja IGA considerando las bajas calificaciones obtenidas en los componentes principales 1 y 2.

the ALTA5 (RB07), just as in the locality A3 (SP06) shows a high interaction variables DT, EX, LHB and TP, in the locality A4 (VH07) in the variables TP DZ and finally on the A1 (VH06) to AHB variable. A2 Environments (SP06) and A6 (RB08) can be considered ideal environments for evaluation as they show low IGA, considering the scores on main components 1 and 2.

In relation to the environments considered unfavorable or negative interaction (Table 7), we see the highest average values in the variable DZ, the increase in the sweetness also may be due to a development in the stress level as mentioned by Inman-Bamber (2004), water stress induced at the end of the growing season, is used to increase the yield of sweet sorghum sugar, practice similar to that used in sugarcane. However, Miller and Ottman (2010) found no evidence of this in sorghum.

For the rest of the variables, environments that have values below the mean for the variables DT and EX are considered favorable A5 (ZA-07) and A7 (ZA-08) and LHB and AHB A4 (RB -07) and A3 (VH-07). Environments that showed values below the average and are also considered unfavorable, highlighted A6 (RB-08) that appears in five out of seven variables, just as



**Cuadro 6. Calificación asignada por el método AMMI a cada ambiente, en siete variables de sorgo.**  
**Table 6. Rating assigned by the AMMI method to each environment, in seven variables of sorghum.**

Variable	Componentes	Calificación de los ambientes						
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
AL	ECP1	-0.197	-0.339	-0.496	-0.702	0.874	-0.252	1.113
	ECP2	0.194	0.519	-0.392	0.037	1.066	-0.512	-0.913
DT	ECP1	-0.457	0.187	-1.131	-0.149	0.789	-0.423	1.184
	ECP2	0.672	1.146	-0.798	0.457	-0.211	-0.576	-0.691
EX	ECP1	0.59	0.814	5.625	1.369	-1.843	-2.028	-4.527
	ECP2	0.521	0.805	-1.455	0.781	5.33	-4.445	-1.538
DZ	ECP1	-1.772	-0.407	1.739	5.065	-2.408	-0.126	-2.09
	ECP2	-1.217	-0.332	4.79	-3.01	-1.064	1.937	-1.103
LHB	ECP1	-3.684	-0.303	-1.76	-2.18	0.791	-2	9.139
	ECP2	6.34	1.773	-5.642	0.443	0.993	-4.47	0.568
AHB	ECP1	-1.047	0.207	-1.269	-0.938	0.107	-0.537	3.478
	ECP2	-1.667	-0.775	2.85	1.276	-0.548	1.005	0.412
TP	ECP1		0.654	2.81	3.709	-3.352	-0.272	-3.55
	ECP2		-0.205	4.454	-4.225	-0.618	1.014	-0.419

AL= altura de planta; EX= excursión; DT= diámetro de tallo; DZ= dulzura; LHB= largo hoja bandera; AHB= ancho hoja bandera; TP= tamaño de panoja; ECP1= eje del componente principal 1; ECP2= eje del componente principal 2.

En relación con los ambientes considerados desfavorables o de interacción negativa (Cuadro 7), se observan los valores medios más altos en la variable DZ, que el incremento en la dulzura también se pueda deber a un desarrollo en el nivel de estrés como lo mencionan Inman-Bamber (2004); el estrés de agua inducido al final de la estación de crecimiento, se utiliza para incrementar el rendimiento de azúcar en sorgos dulces, practica similar a la utilizada en caña de azúcar. Sin embargo, Miller y Ottman (2010) no encontraron evidencia de lo anterior en sorgo.

En el resto de las variables, los ambientes que presentan los valores por debajo de la media para las variables DT y EX y considerados como favorables son A5 (ZA-07) y A7 (ZA-08) y para LHB y AHB A4 (RB-07) y A3 (VH-07). De los ambientes que mostraron valores por debajo de la media y que además son considerados como desfavorables destacan el A6 (RB-08) que aparece en cinco de siete variables, de igual forma el A3 (VH-07) que aparece en cuatro de siete, regularmente en todas las variables son el A1 (VH-06), A3 (VH-07), A4 (RB-07) y el A6 (RB-08), que pertenecen al estado de Tamaulipas (Cuadro 7).

A3 (VH-07) that appears in four out of seven regularly in all the variables are the A1 (VH-06), A3 (VH-07), A4 (RB-07) and A6 (RB-08), which belong to the State of Tamaulipas (Table 7).

Environments A7, A5 and A2, as the length of their vectors in Figure 1, are the best to discriminate LER based on IGA, just as were the environments where the best results were obtained in almost all the variables considered.

The genotypes to be used in the production of biofuels, besides containing high sugar levels, they should be tall (which is why the emphasis on these two variables). The Figure 1 shows the distribution of the lines in response to the plant height, based on the first two main components. Most lines behave stable; however, some lines are appreciated to interact in different environments such as in A2 (SP-06) and A1 (VH-06) 101 lines, 92 and 50, A3 (VH-07) and A6 (RB-08) the 76 and 89, whereas in the A7 (ZA-08) there is a greater number of lines as the 138, 72, 146, 77, 42, 130 and 36.

**Cuadro 7. Concentración de datos del biplot del primer componente y el valor medio de cada una de las variables.**  
**Table 7. Biplot concentration data of the first component and the average value of each of the variables.**

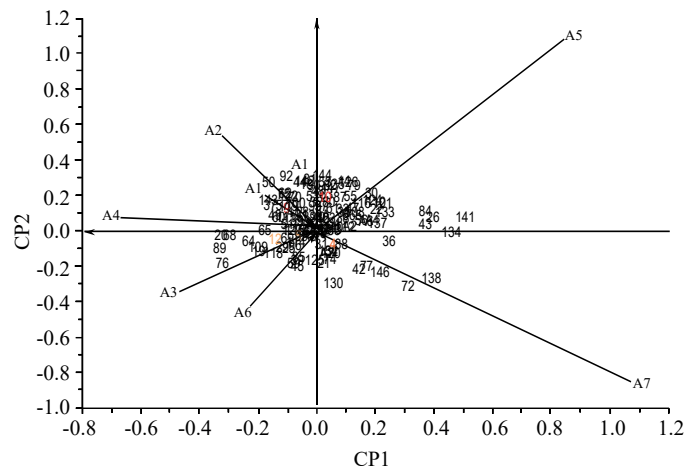
Variable	$\mu$	Valor > $\mu$		Valor < $\mu$	
		Interacción en el ambiente (++)	(--)	Interacción en el ambiente (++)	(--)
AL	1.33	ZA-08, ZA-07	RB-07, SP-06		RB-08, VH-07
DT	1.64	ZA-08, SP-06	VH-06	ZA-07	RB-08, VH-07
EX	7.43	ZA-07	VH-07	ZA-08	VH-06, SP-06, RB07, RB08
DZ	13.29		VH-06, SP-06, ZA-07, ZA08		RB-07, VH-07
LHB	40.69		ZA-08	RB-07, VH-07	VH-06, ZA-07
AHB	6.08	ZA-08	VH-06, RB-07		VH-07, RB-08
TP	23.42	RB-07, SP-06		VH-07	ZA-07, RB-08, ZA-08

AL= altura de planta, EX= excersión, DT= diámetro de tallo, DZ= dulzura, LHB= largo hoja bandera, AHB= ancho hoja bandera, TP= tamaño de panoja,  $\mu$ = media general.

Los ambientes A7, A5 y A2, según la longitud de sus vectores en la Figura 1, son los mejores para discriminar las LER con base en la IGA, de igual manera fueron los ambientes donde se obtuvieron los mejores resultados en casi todas las variables consideradas.

Los genotipos al ser utilizados en la producción de biocombustibles, además de contener altos niveles de azúcar deben ser altos (razón por la cual se hace énfasis en estas dos variables). En la Figura 1 se observa la distribución de las líneas como respuesta a la altura de planta, con base en los dos primeros componentes principales. La mayoría de las líneas se comportan de manera estable; sin embargo, se logran apreciar algunas líneas que interaccionan en los diferentes ambientes como por ejemplo en el A2 (SP-06) y A1 (VH-06) las líneas 101, 92 y 50, en A3 (VH-07) y A6 (RB-08) la 76 y 89; mientras que en el A7 (ZA-08) se aprecia un mayor número de líneas como la 138, 72, 146, 77, 42, 130 y 36.

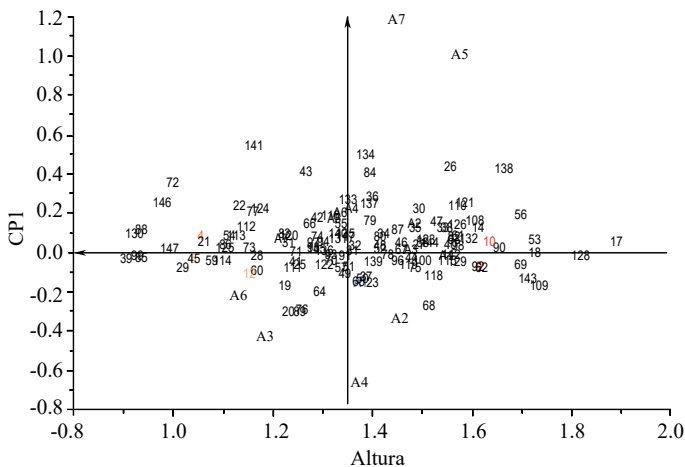
Respecto a los ambientes se puede apreciar que con base en el componente uno los ambientes A1(VH06), A6 (RB08), A4 (RB07), A3 (VH07) y A2 (SP06) muestran una interacción negativa y niveles de estabilidad similares; mientras que en los ambientes A5 (ZA07) y A7 (ZA08) se observa una interacción positiva alta, en relación con esto se puede decir que las LER se desarrollaron mejor en los ambientes positivos y eso se puede constatar en la Figura 2, en la cual el eje X que representa la variable altura con un valor medio de 1.33 m, donde el A2 (SP06), A4 (RB07), A5 (ZA07) y A7 (ZA08) representan los ambientes donde se obtuvieron los valores de mayor altura.



**Figura 1. Distribución de LER en ambientes con base a la altura de planta y los primeros dos componentes.**  
**Figure 1. LER distribution in environments based on plant height and the first two components.**

Regarding the environment, it can be seen that on the basis of a component A1 environments (VH06), A6 (RB08), A4 (RB07), A3 (VH07) and A2 (SP06) show a negative interaction level and alike stability; while for the environments A5 (ZA07) and A7 (ZA08) shows a high positive interaction, in this connection it can be said that PEL grew better in positive environments and it can be seen in Figure 2, in which the X axis representing the variable with a mean height of 1.33 m, where A2 (SP06), A4 (RB07), A5 (ZA07) and A7 (ZA08) represented environments where the values were higher.

Similarly, it can be concluded that, the environments that exhibit an acute angle (less than 90°) classified in a manner similar to the genotypes, as observed in the pairs of environments A5



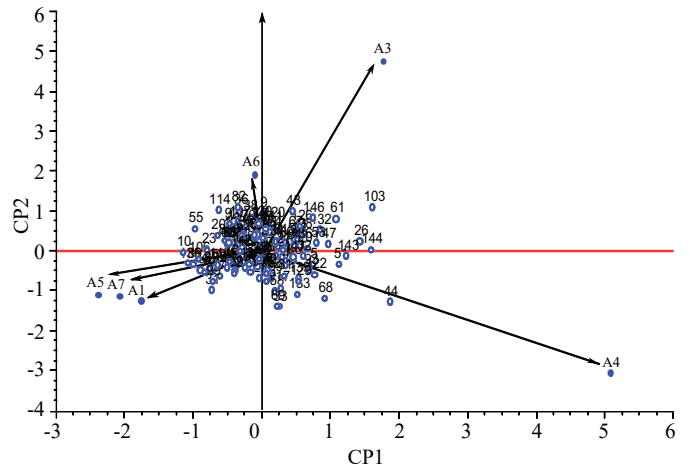
**Figura 2. Distribución de las LER en los ambientes con base en la altura de planta y el primer componente.**  
**Figure 2. LER distribution in environments based on plant height and the first component.**

De igual manera se puede mencionar que los ambientes que exhiben un ángulo agudo (menor a 90°) clasifican de una manera similar a los genotipos, como se observa en las parejas de ambientes A5 (ZA07) y A7 (ZA08); A2 (SP06) y A4 (RB07); y A3 (VH07) y A6 (RB08) de la Figura 1. En la variable dulzura, el comportamiento de las líneas fue muy similar a la variable altura, con una concentración muy importante de líneas en el centro de la Figura 3; sin embargo, se distinguen en A3 (VH-07) la línea 103, en A6 (RB-08) la 114, en A5 (ZA-07), A7 (ZA-08) y A1 (VH-06) la 43, 146 y 61 en el cuadrante donde está A4 se aprecian las líneas 44 y 68, esto muestra que se pueden seleccionar líneas para las diferentes localidades consideradas.

Respecto a los ambientes, se puede apreciar que con base en el componente uno, los ambientes A1, A7, A5 y A6, muestran una interacción negativa con calificación baja muy similar (Figura 3); mientras que los ambientes A3 y A4 una interacción positiva, de los cuales A4 presenta una mayor calificación que indica mayor interacción. En la gráfica del CP1 contra la dulzura (Figura 4), se puede apreciar que en los ambientes A7, A1, A5 y A2 se supera la media general y es en A5 y A2 donde se seleccionaron 13 líneas (93, 53, 96, 61, 131, 144, 136, 106, 14, 51, 22, 122 y 46) con valores superiores a los 15 °Bx e interacciones pequeñas y positivas.

Cabe destacar el hecho de que precisamente los ambientes A7, A1, A5 y A2 mostraron una interacción negativa muy similar. De igual manera se aprecia en la Figura 3, que los grupos de ambientes (A3 y A4), (A2, A4 y A1), (A3 y A2),

(ZA07) and A7 (ZA08), A2 (SP06) and A4 (RB07) and A3 (VH07) and A6 (RB08) in Figure 1. In the variable sweetness, the behavior of the lines was similar to the variable height, with a major concentration of lines in the center of Figure 3; however, are distinguished A3 (VH-07) line 103, in A6 (RB-08) of 114, A5 (ZA-07), A7 (ZA-08) and A1 (VH-06) 43, 146 and 61 in the quadrant where A4 are seen lines 44 and 68, this shows that you can select lines for the different localities.

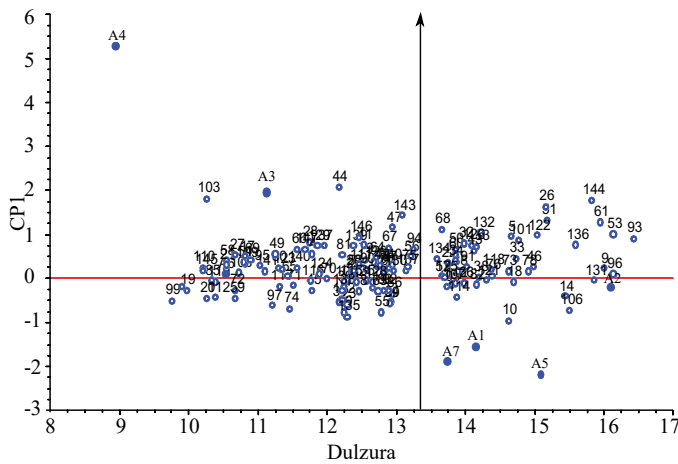


**Figura 3. Distribución de las LER en los ambientes con base en la dulzura y los dos primeros componentes.**  
**Figure 3. LER distribution in environments based on the sweetness and the first two components.**

Regarding the environment, we can see that based on the component one, the environments A1, A7, A5 and A6 show a negative interaction with low scores quite similar (Figure 3), while A3 and A4 environments positive interaction, of which A4 has a higher rating indicating a greater interaction. In the graph against the sweetness of CP1 (Figure 4), shows that in environments A7, A1, A5 and A2 are generally above the average and is in A5 and A2 where 13 lines were selected (93, 53, 96, 61, 131, 144, 136, 106, 14, 51, 22, 122 and 46) with values above 15 °Bx and small and positive interactions.

The fact that precisely the environments A7, A1, A5 and A2 showed a similar negative interaction it's noteworthy. Similarly shown in Figure 3, the groups of environments (A3 and A4), (A2, A4 and A1), (A3 and A2), have sharp angles between them, indicating a similar manner classified genotypes. It is also noted that, the A6 A4, A5, A7 and A1 and A3 to A1, A7 and A5 show an obtuse angle between them. For the length of their vectors, the environments that best discriminate are A4 and A3, representing RB-07, VH07, respectively (Figure 3), projecting the situation A4

y A2), presentan ángulos agudos entre ellos, indicando que clasifican de manera similar a los genotipos. También se observa que el A4 con A6, A5, A7 y A1 y el A3 con el A1, A7 y A5 muestran un ángulo obtuso entre ellos. Por la longitud de sus vectores, los ambientes que mejor discriminan son A4 y A3, que representan a RB-07, VH07, respectivamente (Figura 3), sobresaliendo la situación que A4 y A3 interactúan de manera positiva considerando el CP1; sin embargo, no es en estos ambientes donde se obtienen los mejores resultados en azúcar.



**Figura 4. Distribución de las LER en los ambientes con base en la dulzura y el primer componente.**  
**Figure 4. LER distribution in environments based on the sweetness and the first component.**

Para seleccionar las mejores LER se consideraron de manera conjunta sus resultados de altura y dulzura (Cuadro 8), donde destacan como más sobresalientes las líneas 53, 61 y 14, en relación con la 9 que es la variedad Sureño, uno de los progenitores de las LER.

### Conclusiones

Existe una clara interacción entre las líneas endogámicas recombinantes y los ambientes de evaluación, además se observó segregación transgresiva en la mayoría de las variables. Los dos componentes principales extraídos en cada variable, explicaron más de 50% de la interacción genotipo-ambiente y sugirieron el adecuado funcionamiento del modelo AMMI, para explicar la interacción y clasificar a los genotipos. Las localidades ZA07 y ZA08 del estado de Coahuila, fueron las que

and A3 interact positively considering the CP1, but in these environments is not where the best results in sugar are obtained.

In order to select the best LER, together with the results of height and sweetness (Table 8), which stands out as the most striking lines 53, 61 and 14, in connection with the 9 which is the Sureño variety, a parent of RSI.

**Cuadro 8. Líneas más sobresalientes.**  
**Table 8. Outstanding lines.**

LER	°Bx	Altura
93	16.5	1.32
53	16.21	1.74
96	16.21	1.46
9	16.07	1.61
61	16.01	1.57
131	15.93	1.25
144	15.89	1.44
136	15.65	1.3
106	15.57	1.33
14	15.5	1.64
51	15.26	1.35
26	15.21	1.52
122	15.11	1.17
46	15.04	1.5

### Conclusions

There is a clear interaction between recombinant inbred lines and the evaluation environments, transgressive segregation was also observed in most of the variables. The two main components extracted in each variable, explained over 50% of g\*e interaction and suggested the proper functioning of the AMMI model to explaining the interaction and classify the genotypes. The localities ZA07 and ZA08, Coahuila were those that showed the highest scores for positive and negative interactions and, SP06 a lower rating, but the higher average values in °Bx and plant height were obtained in these locations, so Coahuila is a suitable environment for the development of these recombinant inbred lines and sorghum as a crop. Thirteen recombinant inbred lines with values above 15 °Bx and low g\*e interaction are recommended for use in a breeding

mostraron mayores calificaciones de interacción positiva y negativa y SP06 una menor calificación; sin embargo, los valores medios más altos en °Bx y altura de planta, se obtuvieron en dichas localidades, por lo que Coahuila es un ambiente adecuado para el desarrollo de estas líneas endogámicas recombinantes y del sorgo como cultivo. Trece líneas endogámicas recombinantes con valores por arriba de 15 °Bx y baja interacción genotipo-ambiente, son recomendables para utilizarse dentro de un programa de mejoramiento genético, encaminado a la formación de materiales con alto contenido de azúcar, destacando de entre las líneas endogámicas recombinantes las identificadas como 53, 61 y 14.

## Literatura citada

- Crossa, J. H. G.; Gauch, Jr. and Zobel, R. W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (DGAPEAS). 2009. Financiera Rural. URL: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/sorgo.pdf>.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Fassio, A.; Vázquez, D. y Ceretta, S. 2007. Rendimiento de etanol a partir de jugo de sorgo dulce. Convenio INIA- ANCAPII para la producción de sorgo azucarado. Uruguay. Día de campo de cultivos de verano. Núm. 478. 6 p.
- Fernández, C. G. 2004. Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Resumen E-074. 3 p.
- Galarza, M. J. M.; Miramontes, V.; Castillo, P. U. y Rebolledo, V. M. A. 2003. Situación actual y perspectivas de la producción de sorgo en México. Servicios de información y estadística agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. URL: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/sorgo92-04.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/sorgo92-04.pdf).
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4<sup>ta</sup> edición. UNAM. Instituto de Geografía. México. 217 p.
- program aimed at the formation of materials with high sugar content, highlighting among the identified recombinant inbred lines 53, 61 and 14.
- End of the English version*
- 
- 
- Inman-Bamber, N. G. 2004. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Res.* 89(1):107-122.
- McBee, G. G. and Miller, F. R. 1982. Carbohydrates in sorghum culms as influenced by cultivars, spacing and maturity over a diurnal period. *Crop Sci.* 22:381-385.
- Meckenstock, H. D.; Gómez, H.; Rosenow, D. T. and Guiragossian, V. 1993. Registration of Sureño sorghum. *Crop Sci.* 33:213.
- Miller, F. R. 1984. Registration of RTx430 sorghum parental line. *Crop Sci.* 24:1224.
- Miller, A. N. and Ottman, M. J. 2010. Irrigation frequency effects on growth and ethanol yield in sweet sorghum. *Agron. J.* Vol. 102, Issue 1.
- Murray, S. C.; Sharmab, A.; Rooney, W. L.; Klein, P. E.; Mullet, J. E.; Mitchell, S. E. and Kresovich, S. 2008. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: IQTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. *Crop Sci.* 48:2165-2179.
- Murray, S. C.; Rooney, W. L.; Hambin, M. T. Mitchell, S. E. and Kresovich, S. 2009. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for °Bx and height. *The plant genome.* 2(1):48-62.
- Parga, T. V. M.; Zamora, V. V. M.; González, V. V. M.; García, G. S. J. y Villavicencio, G. E. E. 2005. Interacción genotipo por ambiente en clones de papa bajo riego en el noreste de México. *Agric. Téc. Méx.* 31(1):55-64.
- Reveles, S. F. O.; Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Delgado, L. D.; Cuellar, R. I.; Carrete, C. F. O. y Ríos, S. J. C. 2010. Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(1):45-54.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.) 1989. SAS/STAT User's Guide. Version 6.0. Fourth edition. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Sirio-Prieto, G.; Ernst, O.; Martínez-Haedo, M. y Sergio, A. 2006. Productividad del sorgo dulce para la producción de etanol según variedad, época de siembra y población en el noreste Uruguayo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Uruguay. Informe 32-10. 10 pp.

Varela, M. R. 2007. Estudio del sorgo dulce como alternativa de cultivo energético en la producción de energías alternas renovables. CERTA, Research and Consulting, Inc. URL: <http://www.certa.cc/Sorgo%20Dulce%20como%20alternativa%20de%20cultivo%20energetico.pdf>.

Vargas, H. M. y Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Unidad de Biometría. D. F., México. URL: <http://www.cimmyt.cgiar.org/biometrics>.