

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Estimación de la Interacción Genotipo por Ambiente de 135 LER de
Sorgo Utilizando el Modelo AMMI.**

Por:

ADELMAR ADELAIDO VELÁZQUEZ ZUNÚN

T E S I S:

**Presentada como Requisito Parcial Para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre, 2010.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estimación de la Interacción Genotipo por Ambiente de 135 LER de Sorgo
Utilizando el Modelo AMMI.

Por:

ADELMAR ADELAIDO VELÁZQUEZ ZUNÚN

T E S I S

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador, como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por:

Asesor principal. _____
Dr. Armando Rodríguez García.

Asesor. _____
M.C. Luis Ángel Muñoz Romero

Asesor. _____
Ing. Alfredo Fernández Gaytán.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre, 2010.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Estimación de la Interacción Genotipo por Ambiente de 135 LER de
Sorgo Utilizando el Modelo AMMI.**

Por:

ADELMAR ADELAIDO VELÁZQUEZ ZUNÚN

T E S I S

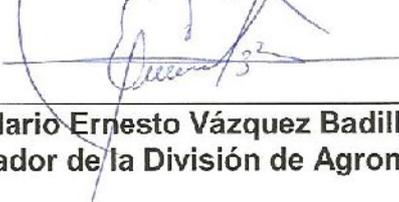
Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador, como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por:



Dr. Armando Rodríguez García



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2010

DEDICATORIA

Con cariño y respeto dedico este trabajo a:

MIS PADRES: A mi Madre Eva Zunún Gutiérrez y Mi Padre Adelaido Velázquez Morales, quienes con sus escasos recursos quisieron que saliera adelante, por todo su tiempo y amor que siempre me han demostrado, han sido siempre pacientes conmigo, son y serán mi motivación para llegar a esta y la siguiente meta, siéntanse satisfechos este logro les pertenece también es para ustedes, Dios me los cuide, muchos años, Los quiero.

A MIS ABUELOS: Que siempre me brindaron sus consejos.

A MI ESPOSA: Nereyda Morales B. Gracias por los momentos tan hermosos que he pasado a tu lado, tu cariño, amor, comprensión, paciencia y por darme una hermosa y linda bebé (Te amo chiquita).

A MI HIJA: Mi linda bebé Dulce Yosselit Velázquez Morales, eres la razón por la cual busco un mejor mañana. (Te quiero mucho pequeña)

A MIS HERMANOS: Aracely, Lili, Maribel, Berni, Jilmar, Oscar, Limner y Dogabier. Por los momentos alegres y tristes que hemos compartido, que Dios los bendiga.

A MIS SOBRINOS: Al Ing. Eswún Dogmer, Yessenia, Fany Marisol, Oscarin, Adán, Cristi, Rogelio, Esvan y Cecy, como una pequeña muestra de superación los quiero a todos.

A LA FAMILIA MORALES GONZALEZ: Por el cariño, apoyo y consejos que me han demostrado durante mi formación profesional, gracias por abrirme las puertas de su casa en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, *por todo lo que me ha dado y porque nos enseña que: “Feliz el hombre que no sigue el consejo de los malvados, ni va por el camino de los pecadores, ni hace causa común con los que se burlan de Dios, sino que pone su amor en la ley del Señor y en ella medita noche y día”. Ese hombre es como un árbol plantado a la orilla del río, que da fruto a su tiempo y jamás se marchitan sus hojas. ¡Todo lo que hace, le sale bien! (Salmo 1:1-3).*

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO: *Por la oportunidad que me brindo en mi preparación profesional. Se lo debo todo a mi Alma Terra Mater.*

A MI ASESOR DE TESIS, el Dr. Armando Rodríguez García, *profesor investigador del Departamento de Fitomejoramiento por su amistad, sensibilidad y calidad humana quien me apoyo a lo largo de la tesis tanto como en la parte teórica como en la práctica.*

AL M.C. LUIS ÁNGEL MUÑOZ ROMERO, Y AL ING. ALFREDO FERNÁNDEZ GAYTÁN: *Por sus comentarios y sugerencias en la tesis.*

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO: *Por su apoyo brindado en toda mi formación profesional.*

A LOS PROFESORES: *Que fueron parte de mi formación académica ya que me enseñaron a ser una mejor persona con sus conocimientos, en especial a los profesores del Departamento de Fitomejoramiento.*

AL Consejo Nacional de Fomento Educativo (Conafe), *por haberme permitido desempeñarme como Instructor y/o Capacitador y otorgarme la beca para seguir con mi carrera profesional.*

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: *Que me acompañaron en esta etapa de mi vida.*

“MUCHAS GRACIAS”

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tema	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURA	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Antecedentes.....	5
Importancia del cultivo.....	5
Taxonomía.....	7
Descripción botánica.....	8
Sistema radicular.....	8
Tallos.....	8
Hojas.....	9
Flores.....	9
Grano.....	10
Requerimientos ecológicos y edáficos.....	11
Temperatura.....	11
Humedad.....	11
Altitud.....	12
Latitud.....	12
Fotoperiodo.....	13
Suelo.....	13
Siembra.....	13
Época de siembra.....	14
Cosecha.....	15
Época de cosecha.....	15
Importancia del sorgo a nivel mundial.....	16
Importancia del sorgo en México.....	17
Principales estados productores de sorgo en México.....	18
Producción obtenida.....	20
Mejoramiento genético.....	21

Líneas.....	22
Líneas endogámicas recombinantes.....	23
Endogamia.....	23
Autógamas.....	24
Método de descendencia de una sola semilla.....	25
El Modelo AMMI.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
Área de estudio.....	29
Material genético.....	31
Siembra.....	31
Labores culturales.....	32
Variables evaluadas.....	32
Altura de planta.....	32
Excursión.....	32
Diámetro del tallo.....	32
Dulzura.....	32
Largo (LHB) y ancho de la hoja bandera (AHB).....	32
Longitud de panoja.....	33
Diseño experimental.....	33
Análisis estadístico.....	33
Media.....	34
Rango.....	34
Coeficiente de variación (C.V.).....	35
El modelo AMMI.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
Variables evaluadas.....	36
Altura de planta.....	36
Excursión.....	39
Diámetro de tallo.....	40
Dulzura.....	42
Largo (LHB) y ancho de la hoja bandera (AHB).....	43
Tamaño de panoja.....	47
Interacción genotipo ambiente.....	48
CONCLUSIONES.....	57
LITERATURA CITADA.....	58
APÉNDICE.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
2.1. Época de siembra para los estados más productores de sorgo en México.....	14
2.2. Fechas de cosecha de sorgo en México.....	15
2.3. Principales estados productores de sorgo en México por ciclo.....	19
2.4. Estados más productores de sorgo (2005-2009).....	19
4.1. Cuadrados medios, significancias y coeficientes de variación (C.V.), de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.....	36
4.2. Media, rango, valor más bajo y mas alto, valores arriba de la media y valores de bajo de la media de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.....	37
4.3. Valores medios de localidades y progenitores en siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.....	39
4.4. Cuadrados medios y significancias del análisis de estabilidad a través de la prueba AMMI, de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.....	49
4.5. Significancias de los componentes principales (ECP1, ECP2), grados de libertad (GL), Porcentaje de la Varianza Acumulada (%AC) y cuadrados medios (CM) de siete variables evaluadas en Sorgo en el ciclo P-V 2007.....	50
A1. Genealogía de las 135 Líneas Endogámicas Recombinantes (LER) F _{2:9} y sus progenitores.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Producción de sorgo en el mundo.....	20
2.2. Producción obtenida de sorgo en México 1999-2009.....	20
4.1. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable altura y el primer componente.	51
4.2. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable altura y los dos componentes principales.....	53
4.3. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable dulzura y el primer componente.....	55
4.4. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable dulzura y los dos componentes principales.....	56

RESUMEN

Con el fin de estimar la interacción genotipo por ambiente (G x A) de 135 Líneas Endogámicas Recombinantes (LER) de sorgo. Se realizó el presente estudio durante el ciclo primavera-verano (2007), donde se evaluaron 135 LER en tres localidades contrastantes, Valle Hermoso y Río Bravo Tamaulipas y en Zaragoza Coahuila. El material genético utilizado fueron 135 LER, las cuales se derivaron de la cruce entre dos progenitores contrastantes; la variedad Sureño y la línea RTx430. El diseño utilizado en cada localidad de prueba fue un α latice 9x15 con dos repeticiones. Se realizó el análisis de varianza combinado (ANVA) para las variables; altura de planta, excersión, diámetro de tallo, dulzura, largo y ancho de la hoja bandera y tamaño de panoja; se calculó su coeficiente de variación, media, rango y valores arriba y debajo de la media. La interacción y la estabilidad de las LER se determinaron a través del análisis de Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI).

Los resultados del ANVA, mostraron que todas las variables presentaron diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación; ambientes, genotipos, ambientes por genotipos, y repetición dentro de ambiente, considerando de estas las mas importante la de (G x A) que indica la interacción y/o estabilidad de las líneas en los ambientes de

prueba. De igual forma se pudo apreciar en todas las variables una segregación transgresiva.

Los resultados del análisis de AMMI mostraron que el componente principal (CP1), explicó desde un 59.49 % de la varianza en la variable longitud de panoja, hasta un 65.18 % en ancho de la hoja bandera. En el CP2 se obtuvieron valores desde 38.41 % en ancho de la hoja bandera hasta 48.50 % en tamaño de panoja. Dichos componentes resultaron altamente significativos en todas las variables evaluadas.

Aun y cuando todas las variables consideradas en el presente trabajo son importantes solo se realizaron los biplots de las variables altura de planta y dulzura. Con respecto a la variable altura, el CP1 explicó el 65.12 % del total de la varianza, mientras que el CP2 solo el 34.78 %, resultando los dos componentes altamente significativos. A través del modelo AMMI se identificó el ambiente A5 (Zaragoza, Coah.) como ambiente positivo, siendo en esta localidad donde se obtuvieron valores superiores a la media en la variable altura, en tanto que los ambientes A3 (Valle Hermoso), y A4 (Río Bravo) mostraron interacción negativa. Considerando su altura y estabilidad se seleccionaron las líneas 68, 140 y 132.

Los CP1 y CP2 resultaron altamente significativos para la variable dulzura, el CP1 explicó el 65.12 % de la varianza acumulada en tanto que el CP2 únicamente el 44.73 %. En esta variable el ambiente considerado más favorable por su interacción positiva fue el A4, mientras que los ambientes

A3 y A5 presentaron una interacción negativa, sin embargo fue en este último donde se obtuvieron valores arriba de la media. De acuerdo a los resultados obtenidos en las líneas evaluados se seleccionaron para su posible uso en la producción de etanol las LER 63, 90, 39 y 28 por presentar alto contenido de °Brix, así como las LER 63, 32 106, 114 y 142 estas por mostrar estabilidad en el A5 y superar los valores medios.

Palabras Claves: Interacción genotipo ambiente, modelo AMMI, *Sorghum bicolor* L. Moench, Líneas endogámicas recombinantes (LER), etanol.

INTRODUCCIÓN

La planta del sorgo granífero moderna (*Sorghum bicolor* L. Moench) es un producto del ingenio del hombre, que seleccionó, domesticó y cambió esta maravillosa planta productora de energía para satisfacer sus necesidades y ella probó ser enormemente útil en áreas muy cálidas y secas donde no es posible obtener buenos rendimientos en cultivos de maíz (Naidu *et al.*, 2003). En años recientes, el hombre adaptó este cultivo para satisfacer sus necesidades en muchas partes del mundo (Bennett y Tucker, 1986).

El grano del sorgo tiene aplicación tanto en la nutrición humana, como en la alimentación de los animales; el tallo de la planta y el follaje se utilizan como forraje verde picado, heno, ensilaje y pastura. En algunos lugares el tallo es utilizado como material de construcción. En cuanto a los residuos de la planta (luego de que se ha cosechado la panícula) estos pueden utilizarse como combustible (House, 1982).

La importancia del cultivo del sorgo a nivel mundial, radica en que es fuente de alimento para millones de personas. En México, el sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) ocupa el segundo lugar en importancia agrícola por la magnitud de producción (3.3 millones de toneladas) y el tercer

sitio en superficie sembrada (más de un millón de hectáreas), con un rendimiento promedio nacional de 3.8 t ha (SIAP, 2008).

En América el país que produce más sorgo son los E.U., pero su cultivo se está difundiendo rápidamente en México y en otras regiones, en áreas con promedio de temperatura de 18°C más con periodo de 120 días o mas, libres de heladas y con suelo arable provisto de suficiente humedad para el desarrollo de cualquier cosecha (Poehlman, 1986).

En México la superficie cultivada con sorgo para grano (*Sorghum bicolor* (L) Moench) es de cerca de 1.5 millones de hectáreas, y casi toda se siembra con híbridos comercializados por compañías privadas. En su mayoría, estas compañías ofrecen híbridos que producen altos rendimientos, (en los últimos 10 años, México ha ocupado uno de los tres primeros lugares, a nivel mundial, en rendimiento de grano/ha), ni sus líneas progenitoras ni los híbridos mismos fueron específicamente seleccionados por su comportamiento bajo las condiciones ambientales propias de las áreas sorgueras del país (Mendoza, *et al.*, 1988).

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L). Moench) es una especie que en los 5 últimos años ha empezado a cultivarse en las regiones tropicales húmedas del país, donde actualmente se siembran casi 150 000 ha. Esta superficie representa cerca del 10% del área total sembrada en México, pero Trujillo (1986) indica que en estas regiones la superficie potencial apta para sorgo es cercana a un millón de hectáreas. Debido al reducido número de

genotipos con buenas características agronómicas y amplia adaptación, así como la poca oferta de semillas de híbridos comerciales, se considera de importancia aplicar metodología que den celeridad a los programas de mejoramiento genético que se realizan en esas áreas (Mora, *et al.*, 1990).

Por lo anterior, es factible que el rendimiento de grano de esta especie pueda incrementarse si se identifican progenitores con características agronómicas, fisiológicas y de todo tipo, que satisfacen las necesidades específicas de productores y consumidores nacionales; que explotan mejor el ambiente particular de las zonas sorgueras actuales y potenciales del país; cuyo cruzamiento permita explotar también el vigor híbrido que comúnmente se manifiesta en el sorgo. Sin embargo, ante la abundancia de líneas que puedan ser producidas e introducidas a un programa de mejoramiento genético, es importante detectar metodologías que rápida y eficazmente permitan seleccionar progenitores que den lugar a híbridos de mayor rendimiento y/o de mejores características agronómicas (Mendoza, *et al.*, 1988).

Por lo tanto la evaluación de genotipos en varios ambientes es indispensable en los programas genotécnicos, pues su respuesta relativa con frecuencia cambia de un ambiente a otro. Conocer la magnitud la interacción genotipo x ambiente permite seleccionar los genotipos de acuerdo con los objetivos del fitomejorador (Brancourt-Hulmel y Lecomte, 2003; Coutiño-Estrada y Vidal-Martínez, 2006).

OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento agronómico de 135 LER de sorgo y sus progenitores en tres localidades.
- Determinar la estabilidad y/o la interacción genotipo por ambiente de las LER en los ambientes de prueba.
- Seleccionar las mejores líneas que presenten potencial para ser utilizadas como variedades para la producción de forraje, grano, doble propósito y producción de etanol.

HIPÓTESIS

- Las LER responden en forma diferente en cada ambiente.
- Las LER tienen diferentes grados de interacción en las regiones de evaluación.
- Entre las LER de sorgo evaluadas en el presente trabajo, existen algunas con alto potencial para la producción de forraje, grano, doble propósito y producción de etanol.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

El sorgo grano (*Sorghum bicolor* (L) Moench) es un cereal originario de la India y la zona de África. De hecho en estas regiones y también en China, es un alimento básico de la dieta de millones de personas. Sin embargo, los países desarrollados no incluyen el sorgo en su alimentación sino que lo emplean como forraje para el alimento del ganado. El (*Sorghum bicolor* (L) Moench) se conoce con varios nombres: mijo grande y maíz de guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudán mtama en África oriental, jomar en la india y kaoliang en China (FAO, 1995)

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en India en el siglo I d. C. Esculturas que lo describen se hallaron en ruinas asirias de 700 años a. C. Quizá, el sorgo sea originario de África Central -Etiopía o Sudán-, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen sin embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India (Bennett y Tucker, 1986).

Sin embargo es posible que la domesticación del sorgo haya surgido alrededor del año 3000 a.C. De Wet *et al.*, (1970), estudiaron informes

arqueológicos pero únicamente encontraron información insuficiente sobre el sorgo. Por lo tanto de Wet y sus colaboradores sugieren que el sorgo tuvo origen diverso y que probablemente surgió de cruces de *S. verticilliflorum*; *S. arundinaceum* (zacate de los bosques tropicales), *S. aethiopicum* y *S. virgatum* (fueron encontrados en regiones desérticas). Estos hábitats están fuera de las áreas sorgueras importantes, y probablemente contribuyeron menos a la domesticación. El *Sorghum verticilliflorum* se encuentra comúnmente en áreas donde se cultiva el sorgo. Existe una gran variabilidad en *Sorghum verticilliflorum*; y dicha especie al igual que otras especies silvestres se cruza fácilmente con el sorgo cultivado. Éste da buenos rendimientos y probablemente fue colectado y usado antes de la aparición de la agricultura (House, 1982).

Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granífero, eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al acame y difíciles de cosechar. Además maduraban muy tardíamente. Los tipos Kafir y Milo fueron seleccionados como productores de granos por los primeros colonos en las grandes planicies debido a que su tolerancia a la sequía es mayor que la del maíz. Con el advenimiento de las máquinas cosechadoras se hicieron selecciones a partir de los materiales originales, obteniendo tipos más precoces y algo más bajos. Sin embargo, fue la combinación de "tipos" de sorgo granífero, iniciada por John B. Seiglinger de Oklahoma, lo que hizo posible cultivarlos utilizando la cosecha mecanizada (Bennett y Tucker, 1986).

El desarrollo posterior de los tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo granífero como un importante cultivo (Bennett, Tucker, 1986).

Desde la introducción de esta especie a los Estados Unidos ha cambiado considerablemente como resultado de las mutaciones naturales y de los trabajos efectuados por los fitomejoradores. En general los sorgos que se introdujeron originalmente eran muy altos, muy tardíos y tenían muy poca adaptabilidad. Mediante la obtención de variedades precoces, la región de producción de sorgos se extendió hacia el norte hasta Nebraska, Wyoming, Dakota del sur, así como a zonas de considerable altitud (Poehlman, 1986).

Taxonomía

Reino:	Vegetal
División:	Trachaeophyta
Subdivisión:	Pteropsidae
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotiledoneae
Grupo:	Glumiflora
Orden:	Graminales
Familia:	Graminae
Subfamilia:	Panicoideas
Tribu:	Andropogoneae
Género:	<i>Sorghum</i>
Especie:	<i>bicolor</i>

Descripción botánica

El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas. Las especies son el *Sorghum bicolor* y el *Andropogum Sorghum sudanensis*. El sorgo tiene una altura de 1 a 2 m. Presenta inflorescencias en panojas y semillas de 3 mm esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y amarillento. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos (www.infoagro.com)

Sistema radicular

Las raíces del sorgo son adventicias, fibrosas y desarrollan numerosas raíces laterales. La profusa ramificación y amplia distribución del sistema radicular es una de las razones por las cuales el sorgo es tan resistente a las sequías. La planta puede permanecer latente durante largos periodos de sequía sin que las estructuras florales en desarrollo mueran, pudiendo además continuar nuevamente el crecimiento una vez que las condiciones vuelvan a ser favorables (Robles, 1990).

Tallos

Los tallos son cilíndricos, erectos, sólidos y pueden crecer a una altura de 0.60 m. a 3.50 m. estando divididos longitudinalmente en canutos

(entrenudos) cuyas uniones las forman los nudos y de las cuales emergen las hojas. Cada nudo esta provisto de una yema lateral. En algunas variedades una, dos o tres de las yemas inferiores se desarrollan para formar los macollos. La longitud de los entrenudos o canutos determina la altura de planta, por lo que algunas de las variedades enanas, y altas, de la misma precocidad y en el mismo estado de madurez, tendrán el mismo numero de hojas, nudos y entrenudos, siendo la diferencia en estatura debida a la longitud de los entrenudos en algunas variedades pero diferente entre otras (Robles, 1990).

Hojas

Las hojas aparecen alternas sobre el tallo, las vainas foliares son largas y en las variedades enanas se encuentran superpuestas. Todas las variedades varían en el tamaño de sus hojas, pero todas ellas las poseen algo más pequeñas que las del maíz. Las hojas del sorgo se doblan durante periodos de sequía, característica que al reducir la transpiración, contribuye a tan peculiar resistencia de la especie a la sequía (Robles, 1990).

Flores

La inflorescencia del sorgo se denomina con el nombre de panícula, ésta es compacta o semicompacta en algunas variedades como los milos, hegaris, kafirs, etcétera, y abiertas en otros como los shallus, sorgos

escoberos, el pasto sudán, algunos sorgos forrajeros etcétera. Las florecillas son de dos clases sésiles y pediceladas, las últimas son por lo general estaminadas. Cada florecilla sésil contiene un ovario el cual después de la fecundación se desarrolla para formar una semilla. (Robles, 1990). El androceo y el gineceo se encuentran cubiertos por las glumas, totalmente en algunas variedades y muy parcialmente en otras, dichas glumas son generalmente de color negro, rojo, café o color paja. El sorgo generalmente se autofecunda; sin embargo no existe ningún obstáculo para la fecundación cruzada, pues cuando dos variedades diferentes se encuentran en parcelas continuas puede estimarse el cruzamiento en un 5% o más según las variedades. El polen aparece inmediatamente después de la dehiscencia y retiene una viabilidad por menos de una hora. Los estigmas, por lo contrario, permanecen receptibles por varios días (Robles, 1990)

Grano

Los granos del sorgo, en número de 25000 a 60000 por Kg. Son pequeños en comparación con aquellas del maíz, las cuales se encuentran de 4000 a 8000 por Kg. El color de la semilla, ya sea blanco, rojo, amarillo o café proviene de complejos genéticos que envuelven al pericarpio. La mayor parte del cariósido (fruto de las gramíneas) es endospermo, el cual se compone de almidón casi en su totalidad (Robles, 1990).

Requerimientos ecológicos y edáficos

Como es un cultivo que se siembra en diferentes países del mundo, es una especie que se adapta a condiciones ecológicas y edáficas muy diversas, es susceptible de aprovecharse económicamente en siembras comerciales en regiones agrícolas con las siguientes condiciones (Robles, 1990).

Temperatura

Por ser una especie de origen tropical, el sorgo requiere temperaturas altas para su desarrollo normal, siendo por lo tanto más sensibles a las bajas temperaturas que otros cultivos. Para una buena germinación, el suelo debe tener una temperatura no inferior a los 18° C. a cm. de profundidad, si el suelo estuviese mas frio, entre 15 y 16° C, tendría una emergencia lenta y desuniforme, con plántulas débiles y rojizas. Durante la floración requiere una mínima de 16° C, ya que por debajo de este nivel se puede producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen (Jiménez, 1989).

Humedad

Los sorgos se cultivan ampliamente en las zonas tropicales y templados, pueden desarrollares en zonas áridas. Su mayor capacidad para tolerar la sequía, alcalinidad y las sales, que la mayor parte de las plantas

cultivadas, hace de los sorgos un grupo de zonas de escasa humedad o de poca precipitación, por su resistencia a las sequías, es propio el sorgo cultivarse en las áreas donde las lluvias es insuficiente para el cultivo de maíz como en aquellas que tenga una distribución de 400 a 600 mm de precipitación media anual (Hughes, 1984).

Altitud

Por sus altas exigencias de temperaturas, raramente se le cultiva más allá de los 1800 m. de altura. Se cultiva favorablemente de 0 a 1000 msnm. En México se ha cultivado con éxito a 2200 msnm. En el valle de Toluca que tiene una altitud de 2600 msnm se han hecho pruebas con resultados satisfactorios (Robles, 1983).

Latitud

El sorgo se puede cultivar desde los 45° grados norte a los 35° grados latitud sur, en el área comprendida entre estas latitudes es donde se puede cultivar el sorgo con mayores rendimientos debido a que más al norte o más al sur las temperaturas son más bajas y no se puede cultivar con buenos rendimientos (Robles, 1990).

Fotoperiodo

El sorgo se caracteriza por ser de un fotoperiodo corto, lo cual quiere decir que la maduración de la planta se adelanta cuando el periodo luminoso es corto y el oscuro largo. Sin embargo existen diferencias en cuanto a la sensibilidad a la longitud del Fotoperiodo; por ejemplo, algunas variedades botánicas como los sorgos escoberos (var. *Technicum*) son pocas sensitivas, en tanto que las variedades Hegari y Milo son sumamente sensitivas (Hughes, 1984)

Suelo

Puede cultivarse en una diversidad de suelos pero se da mejor en los terrenos ligeros, profundos y ricos en nutrientes. Los de aluvión son buenos. Los suelos arcillosos aunque pueden proporcionar buenos rendimientos, tienen el inconveniente de que la sequía hace daños al sistema radicular, al agrietarse el terreno por lo que hay que recurrir al agua en los casos extremos. Se ha encontrado que este cultivo puede efectuarse en terrenos con ciertas proporciones de sales solubles que limitan la producción de otros cultivos (Robles, 1990).

Siembra

En la siembra de sorgo granífero se utilizan todos los sistemas de labranza, desde el convencional hasta la labranza cero. Entre ambos

extremos existen diferentes labores y combinaciones entre ellas, que se adaptan a cada región en particular, según tipo de suelo, clima y secuencia de cultivos realizados, (Manual técnico sorgo Cargill).

- a) A chorrillo.
- b) La siembra convencional.
- c) En hileras con sembradoras de arroz.
- d) Siembra con labranza reducida.

Época de Siembra

Las condiciones climatológicas de la región determinan la época de siembra de los cultivos, sin embargo en algunos centros experimentales del INIFAP han determinado las fechas más convenientes para siembra de esta gramínea (Robles, 1990).

Cuadro 2.1. Época de siembra para los estados más productores de sorgo en México

REGION	CICLO	FECHA
Tamaulipas(región norte)	Primavera	11 de Feb. al 18 de Mar
	Verano	no se aconseja sembrar después por presentarse problemas de plagas (mosca de la panoja)
Guanajuato	Primavera	1º al 15 Abr.(para híbridos tardíos)
	Verano	1º al 25 de jun. (al momento del temporal)
Sinaloa	Primavera	15 de enero al 28 de febrero.
	Verano	
Jalisco	Primavera	de abril a principios de mayo
	Verano	
Michoacán	Primavera	1º de mayo al 10 de mayo sorgo de temporal
	Verano	
Coahuila	Primavera	15 de marzo al 15 de abril
	Verano	15 de junio al 15 de julio

Fuente: Tomado del Libro de Producción de Granos y Forrajes (Robles, 1990).

Cosecha

Esta labor se debe realizar cuando el grano tenga de 14 a 18% de humedad, lo que ocurre los 105 y 120 días a partir de la fecha de siembra, en función del ciclo vegetativo del híbrido o variedad sembrada. Para tal, se debe disminuir el nivel de humedad al 14%. Si se lo deja secar en pié, mientras la humedad baja del 20 al 14%, se producen pérdidas por diversas causas (manual técnico sorgo Cargill). La cosecha se realiza de diferentes formas dependiendo de la región y el tipo de productor, por ejemplo:

- ❖ De forma manual.
- ❖ De forma mecánica.

Época de Cosecha

Alrededor de 30 días después de la floración, el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica y forma una capa negra (abscisión) que corta el movimiento de nutrientes y agua de la planta al grano (Robles, 1990).

Cuadro 2.2. Fechas de cosecha de sorgo en México

Lugar	Época	Fecha de Cosecha
Valle del Yaqui, del Mayo y de Guaymas	Siembra de primavera	15 de julio a 15 de Agosto
	Siembra de verano	Todo el mes de Diciembre
Costa de Hermosillo	Siembra de primavera	Todo Julio
	Siembra de verano	todo el mes de Noviembre
Región de Caborca	Siembra de verano	1º de septiembre al 15 de Oct.
	Siembra de primavera	1º de Junio al 31 de Julio
Carrizo	Siembra de verano	15 de noviembre al 15 de Dic.

Fuente: Tomado del Libro de Producción de Granos y Forrajes (Robles, 1990)

En esta etapa el grano tiene entre un 30 y 35 % de humedad y continua perdiéndola durante los 25 a 30 días posteriores, hasta alcanzar una humedad del 20%, nivel que permite iniciar la cosecha, pero no almacenar el grano. Algunos de las fechas de cosecha de algunas regiones del país son las siguientes

Importancia del Sorgo a nivel Mundial

A nivel mundial se distinguen cuatro principales países productores: Estados Unidos, India, Nigeria Y China, los que en conjunto aportan un 65% de la producción mundial (Claridades Agropecuarias, 1997).

La producción mundial de sorgo en el ciclo agrícola 2007/08 fue de 64.63 millones de toneladas, cifra superior en 6.90 millones de toneladas a la registrada el año anterior. Las estimaciones de producción del mes de enero para el ciclo agrícola 2008/2009 fue de 63.79 millones de toneladas, 259,000 toneladas más que el ciclo 2007/08. El principal país productor de sorgo es Estados Unidos. En el ciclo agrícola 2007/08 reportó una producción de 12.82 millones de toneladas, aproximadamente el doble de producción que México (6.25 millones de toneladas). El segundo país productor de sorgo es Nigeria con un volumen de 10.50 millones de toneladas, seguido de la India con 7.40 millones. México participa con el 10.1% de la producción mundial ocupando el cuarto productor a nivel mundial. Sudan ocupa el quinto lugar, y el sexto lugar ocupado por Argentina. En la Figura 2.1. Se puede observar la producción mundial en porcentajes que contribuyen a nivel mundial.

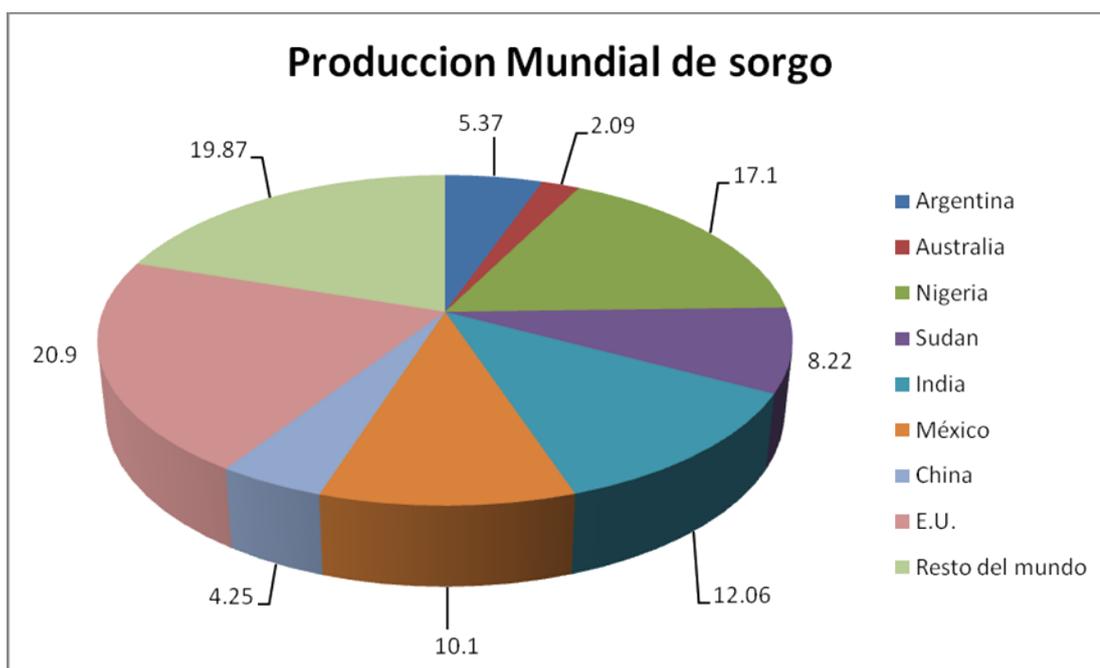


Figura 2.1 Producción Mundial de Sorgo.

Fuente: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con Información de las delegaciones de la SAGARPA.

Importancia del sorgo en México

El sorgo es uno de los principales granos en México su importancia radica en que aporta materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales la cual a su vez permite que el mercado alimentario disponga de proteínas de origen animal, forma parte de una amplia cadena en que van desde los productores pasando por las industrias hasta llegar a los consumidores (Claridades Agropecuarias, 1997).

Es utilizado en la preparación de alimentos balanceados, también se puede hacer la harina de sorgo o en composición de harinas para la fabricación de galletas, alfajores, bizcochos, pan etc. En la industria de

extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación donde se producen tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol. (Fuente SIAP).

El sorgo grano ha sido considerado como un sustituto del maíz, ya que es utilizado en la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo para aves, cerdos y bovinos, fuente de materia prima para la obtención de harina (almidón) y aceites, así como también en el aprovechamiento del rastrojo (esquilmo) para alimento de bovinos y equinos en menores proporciones (Cuberos, 1983). La preferencia hacia este grano en relación con otros cultivos, se debe principalmente por su amplia tolerancia a condiciones de baja humedad del suelo y porque es redituable aun en condiciones poco favorables; es un cultivo mecanizado desde la siembra a cosecha, y pueden establecerse variedades o híbridos de doble propósito, lo que mejora las posibilidades de ingreso para el productor.

Principales estados productores de sorgo en México.

La producción nacional de sorgo presenta una alta concentración geográfica de temporal, no obstante que es un cultivo que se siembra en todo el país. Tamaulipas y Guanajuato son los principales estados en producción a nivel nacional, en conjunto aportan el 61% de la producción total nacional, lo que equivale a 3.8 millones de toneladas. Sinaloa es el tercer lugar en producción con un volumen de 0.61 millones de toneladas seguido de Michoacán con 0.50 millones de toneladas.

Como puede observarse en el (Cuadro 2.3), la producción nacional de sorgo grano, es más relevante en el ciclo P-V ya que en este último año se obtuvo 2, 595,972.36 de toneladas. Con respecto al ciclo O-I, 2, 251,544.57 de toneladas es decir con una diferencia de 334,427.79 toneladas. Aclarando que solo el estado de Tamaulipas participa casi con el 97.89% de la producción O-I.

Cuadro 2.3. Principales estados productores de sorgo en México por ciclo

CICLO Estado	P-V 2009- 2009		O-I 2009-2010	
	Miles de Ton	%	Miles de Ton	%
Guanajuato	1,198,238.30	46.15%	0.00	0.0
Jalisco	122,528.44	4.75	7,183.05	0.31
Michoacán	395,837.25	15.24%	14,718.32	0.65
Sinaloa	490,864.21	18.90%	25,407.46	1.12
Tamaulipas	388,444.16	14.96%	2,204,235.74	97.89
Total Nac.	2,595,972.36	100	2,251,544.57	100

Fuente: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con Información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados. Datos al 31 de agosto del 2010.

En el cuadro 2.4 se puede observar los datos referentes a la producción nacional donde el Estado de Tamaulipas aparece como el primer productor a nivel nacional, Sinaloa, Michoacán Guanajuato y Jalisco aportan el 38.89%.

Cuadro 2.4. Estados más productores de sorgo (2005-2009).

ESTADO	2005	2006	2007	2008	2009
Guanajuato	1 205 979	1 126 112	1,298,427.75	1,607,025.00	1,198,238.30
Jalisco	206 312	213 503	170,123.24	127,313.29	122,528.44
Michoacán	401 721	549 980	481,050.35	518,023.11	395,837.25
Sinaloa	492 942	407 258	592,282.50	580,581.52	490,864.21
Tamaulipas	2 162 215	2 031 003	592,282.50	624,711.46	388,444.16

Fuente: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con Información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados. Datos al 31 de agosto del 2010.

Producción obtenida.

La producción nacional de sorgo para el año 2007 fue de 6.20 millones de toneladas, cifra superior en 12% alcanzando en el ciclo anterior 2006 (5.2 millones de toneladas). El volumen de producción y el rendimiento por hectárea de sorgo se ha reducido en los últimos años.

En la Figura 2.1. Se puede observar el comportamiento de la producción en los últimos diez años donde se nota que en el año 2004 existió un incremento en la producción pero en el 2005 y 2004 vuelve a disminuir considerablemente alrededor de 1.485.835.59 toneladas y en los años consecuentes se recupera un poco mas lográndose 6.108.085.15 toneladas en el año 2009.

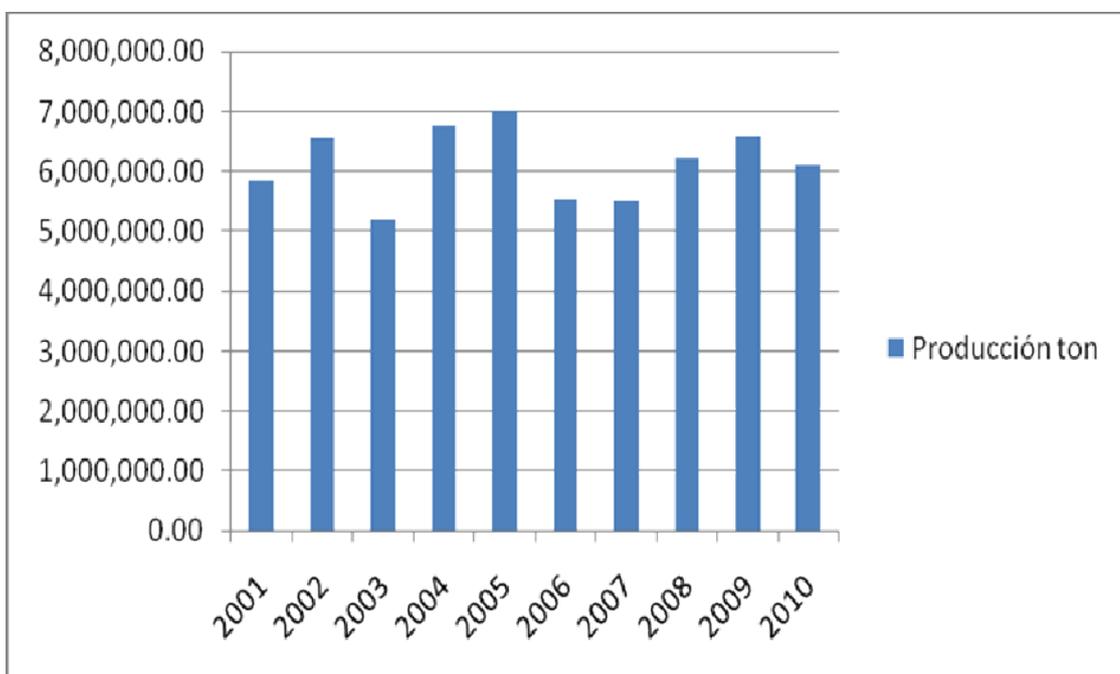


Figura 2.2. Producción obtenida de sorgo en México (2000-2009).

Fuente: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con Información de las delegaciones de la SAGARPA.

Mejoramiento genético

Los métodos convencionales de fitomejoramiento han ofrecido a los fitomejoradores grandes progresos en el desarrollo de las variedades mejoradas; sin embargo, sólo una limitada proporción de la variabilidad genética disponible en el sorgo, ha sido explotada. Adelantos en el mejoramiento genético de maíz, basados en la teoría de la genética cuantitativa, han ayudado a entender el uso de las metodologías avanzadas en el mejoramiento de población, utilizando en mayor grado la variabilidad genética (Valencia *et al.*, 2006)

Poehlman y Allen, (2003) mencionan que los estudios genéticos en el sorgo se relacionan por lo general con caracteres de interés para el fitomejorador, como es la androesterilidad, madurez, altura de planta, color del grano, contenido de ácido prúsico, composición del endospermo o resistencia a plagas y enfermedades.

Los programas de mejoramiento genético de plantas autógamias se han basado en la recombinación de progenitores sobresalientes para obtener, mediante la selección en generaciones segregantes y la evaluación y selección de líneas, mejores individuos que se convertirán en mejores padres de la siguiente progenie (Jensen, 1970).

Díaz, (2007) menciona los siguientes Métodos de mejoramiento que se pueden ser utilizados en cultivos autógamias:

- a) Métodos sencillo: Bulk-selección masal
- b) Método genealógico
- c) Métodos acelerados: SSD y DH
- d) Retrocruzamiento

Sin embargo Cuberos (2003), menciona también los siguientes métodos de mejoramiento:

- a) Selección individual: planta o línea o parcela
- b) Selección estratificada
- c) Selección masal con cruzamiento: cruzamientos compuestos.

Líneas

Según Poehlman (1986), línea pura es la progenie descendiente únicamente por autofecundación de una planta individual. Johansen (1903), citado por Brauer (1980) define a una línea pura como el conjunto de individuos que descienden de un solo individuo autofecundado. Márquez (1988), menciona que línea pura es la progenie de un individuo en el momento en que este se considera homocigótico, de manera que de esa generación en adelante, los individuos reproductores pueden ser tanto como sea posible y deseable. Brauer, (1980); menciona que una línea es un individuo autógeno, la cual se produce mediante semilla, conservando sus caracteres hereditarios idénticos de una generación a otra, tanto como entre las plantas de la misma generación.

Líneas endogámicas recombinantes

Márquez (1988), define como línea endogámica al conjunto de individuos resultante, en una generación dada, de un sistema regular de apareamiento endogámico. También menciona, a una línea autofecundada como la población en una generación obtenida al cabo de la autofecundación de una sola planta en cada generación.

Endogamia

Es el sistema por el cual se aparean tanto animales como plantas emparentados entre sí. Explica que la endogamia provoca, en comparación con sus progenitores, una marcada pérdida de vigor y rendimiento principalmente. Su efecto genético es el aumento de la homocigosis, que da como resultado final la producción de una población homogénea homocigota. (Jugenheimer, 1981). La endogamia es el apareamiento de individuos emparentados. Según el parentesco entre los progenitores se tiene diferentes grados de endogamia, siendo el extremo la autofecundación (Reyes, 1985).

La obtención de líneas consanguíneas o endogámicas en vegetales significa obligatoriamente la autofecundación de plantas hermafroditas o forzar cruzamiento entre hermanos, en animales durante varias generaciones, lo que conduce a:

- Las líneas endogámicas llegan a ser líneas puras.
- Las líneas endogámicas muestran reducido vigor y fertilidad.

Una población se dice endogámica cuando existen en ellas cruzamientos entre individuos emparentados.

Según Robles, (1986) define a endogamia como el apareamiento de individuos emparentados, y que la máxima expresión de endogamia se espera en poblaciones ideales de especies hermafroditas con autofecundación forzosa, también menciona que cuando un organismo es monoico y hermafrodita, puede dar el tipo de apareamiento que produce la mayor cantidad de endogamia, esto es apareamiento de un individuo consigo mismo o autofecundación.

Autógamas

Las especies autógamas son aquellas que se reproducen por autofecundación, es decir que se unen para formar el cigote proceden de la misma planta. Las poblaciones de plantas autógamas consisten, generalmente, en una mezcla de líneas homocigotas. La proporción de polinización cruzada natural de las especies autógamas pueden variar de 0 a 5%.

Método de descendencia de una sola semilla

El método se propone la evaluación de cada planta en F2 ya que es imposible utilizar el material obtenido de todas las semillas de cada una de las plantas, en generaciones posteriores, se escoge aleatoriamente una semilla. Seleccionan las mejores plantas, alcanzando el grado suficiente de homocigoteidad, lo que sucede, por lo general, en F5. En F6 las semillas de cada planta seleccionada se siembran en surco separado. En F7, las líneas seleccionadas evalúan según el rendimiento y otras características. En generaciones posteriores continúan la selección individual. Este método permite reducir el tiempo de la selección, sin embargo, hay fuerte riesgo de perder genotipos valiosos.(agr.unne.edu.ar/fao/Nica-ppt/Narvaez-selección)

El modelo AMMI

Aguiluz (1998) cita a varios autores, entre ellos a Crossa, Gauch y Zobel, quienes indican que el modelo AMMI combina análisis de varianza (ANVA) y análisis por componentes principales (PCA) en forma integrada. El modelo AMMI estima los factores aditivos de genotipo (G) y ambiente (A) usando ANVA y la interacción genotipo-ambiente (GxA) a través de PCA. El modelo AMMI es efectivo para ganar precisión en estudios de GxA porque posibilita el análisis de los efectos de interacción en más de un procedimiento estadístico y posibilita disponer de estimados exactos del rendimiento y selección confiable (Gauch, 1992).

Este modelo, AMMI; hace uso de los componentes principales para expresar gráficamente como un biplot o triplot la interacción. AMMI es un método muy útil para estudiar y caracterizar la presencia de interacción genotipo-ambiente y descubrir los genotipos menos afectados por los ambientes, lo que podría entenderse como la presencia estable del genotipo. (<http://tarwi.lanolina.edu.pe/~fmendiburu/AMMI.htm>).

Gordon y Camargo (1999) indican que los valores de los ejes en el análisis de componentes principales, describen los patrones de respuesta de los genotipos, por medio de un índice de sensibilidad. Los puntajes positivos describen los genotipos con mejor comportamiento en ambientes de alto rendimiento, lo contrario ocurre con los puntajes negativos. Si es un valor de cero o próximo a este, indica que el genotipo tiene una sensibilidad media.

Gordon y Camargo citan a Crossa (1990), quien indica que las puntuaciones AMMI, no miden la estabilidad, sino el grado de interacción del genotipo con el ambiente. Cuando un genotipo presenta en el PCA un valor próximo a cero, indica una interacción pequeña cuando ambos valores del PCA tienen el mismo signo, su interacción es positiva si son diferentes es negativa. Hernández y Crossa (2000) indican y ejemplifican, la ventaja de utilizar la interpretación de la grafica AMMI biplot, esta metodología posibilita un análisis más completo para explicar la interacción genotipo-ambiente. Yan *et al.*, (2002) informa que bajo condiciones de limitación de recursos y la necesidad de conducir evaluación de cultivares en un limitado número de ambientes, la mejor localidad puede ser la que disponga de altos valores de

PC1 y pequeños valores de PC2. Crossa *et al.*, (1991) también indica que localidades con valores PCA1 cerca de cero tiene poca interacción y baja discriminación a través de genotipos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

La evaluación se estableció en tres localidades: Valle Hermoso que se encuentra ubicado en la parte noreste del estado de Tamaulipas y colinda con los municipios: al este con Matamoros, al oeste con Río Bravo y al sur con San Fernando, sus coordenadas geográficas: 25°40' de latitud norte y a los 97°49' de longitud oeste, con una altitud de 27 msnm; cuenta con un clima predominante semicálido subhúmedo, tipo de suelo es fluvisoles eútricos, la temperatura promedio es de 24°C, con mínimas de 2°C, con una precipitación pluvial anual de 600 mm y los meses más lluviosos van de julio a octubre.

Río Bravo se encuentra localizado en el Valle del Río Bravo, al norte del estado de Tamaulipas; al norte colinda con Estados Unidos; al sur con los municipios de Méndez y San Fernando; al este con los municipios de Matamoros y Valle Hermoso y al oeste con Reynosa, se encuentra en las coordenadas geográficas: 25°59' latitud norte y a los 98°06' de longitud oeste a una altitud de 30 msnm; cuenta con un clima en la parte ribereña del municipio, donde se localiza la cabecera municipal tiene un clima cálido y se distinguen con facilidad tres tipos de suelos en la parte norte predomina el suelo cambiasol calcárico, en la parte centro y baja el suelo xerosol cálcico y

xerosol calcárico y por último en la parte baja del sur el suelo litosol, la temperatura media anual es de 22°C, con máxima de 40°C y en invierno mínima de -6°C, con una precipitación pluvial 400 – 500 mm con régimen de lluvias en verano. Se distinguen con facilidad dos estaciones la de verano (mayo – agosto) y la de invierno.

[http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Bravo_\(municipio\)](http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Bravo_(municipio))

Zaragoza, se localiza en el centro de la región norte del estado de Coahuila, en las coordenadas 100°55'10" longitud oeste y 28°28'31" latitud norte, a una altura de 360 msnm. Limita al norte con el municipio de Acuña y Jiménez; al sur con Sabinas y San Juan de Sabinas; al sureste con Morelos; al este con Piedras Negras y Nava y al oeste con el municipio de Múzquiz. cuenta con un clima predominante, al este, sureste y noreste se registran en el municipio climas de subtipos secos semicálidos, con una temperatura media anual de 22 – 24 °C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de 300 – 400 mm. En el centro del municipio y sus partes este y oeste precipitaciones de 400 – 500 mm, con régimen de lluvias en los meses de abril a noviembre y escasas el resto del año. Se pueden distinguir tres tipos de suelos en el municipio que son: el xerosol, litosol, yermesol.

<http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/coahuila/mpios/05038a.htm>

Material genético

El material genético que se utilizó para la evaluación y selección consistió en la descendencia de la cruce entre dos progenitores

contrastantes los cuales son la línea RTx430 y la variedad denominada sureño, de ambos progenitores se obtuvieron 135 líneas endogámicas recombinantes (LER), las cuales se formaron a través del método de descendencia de una sola semilla.

RTx430 es una línea endogámica ampliamente adaptada con excelente habilidad combinatoria y un restaurador de fertilidad común en muchos híbridos de sorgo comercial. RTx430 es altamente susceptible a moho de grano y a muchas enfermedades foliares. El grano es blanco con un endospermo amarillo. RTx430 es una línea triple enana con un color de planta púrpura. Estas líneas se escogieron por ser muy contrastantes entre si por lo cual la población resultante de esta cruce segregaría para muchas características.

Sureño es una variedad de doble propósito (grano y forraje) con moderada resistencia al moho de grano, tiene un color de la planta canela y de glumas canela, la semilla de sureño presenta un pericarpio traslucido.

Los ensayos para las siembras se prepararon en el laboratorio, esto consistió en separar la semilla original colocando una cantidad similar en dos sobres, los cuales cada uno se utilizó en una repetición durante la siembra en campo.

Siembra

Las parcelas experimentales constaron de surcos sencillos de 4 metros de largo y una distancia de 80 cm. entre cada surco, donde cada surco fue sembrado con una LER diferente, lo que nos dio un total de 450 surcos o unidades experimentales. Para realizar el trazo de las parcelas y calles en campo, se utilizó una cinta métrica para medirlas, las cuales posteriormente fueron marcadas con cal con esto facilitó el trabajo y permitió la delimitación de cada parcela antes de la siembra. La siembra se realizó bajo un diseño α -latice 9 x 15 con dos repeticiones en cada uno de los ambientes de prueba.

En la localidad Valle Hermoso la siembra se llevó a cabo el 9 de febrero cosechándose el 6 y 7 de junio; en Río Bravo el 2 de marzo y se cosechó el 23 de junio y en Zaragoza se sembró el 21 de abril y se cosechó el 28 de junio del 2007. La siembra se realizó en forma manual a chorrillo depositándose la semilla de cada sobre o tratamiento en un surco tapándose con el pie procurando que la profundidad de la semilla fuera de 4 cm. aproximadamente.

Variables evaluadas

Altura de planta

Se midió cuando la planta presentaba la etapa de madurez fisiológica, midiéndose desde la superficie del suelo hasta la punta de la panoja en dos plantas en cada línea registrándose el valor de la medición en centímetros.

Excursión

Se midió en centímetro, midiendo la distancia que hay a partir de la base de la hoja bandera hasta la base de la panoja, midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar.

Diámetro del tallo

Se midió en milímetros. Midiendo cuatro plantas por surco tomadas al azar, para esto se utilizó un vernier.

Dulzura de tallo

Se midió en grados Brix, con la ayuda de un refractómetro óptico manual, marca ATAGO, tomando cuatro plantas por surco tomadas al azar.

Largo (LHB) y ancho de hoja bandera (AHB)

Se midió en centímetros tomando lo largo y ancho de la hoja bandera, utilizando una cinta métrica en dos plantas de cada surco.

Tamaño de Panoja

Se midió la longitud en centímetros desde la base de esta, hasta su ápice tomando dos plantas de todos los genotipos.

Análisis estadístico

La información de las tres localidades de evaluación se analizó como bloques combinados sobre localidades con dos repeticiones, el cual se llevó a cabo utilizando el programa SAS. Se consideró a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como una muestra aleatoria la prueba F contra el anidamiento de repeticiones dentro de ambientes, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j (A_i) + G_k + A_i G_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente en el i-ésimo en el k-ésimo genotipo.

μ = Efecto de la media general

A_i = Efecto del i-ésimo ambiente

$R_j(A_i)$ = Efecto de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente

G_k = Efecto de k-ésimo genotipo

A_iG_k = Efecto de la interacción del i-ésimo ambiente del k-ésimo genotipo

E_{ijk} = Efecto del error experimental

Además para cada una de las variables evaluadas se estimó la media, el rango y el coeficiente de variación.

Media:

Es el Promedio de los datos de cada variable.

$$\bar{\chi} = \frac{\sum \chi}{n}$$

Donde:

$\bar{\chi}$ = Media

$\sum \chi$ = Suma de los Datos

n = número de datos

Rango

Es la diferencia entre el valor más alto observado menos el valor más bajo observado.

$$\text{Rango} = \text{Valor más Alto} - \text{Valor más Bajo}$$

Coeficiente de variación

Se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$C. V. = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

C.M.E.E. = Cuadrado medio del error experimental.

X. = Media general.

Análisis AMMI

El análisis multivariado AMMI se analizó mediante el programa propuesto por Vargas & Crossa (2000), el cual parte del siguiente modelo, según Zobel *et al*, (1988)

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente

μ = Media general

g_i = Media del i-ésimo genotipo menos la media general

a_j = media del j-ésimo ambiente menos la media general

λ_k = Raíz cuadrada del valor característico del k-ésimo eje del análisis de componentes principales (ACP)_k

$\alpha_{ik} \gamma_{jk}$ = Calificaciones del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente

R_{ij} = Residual del modelo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variables estudiadas mostraron diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación (Cuadro 4.1), lo cual indica que dichos materiales presentaron un comportamiento diferencial en los tres ambientes de prueba.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios, significancias y coeficientes de variación (C.V.), de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.

Fuente	Ambiente (A)	Rep. (Amb)	Genotipo	Amb*Gen	Error	C.V
GL	2	3	134	268		
Altura (cm)	12.92**	0.04**	0.32**	0.08**	0.02	11.20
Excursión (cm)	2774.38**	255.13**	113.30**	39.78**	17.90	43.46
Diámetro de tallo (cm)	10.65**	0.10**	0.28**	0.14**	0.04	15.13
Dulzura (°Brix)	2664.44**	41.31**	26.20**	21.28**	10.54	27.62
Largo HB (cm)	9209.21**	927.36**	168.23**	88.61**	38.49	16.10
Ancho HB (cm)	219.98**	4.20**	3.91**	2.10**	1.00	17.73
Tamp(cm)	2074.39**	15.99**	50.69**	23.37**	7.47	11.55

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

Altura de planta

En esta variable se encontraron diferencias altamente significativas en las fuentes de variación ambientes, genotipos, ambientes por genotipos y repetición dentro de ambiente, esto indica la interacción entre los diferentes

materiales evaluados y los ambientes de prueba, el coeficiente de variación para esta variable fue de 11.20 %, lo que significa que los materiales se trabajaron adecuadamente. (Cuadro 4.1). Los resultados obtenidos no concuerdan con los encontrados por Godínez, (2008) quien evaluando los mismos materiales en dos localidades, no encontró diferencias significativas en la fuente de variación repetición dentro de ambientes.

La media general obtenida para la variable altura fue de 1.2 m, con un rango de 1.04 m, el valor más alto se obtuvo en la LER 128 con 1.89 m. y el más bajo lo presentó la LER 39 con 0.85 m. Por otro lado se encontraron 74 líneas con una altura superior a la media y 60 líneas debajo de la media (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Media, rango, valor más bajo y mas alto, valores arriba de la media y valores de bajo de la media de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Rio Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.

Variable	Media	Rango	V. más bajo	V. más alto	Arriba (μ)	Abajo (μ)
Altura (cm)	138. 53	1.04	0.85	1.89	74	60
Excursión (cm)	9. 73	21.88	0.60	22.48	67	67
Diámetro de tallo (cm)	1. 440	1.24	0.88	2.12	58	76
Dulzura (°Brixs)	11. 75	11.34	6.83	18.17	63	71
Largo HB (cm)	38. 52	32.74	26.93	59.67	61	73
Ancho HB (cm)	5. 65	4.45	3.82	8.27	65	69
TamP(cm)	23. 66	13.28	17.26	30.54	67	67

Con respecto a los ambientes, esta variable mostró la media más alta en la localidad de Zaragoza con un valor de 1.6 m, seguida de Río Bravo con 1.4 m, mientras la más baja se registró en Valle Hermoso con una media de 1.2 m. En cuanto a las líneas progenitoras la variedad sureño mostró una media general de 1.62 m, el valor más alto se obtuvo en Zaragoza con un promedio de 1.96 m, seguido de Río Bravo con 1.60 m, y en Valle Hermoso con 1.30 m. con respecto a la línea RTx430 mostró el valor más alto en Zaragoza con 1.19 m, en Río Bravo 1.13 m y finalmente en Valle Hermoso con 1.0 m. obteniendo una media general en este progenitor de 1.10, (Cuadro 4.3).

De acuerdo a lo anterior la altura de la planta de sorgo es un parámetro importante, ya que es un indicador de la velocidad de crecimiento. Está determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, los que a su vez son translocados al grano durante el llenado del mismo. Además está influenciado por las condiciones ambientales como: temperatura, humedad relativa, cantidad y calidad de luz (Cuadra, 1998).

La altura en este cultivo es de importancia dentro los sorgos productores de grano y forraje, de tal manera que las de porte intermedio o bajo facilitan la cosecha mecánica y por ende permiten incrementar la densidad de población por unidad de área y por consecuencia directa incrementa el rendimiento y las plantas de porte alto producen mayor cantidad de forraje. Olmos, (1989).

Alturas de plantas de 1.6 m a 1.7 m son óptimas para la cosecha mecanizada, en cambio alturas mayores de 190 cm trae inconvenientes en la cosecha mecanizada. (Morales 2002).

Cuadro 4.3. Valores medios de localidades y progenitores en siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.

Localidad y progenitores	Altura (m)	Excursión (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Dulzura (°Brixs)	Largo HB (cm)	Ancho HB (cm)	TamP (cm)
Valle Hermoso	1.2	11.7	1.3	11.2	32.1	5.2	22.6
sureño	1.3	17.00	1.03	12.83	32.22	7.33	15.55
RTx430	1.0	10.44	1.30	8.93	24.72	4.22	24.76
Río Bravo	1.4	6.0	1.7	9.0	43.5	6.7	26.8
sureño	1.60	6.82	1.62	8.00	50.22	7.95	23.63
RTx430	1.13	4.22	1.60	10.83	36.97	5.52	31.13
Zaragoza	1.6	11.5	1.4	15.2	40.0	5.1	21.6
sureño	1.96	13.58	1.27	18.17	45.5	5.67	19.17
RTx430	1.19	7.92	1.55	15.17	35.27	4.45	27.58
μ sureño	1.62	12.46	1.30	13	42.64	6.98	19.45
μ RTx430	1.10	7.52	1.48	11.64	32.32	4.73	27.82

Excursión

Para esta variable el ANVA mostró diferencias altamente significativas para las fuentes de variación ambiente, genotipos, ambientes por genotipos, y repetición dentro de ambiente, el coeficiente de variación fue de 43.46 %, considerándose un valor alto en esta variable lo cual probablemente pudo ser debido a que algunas líneas presentaron valores de cero en excursión (Cuadro 4.1). Se obtuvo una media general de 9.73 cm y un rango de 21.88

cm, el valor más alto de 22.48 cm en la LER 120, y el más bajo que fue de 0.60 en la LER 96. En esta variable resultaron 67 líneas arriba de la media y 67 líneas por debajo (Cuadro 4.2). Se encontró la media más alta en la localidad Valle Hermoso con 11.7 cm, mientras que en Zaragoza presentó una media de 11.5 cm finalmente en Río Bravo se obtuvo la más baja con 6.0 cm.

De acuerdo con los progenitores la variedad sureño presentó una media general de 12.46 cm. el valor más alto se obtuvo en Valle Hermoso con 17.00 cm. en Zaragoza con 13.58 cm. y en Río Bravo con 6.82 cm. relacionado a la línea RTx430 mostró el valor más alto en Valle Hermoso con 10.44 cm. Zaragoza con 7.92 y Río Bravo con 4.22 cm. obteniendo una media general de 7.52 cm. en este progenitor. (Cuadro 4.3).

Compton, (1990), menciona que la excersión, está controlada genéticamente pero los factores ambientales como la deficiencia de agua, puede ejercer efectos negativos. La excersión es de mucha importancia al considerar la recolección mecanizada, si se tienen variedades con poca excersión, al cosecharse ocasiona una mayor cantidad de materia extraña ocasionando baja calidad del grano (Somarriba, 1998).

Diámetro de tallo

En esta variable se encontraron diferencias altamente significativas para las fuentes de variación ambientes, genotipos, ambiente por genotipos

y repetición dentro de ambiente, con un coeficiente de variación de 15.30 %, (cuadro 4.1). Se observó una media de 1.44 cm. un rango de 1.24 cm. Presentando el valor más alto la LER 147 con 2.12 cm. y el más bajo en la LER 093 con un valor de 0.88 cm. Por otro lado se encontraron 58 LER por arriba de la media y 76 por debajo (Cuadro 4.2).

En cuanto a los ambientes, esta variable mostró la media más alta en Río Bravo con 1.7 cm seguido de Zaragoza con 1.4 cm, y en Valle Hermoso con 1.3 cm. Respecto a los progenitores en la variedad Sureño presentó una media general de 1.30 cm. el valor más alto en Río Bravo con 1.62 cm. seguida de Zaragoza con 1.27 cm. y finalmente el más bajo se obtuvo en Valle Hermoso con 1.03 cm. La línea RTx430 presentó el valor más alto en Río Bravo con 1.60 cm, Zaragoza con 1.55 cm y Valle hermoso con el más bajo de 1.30 cm. obteniendo una media general en este progenitor de 1.48 cm. (Cuadro 4.3).

Aunado con los resultados obtenidos se asume que una planta de sorgo con un tallo débil es propensa al acame dado que su consistencia no tolera vientos fuerte, lo que coincide con Poehlman (1995) quien planteo que el acame de las plantas se producen como resultado del pobre vigor de los tallo; el sorgo acamado constituyen un medio favorable para el desarrollo de hongos y enfermedades.

Esterra *et al.*, (2005), mencionan que el diámetro de tallo del cultivo de sorgo tiene una gran importancia como fuente alternativa de carbono cuando

la fotosíntesis durante el periodo de llenado de grano es inhibida por algún tipo de estrés.

Dulzura

Para esta variable el análisis de varianza, indicó diferencias altamente significativas para las fuentes de variación ambientes, genotipos, ambiente por genotipo, y repetición dentro de ambiente, con un coeficiente de variación de 27.62 % (Cuadro 4.1).Obteniéndose una media de 11.75 °Brix, con un rango de 11.34 °Brixs, el valor más alto fue de 18.17 °Brixs dicho valor fue encontrado en la LER 144 y el valor más bajo fue de 6.83 °Brixs que se registro en la LER 19, también se encontraron 63 LER con valores de dulzura superiores a la media y 71 LER por debajo de esta. (Cuadro 4.2).

En cuanto a los ambientes, en esta variable se encontró la media más alta en Zaragoza con 15.2 °Brixs, en tanto que Valle Hermoso presentó una media de 11.2 °Brixs, seguido de Río Bravo con la más baja de 9.0 °Brixs.

Con respecto a las líneas progenitoras la variedad Sureño arrojó una media general de 13 °Brixs; el valor más alto se obtuvo en Zaragoza con 18.17 °Brixs, Valle Hermoso con 12.83 °Brixs y finalmente en Río Bravo con 8.0 °Brixs. Por otro lado la línea RTx430 obtuvo el valor más alto en Zaragoza con 15.17 °Brixs, en Río Bravo con 10.83 °Brixs seguida de la

localidad Valle Hermoso con el más bajo de 8.93 °Brixs. Obteniendo una media general para este progenitor con 11.64 °Brixs. (Cuadro 4.3).

En relación con esta variable se observa que en Zaragoza presentó el valor más alto inclusive superando a la media general del progenitor sureño. Romero *et al.*, (2001) mencionan que los sorgos forrajeros y especialmente los híbridos azucarados, presentan muy buenas características para ser utilizados para silaje con alta producción de materia seca, aceptable calidad y muy buena conservación debido al alto contenido de azúcar que poseen en el tallo.

Maunder (2006), Fernández (2006) y Anderson (2006), mencionan que el sorgo dulce, es un candidato importante en los sistemas de producción de energía basados en biomasa debido a su alta producción de biomasa por unidad de superficie, su alto porcentaje de azúcares ya que es capaz de producir fácilmente azúcares fermentables para la elaboración de etanol, 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 buena fuente importante de carbohidratos fermentables a través de una amplia área geográfica.

Largo de hoja bandera

De acuerdo al análisis esta variable presentó diferencias altamente significativas para la fuente de variación ambiente, genotipos, ambiente por

genotipo y repetición dentro ambiente, con un coeficiente de variación de 16.10 %, (Cuadro 4.1). Se obtuvo una media de 38.52 cm, y un rango de 32.74 cm presentándose el valor más alto de 59.67 cm. en la LER 88 y el más bajo en la LER 93 con 26.93 cm. Resultaron 61 LER por arriba de la media y 73 LER por debajo (Cuadro 4.2).

En consideración con los ambientes en esta variable se encontró la media más alta en Río Bravo con un valor de la media 43.5 cm. seguido de Zaragoza con 40 cm. y de 32.1 cm. en Valle Hermoso. En relación a las líneas progenitoras la variedad sureño obtuvo una media de general de 19.45 cm. el valor más alto en Río Bravo con 50.22 cm. Zaragoza con un 45.5 cm. y en Valle Hermoso con una 32.22 cm. Con respecto a la línea RTx430 mostró su valor más alto en Río Bravo con un promedio de 36.97 cm. en Zaragoza con 35.27 cm. respectivamente y Valle Hermoso con 24.72 cm. encontrándose una media general para este progenitor con 27.82 cm (Cuadro 4.3).

Como se observa la variedad sureño presentó el valor más alto de 50.22 cm. superando a la media general del progenitor y la media general de la variedad con respecto a esto, Compton (1990) menciona que la última hoja producida se llama hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo.; y que una hoja bandera de mayor longitud contribuye a una alta capacidad de rendimiento, se sabe que el carácter de permanencia verde, que envuelve una tasa fotosintética inusualmente alta y que acentúa el contenido de nitrógeno y clorofila, esta críticamente

involucrado. Se ha encontrado que las hojas de sorgo aumentan su expansión foliar durante los periodos de sequia, esta característica, unida en la película cerosa de su superficie, contribuye a hacer las especies más resistentes a la sequia (Hughes *et al.*, 1962 y Hughes, 1974) ya que las hojas es una de las características morfológicas y anatómicas de las plantas que se ve afectada por el déficit de agua (Steward, 1959).

Por otro lado en sorgo se han obtenido correlaciones positivas significativas ($r=0.75$) entre la característica stay green de plantas sometidas a sequia post-floración y rendimiento de grano por lo tanto, la característica stay green es explotada en los programas de mejoramiento de los cultivos como sorgo ya que es una característica valiosa para mejorar la adaptación de genotipos a condiciones de estrés por sequia postfloración en el llenado y la madurez de grano. (Mahalakshmi and Bidinger, 2002).

Ancho de la hoja bandera.

El análisis mostró diferencias altamente significativas para las fuentes de variación ambientes, genotipos, ambiente por genotipos y repetición dentro de ambiente, con un coeficiente de variación de 17.63 % (Cuadro 4.1). Considerándose una media de 5.65 cm. un rango de 4.45 cm. el valor más alto se obtuvo en la LER 088 con 8.27 cm. y el más bajo en la LER 051 con 3.82 cm. Se mostraron 65 LER por arriba de la media, y 67 LER por debajo (Cuadro 4.2). En relación a los ambientes se encontró la media más

alta en Río Bravo con 6.7 cm. en Valle Hermoso con 5.2 cm. y en Zaragoza con 5.1 cm.

Con respecto a los progenitores la variedad Sureño presentó una media general de 6.98 cm. el valor más alto se obtuvo en Río Bravo con 7.95 cm. seguidamente de Valle Hermoso con 7.33 cm. y en Zaragoza el más bajo con 5.67 cm. Relacionado con la línea RTx430 mostró su valor más alto en Río Bravo con 5.52 cm. Zaragoza con 4.45 cm. y en Valle Hermoso con el más bajo de 4.22 cm. obteniéndose la media general para este progenitor de 4.73 cm. (Cuadro 4.3).

Relacionado con la evaluación el presente trabajo concuerda con Nolasco (2001) quien evaluó componentes de rendimiento en sorgo, encontrando que la longitud de la hoja bandera de los genotipos varía de acuerdo con el ambiente de prueba, también menciona que es el comportamiento diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes.

De acuerdo con lo anterior (Travís, 1992) menciona, que la hoja bandera es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que efectivamente contribuye al llenado de grano. Si es ancha y erecta es válida y puede ser un objetivo de mejoramiento con gran potencial para el incremento en la capacidad de rendimiento.

Tamaño de panoja.

Para esta variable el análisis mostró diferencias altamente significativas, para las fuentes de variación ambientes, genotipos, ambiente por genotipo y repetición dentro de ambiente, con un coeficiente de variación de 11.55 %, (Cuadro 4.1). Así también se registró una media de 23.66 cm. con un rango de 13.28 cm, obteniéndose el valor más alto en la LER 19 con 30.54 cm. y el más bajo en la LER 09 con 17.26 cm. Se obtuvieron 67 LER arriba de la media y 67 LER por debajo (Cuadro 4.2).

Por otra parte en los ambientes se encontró la media más alta en Río Bravo con 26.8 cm. seguidamente de Valle Hermoso con 22.6 cm. y la más baja en Zaragoza con 21.6 cm. Relacionado con los progenitores la variedad sureño estimó una media general de 19.45 cm. el valor más alto fue en Río Bravo con 23.63 cm. Zaragoza con 19.17 cm, y Valle Hermoso con 15.55 cm. con respecto con la línea RTx430, mostró el valor más alto de 31.13 cm en Río Bravo, en Zaragoza con 27.58 cm. y finalmente Valle Hermoso presentando el más bajo con 24.76 cm. obteniéndose una media general para este progenitor con 27.82 cm. (Cuadro 4.3).

Una mayor longitud de panoja sería una característica muy deseable en una variedad de sorgo por la cual obtendríamos mayor rendimiento.

La longitud de la panoja en el cultivo del sorgo es una variable que está ligado tanto a los factores genéticos como ambientales, es de gran

importancia en el rendimiento, ya que panojas de mayor tamaño tienen mayor número de espiguillas y de granos lo que aumenta el rendimiento.(Monterrey,1997).

Como se pudo observar en la mayoría de las variables evaluadas algunas líneas fueron mayor al progenitor más alto y otras fueron menor con respecto al progenitor menos bajo, Cuberos (2003), menciona que si se sobrepasan los límites de los parentales, a este tipo de herencia se le denomina segregación transgresiva en la cual fue encontrada en la mayoría de las variables evaluados en la presente investigación.

Interacción genotipo ambiente (IGA)

Los resultados del análisis de estabilidad a través de la prueba AMMI se presenta en el (Cuadro 4.4), en el se aprecian los cuadrados medios y significancias de todas las variables medidas en los ambientes de prueba, en donde se observa que resultaron altamente significativas en todas las fuentes de variación, lo que indica que la líneas probablemente se vieron afectadas de diferente manera por el efecto ambiental.

Los componentes principales uno y dos resultaron altamente significativos en todas las variables evaluadas, con valores de porcentaje de varianza acumulada en el CP1, desde 51.49 % en tamaño de panoja hasta 65.18 % en ancho de la hoja bandera, de igual manera se observaron valores en el CP2 desde 34.81 en ancho de la hoja bandera, hasta 48.50 %

en tamaño de la panoja, lo anterior indica la importancia del CP1 al explicar mayor proporción de varianza (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.4. Cuadrados medios y significancias del análisis de estabilidad a través de la prueba AMMI, de siete variables de sorgo evaluadas en Valle Hermoso y Río Bravo, Tamaulipas y en Zaragoza, Coahuila, durante el ciclo P-V 2007.

Fuente	Ambiente	Rep. (Amb)	Genotipo	Amb*Gen	CP1	CP2	Residual	EE
GI	2	3	134	268	135	133	0	404
Altura (cm)	12.92**	0.04**	0.32**	0.08**	0.11**	0.06**	0	0.024
Excursión (cm)	2774.38**	255.13**	113.30**	39.78**	47.19**	32.2**	0	19.70
DT (cm)	10.65**	0.10**	0.28**	0.14**	0.16**	0.12**	0	0.04
Dulzura (°Brix)	2664.44**	41.31**	26.20**	21.28**	23.35**	19.18**	0	10.55
Largo HB (cm)	9209.21**	927.36**	168.23**	88.61**	92.64**	84.53**	0	42.49
Ancho HB (cm)	219.98**	4.20**	3.91**	2.10**	272.55**	147.73**	0	1.01
TamP (cm)	2074.39**	15.99**	50.69**	3.37**	23.90**	22.86**	0	7.54

Aun y cuando todas las variables consideradas en el presente trabajo son importantes solo se realizaron los biplots de las variables altura de planta y dulzura, lo anterior con la finalidad de utilizar sus resultados en la selección de posibles líneas progenitoras o variedades con potencial para ser utilizadas en la producción de biocombustibles.

Cuadro 4.5. Significancias de los componentes principales (ECP1, ECP2), grados de libertad (GL), porcentaje de varianza acumulada (%AC) y cuadrados medios (CM) de siete variables evaluadas en Sorgo en el ciclo P-V del 2007.

Variables	Comp.		GL	%AC	CM
Altura	ECP1	0.11**	135	65.12	14.92
	ECP2	0.06**	133	34.87	7.98
Excursión	ECP1	47.19**	135	59.74	6370.98
	ECP2	32.27**	133	40.25	4292.27
DT	ECP1	0.16**	135	56.96	21.9131
	ECP2	0.12**	133	43.03	16.5522
Dulzura	ECP1	23.35**	133	55.26	3152.27
	ECP2	19.18**	133	44.73	2551.20
Largo HB	ECP1	92.64**	135	52.66	12507.38
	ECP2	84.53**	133	47.33	11242.69
Ancho HB	ECP1	2.72**	135	65.18	367.944
	ECP2	1.47**	133	34.81	196.491
Tamp	ECP1	23.90**	135	51.49	3227.61
	ECP2	22.86**	133	48.50	3040.74

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

En la variable altura, el CP1 explico el 65.12% del total de la varianza, mientras que el CP2 solo el 34.87%, sin embargo ambos resultaron altamente significativos (Cuadro 4.5). En la Figura 4.1. Se aprecia la distribución de las LER en los tres ambientes considerando ambos componentes.

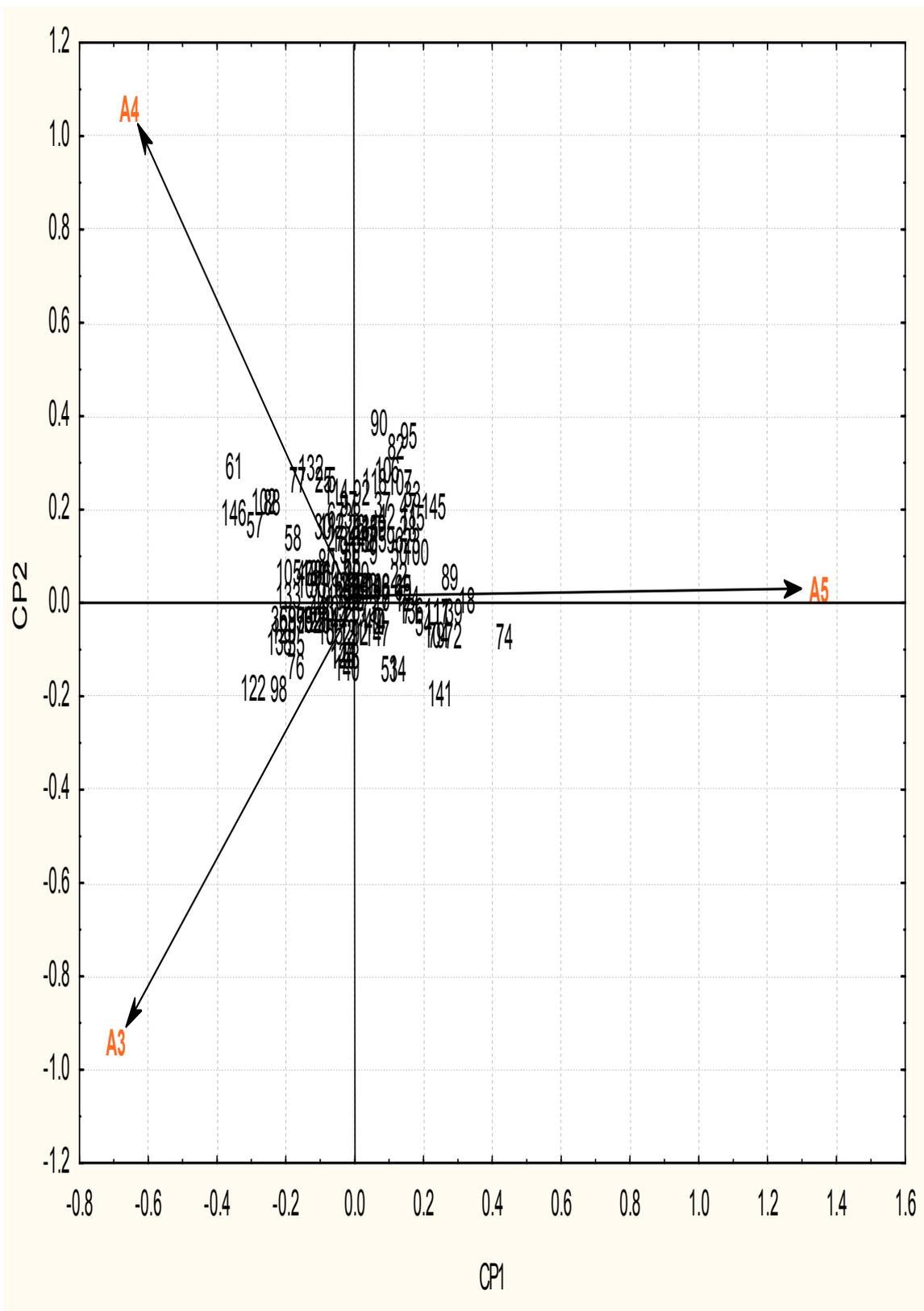


Figura 4.1. Distribución de las líneas LER en tres ambientes, con base a la variable altura y los dos componentes principales.

En relación con los ambientes se aprecia en la (Figura 4.1) que el A3 (VH-2007) y A4 (RB-2007) mostraron una interacción negativa con el CP1, mientras que el A5 (ZA-2007) positiva, de igual manera se aprecia que de acuerdo a lo largo del vector, es el A5 quien mejor discrimina las LER y en relación con el ángulo que se forma entre ellos indica que evalúan de diferente manera las LER.

Respecto al comportamiento de la LER se aprecia en la (Figura 4.1) que la gran mayoría de las líneas son estables, sin embargo se observan grupos de estas que muestran interacción con los distintos ambientes positivos o negativos, tal es el caso de la LER 74 en el A5 (+), 122 y 98 en el A3 (-) y 77 en el A4 (-). Al respecto Gordon y Camargo (1999) indican que los valores de los ejes en el análisis de componentes principales, describen los patrones de respuesta de los genotipos, por medio de un índice de sensibilidad. Los puntajes positivos describen los genotipos con mejor comportamiento en ambientes de alto rendimiento, lo contrario ocurre con los puntajes negativos. Si es un valor de cero o próximo a este, indica que el genotipo tiene una sensibilidad media.

Al graficar el CP1 y la variable altura la cual obtuvo un valor medio de 1.38 cm (Figura 4.2.), se aprecia que fue en el ambiente A5 considerado positivo donde se obtienen valores de altura que sobrepasan la media y en los ambientes A3 y A4 de interacción negativa por debajo de la media. Las LER que pueden ser seleccionadas por su altura y estabilidad son la 68, 140 y 132.

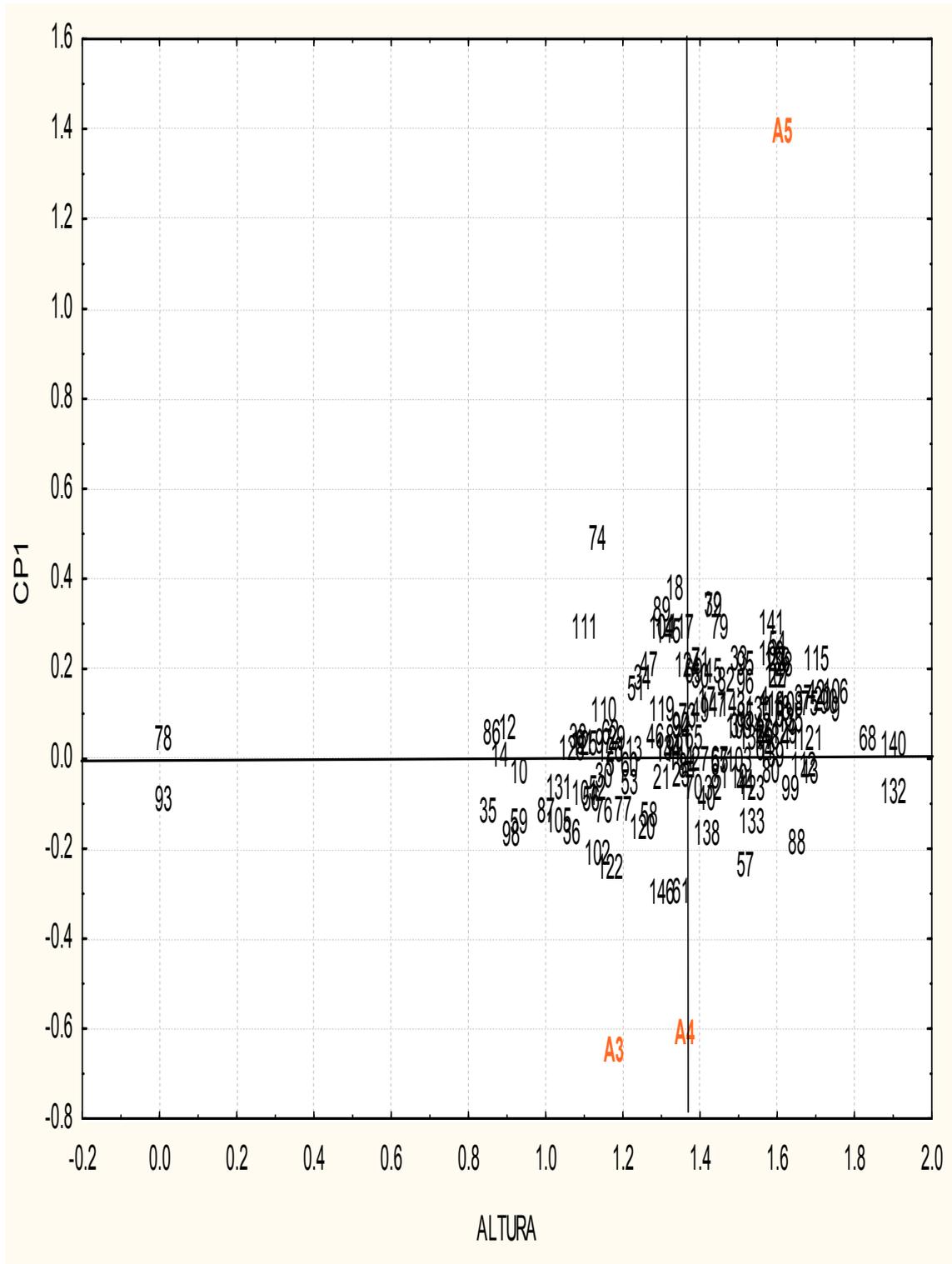


Figura 4.2. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable altura y el primer componente.

En la variable dulzura el CP1 explica un 55.26% del total de la varianza mientras que el CP2 el 44.73, siendo los dos altamente significativos (Cuadro 4.5.). En la (Figura 4.3.) se aprecia la distribución de las líneas y los ambientes considerando los dos componentes, donde se observa que el A3 y A5 muestran una interacción negativa con el CP1 y el A4 una positiva, el resultado observado del A5 en relación con esta variable difiere al de altura ya que muestra interacción negativa.

De acuerdo con la longitud de los vectores que muestran los ambientes (Figura 4.3), se puede decir que tanto el A5 y el A4 discriminan de forma similar las LER. La distribución de estas últimas indican una mayor estabilidad en esta variable, sin embargo se aprecian algunas líneas que interaccionan en los diferentes ambientes, tal es el caso de la 136 en el A4 (+), la 142 en el A3 (-) y la 53 en el A5 (-).

Al graficar el CP1 y la variable dulzura que presentó un valor medio de 11.75%, (Figura 4.4), se observa que fue en el ambiente A5 donde se obtienen valores superiores a la media, aun y cuando este manifiesta una interacción negativa, contrario al A4 que siendo positivo, sus valores medios son mucho más bajos que la media e inclusive que los observados en el A3. De acuerdo con la distribución de las LER entre los ambientes y sus resultados en esta variable, se pueden seleccionar las LER 63, 90, 39 y 28 por su alto contenido de °Brix, de igual manera el grupo de líneas 63, 32 106, 114 142 las cuales mostraron interacción en el A5 e inclusive con valores superiores a la media, donde probablemente puedan ser utilizadas.

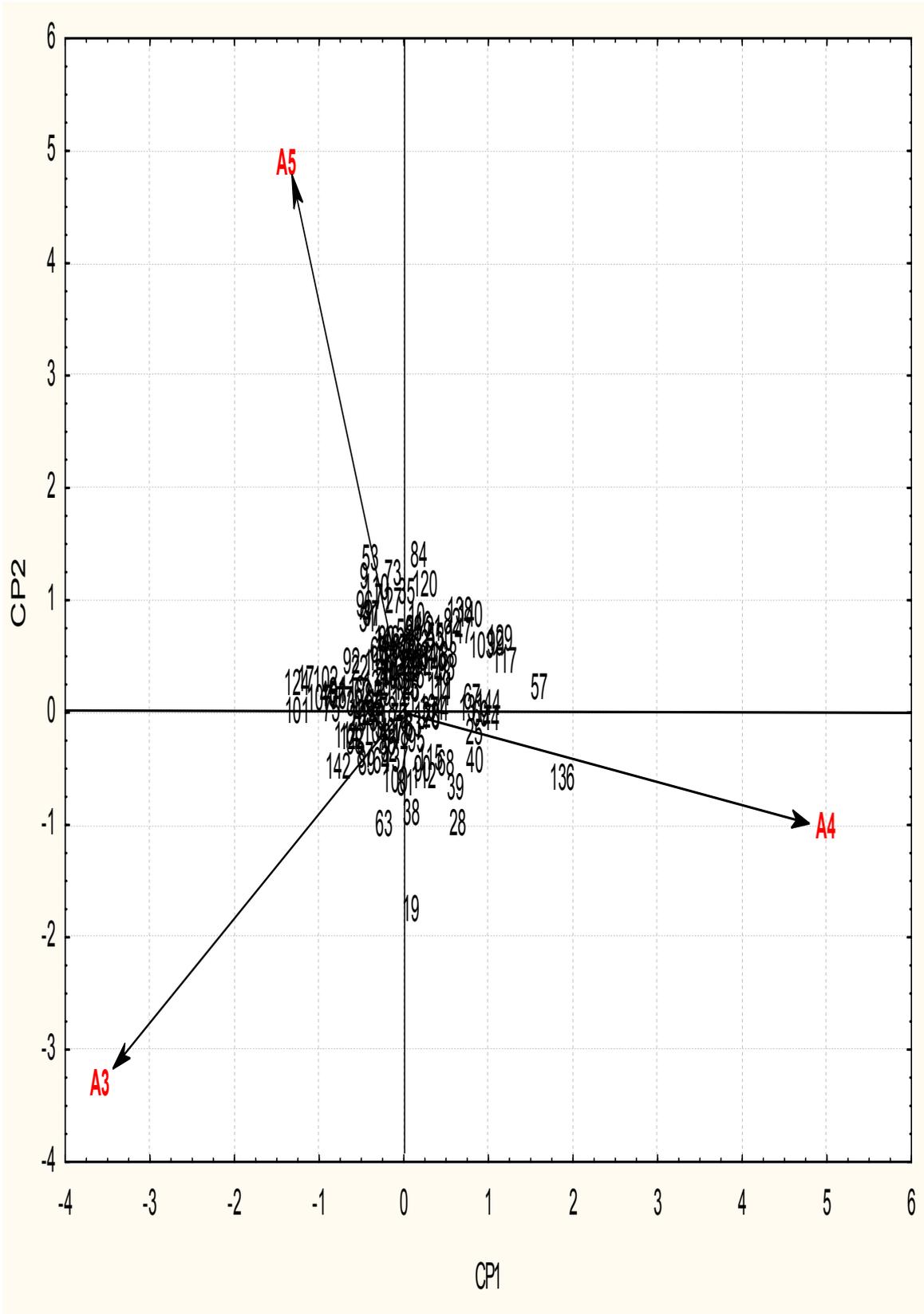


FIGURA 4.3. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable dulzura y los dos componentes principales.

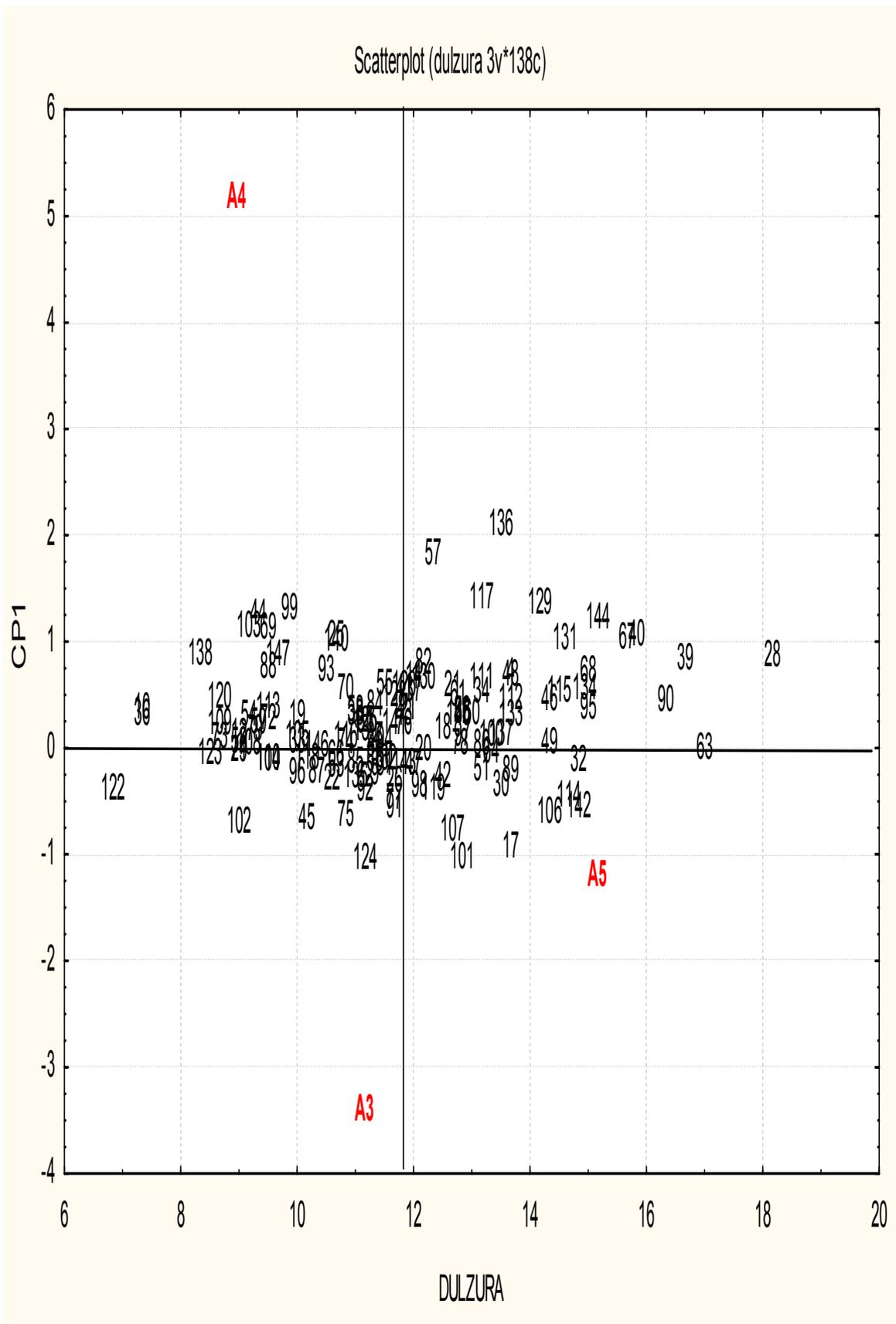


FIGURA 4.4. Distribución de las líneas endogámicas recombinantes (LER) en los tres ambientes con base a la variable dulzura y el primer componente.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos establecidos, en todas las variables estudiadas en la presente investigación las LER mostraron interacción genotipo por ambiente.

Existen diferencias en el comportamiento entre las líneas de sorgo en los diferentes ambientes evaluados.

El modelo AMMI caracterizó eficazmente las LER por su estabilidad, detectando en forma precisa la magnitud y signo de las interacciones presentadas en cada ambiente.

De acuerdo al modelo se seleccionaron LER, con alto potencial para la producción de forraje y también LER que pueden ser utilizadas para la producción de etanol.

En todas las variables evaluadas se pudo apreciar segregación transgresiva.

REVISION DE LITERATURA

- Aguiluz, A. 1998. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays L*) de grano blanco y Amalero en ambientes de Centro América, Panamá y el Caribe en 1996. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 9: 28-37.
- Anderson, I. C. 2006. Ethanol from sweet sorghum, Iowa State University.
- Bennett, W. y B. Tucker, 1986: Producción moderna de sorgo granífero. B.As., Arg., Hemisferio Sur. 127 págs.
- Brancourt-Humel, M., and C. Lecomte. 2003. Effect of environmental variates on genotypeXenvironmental interaction of winter wheat: a comparison of biadditive factorial regression to AMMI. *Crop Sci.* 43: 608-617.
- Brauer. H.O. 1980. Fitogenética Aplicada. Los conocimientos de la herencia. Sexta reimpresión. Editorial Limusa. México D.F. pp. 72,90-92.
- Compton, L. P. 1990. *Agronomía del Sorgo*. ICRISAT/CIMMYT. India. 301p.
- Coutiño-Estrada, B. y V.A. Vidal Martínez. 2006. Variance components of corn hybrids evaluated in the USA corn belt. *Agrociencia* 40: 89-98.
- Crossa, J., P.N Fox, W.H. Pfeiffer, S. Rajaram and H.G. Gauch Jr. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yiel trial. *Theor. Appl. Genet.* 81: 27-37.
- Cuadra, R. M. 1998. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, espaciamiento, poblaciones sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de maíz, variedad NB-6. Managua. Nicaragua.
- Cuberos, J.I 1999. *Introducción a la Mejora Genética Vegetal*. Editorial Mundi-Prensa. ETSIAM, Universidad de Córdoba. España.

- De Wet, J. M. J., J. R. Harlan and E.G. Price. 1970. Origin of variability in the *Spontanea complex of Sorghum bicolor*. Am. J. Bot. 57 (6): 704-707.
- Esterri, J. E. Martínez, R. F. Valentinuz, O. y M. G. Díaz. 2005. Desarrollo y Determinación del Rendimiento de Genotipos de Sorgo Granífero ante cambios en la oferta de Nitrógeno. INTA Paraná. Argentina.
- FAO, 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y al Alimentación. Roma. FAO (ed.) Alimentación Nutrición No. 27. Roma. Italia.
- Fernández, J. 2006. Outlooks of sweet sorghum crop for ethanol production in Spain based on varietal results in multilocal trials.
- Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 278 p.
- Godínez, G. R. 2008. Evaluación y Selección de 135 Líneas Endogámicas de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench.) y de sus dos progenitores. (Sureño y Rt x 430 en dos Localidades. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista. Saltillo Coahuila. México.
- Gordón, R. e I. Camargo 1999. Estimación y comparación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de rendimiento de grano en cultivares de maíz, Panamá 1996-98. Memoria XVIII Reunión Latinoamericana del maíz. 22-27. Agosto de 1999. Sete Lagoas, M.G. Brasil.
- Hernández, M y J. Crossa. 2000. El análisis AMMI y la grafica Biplot en SAS. www.cimmyt.cgiar.org/biometrics.
- House, L. 1982. El Sorgo. Guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 425.
- Hughes, H. D. 1984. Forrajes. Ed. Continental, México.
- Jiménez, M.A., 1989. "La producción de forrajes en México", Talleres, U.A. Chapingo, México. Pp.100. Limusa. México.

- Jugenheimer, W.R. 1981. Maíz Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. 1ª Edición. Ed. Limusa. México, DF. pp.: 88-91, 1975-177, 217-218, 507,510.
- Kempton, R.A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences* 103:123-135.
- Mahalaskhmi Viswanathan and Bidinger R. Francis 2002. Evaluation Green *Sorghum* Germplasm Lines at ICRISAT. *Crop. Sci.* 42:965-974.
- Marín, C., F. San vicente y V. Segovia. 2004. Métodos recientes para el análisis de la interacción genotipo-ambiente en pruebas regionales de cultivares de maíz (*Zea mays* L.). In: VI Jornada Científica del Maíz. Maracay (Venezuela). Fasc. 1:6 p.
- Márquez, S.F 1988. Genotecnia vegetal. Primera edición. Editorial Calypso S.A.México D.F.México. pp:33
- Maunder, B., 2006. *Sorghum: The global Grain of the future*, <http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101>.
- Medina, S., C. Marín, V. Segovia, A. Bejarano, Z. Venero, R. Ascanio y E. Meléndez. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(3):255-275.
- Mendoza, O.L.E. 1988. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Formación de híbridos de soro para grano. II. comportamiento *per se* de las líneas y su aptitud combinatoria general. 11:39:47.
- Monterrey, C. 1997. Dosis y momento de aplicación en fertilizantes nitrogenados: Efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo. *Ing. Agr. UNA. Managua (NIC)*. 44p.
- Mora, A.R; Mendoza, O.L.E., Molina.M.J.1990. *Revista fitotecnia mexicana*. Acumulación de materia seca, imbibición, viabilidad y germinación de semillas inmaduras de sorgo 13:56:66.
- Morales, V. M. 2002. Comportamiento de generaciones F5 de sorgo granífero

(*Sorghum bicolor* L. Moench), en Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.47pp.

Naidu, SL, alces, SP, AL-Shoaibi, AK, Raines, CA, y Long, SP (2003). Tolerancia al frío de C4 en la fotosíntesis *Miscanthus X giganteus*: Adaptación en las cantidades y la secuencia de C4 enzimas fotosintéticas. *Fisiología vegetal*. 132: 1688-1697.

Nolasco. R.O. 2001. Evaluación de 14 Genotipos de Soro (*Sorghum bicolor* L. Moench) con potencial para la Alimentación Humana. Tesis de Licenciatura División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Olmos, T. O. D. 1989. Estimación de las correlaciones fenotípicas y genéticas características en sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench). UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Poehlman J.M.; y S. Allen. 2003. Mejoramiento Genético de las cosechas. 2da edición. Editorial Limusa. 480 pp.

Poehlman, J.M. 1965. Mejoramiento genético de las Cosechas. Limusa México. 453p.

Poehlman, J.M. 1986. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa.

Ramírez, L. Egaña, B. 2003. Guía de Conceptos de Genética Cuantitativa. Departamento de Producción Agraria, Universidad Pública de Navarra. España.

Reyes, C. P. 1985. Fitogenotecnia Básica y Aplicada. AGT. Editor, S.A. Primera Edición, México D.F. pp.: 18-19, 158-167, 176.

Robles S.R. 1983. Producción de granos y forrajes. Cuarta Ed. Editorial Limusa. México.

Robles, R.S. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. 1ª.Edición. Ed. Limusa. México. D.F. pp: 209-214, 258-259,291.

Robles. S.R. 1990. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico Ed. vegetal al servicio de la humanidad. Ed. Limusa- Wiley. México.

Romero. Gaggiotti, M. y Comerón, E. 2001. Sorgo forrajero azucarado para silaje: efecto de la distancia entre surcos y la densidad de siembra. INTA EEA Rafaela. Argentina.

SIAP, Sistema de Información Agropecuaria, 2008. Panorama internacional para el sorgo. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Boletín Mensual al 30 de diciembre del 2007. 20 p.

Somarriba, C. 1998. Granos básicos. Universidad Nacional Agraria. Escuela de producción vegetal, Managua, Nicaragua.61p.

Steward, F.C. 1959. Plant Physiology. Vol. II. Academic.

Travis, D. M. 1992. Estadios de Crecimiento del Cultivo de Trigo. Department of soil and Crop Sciences, Texas A&M University, College Station, Texas, EEUU.

Valencia, R. C. y D' Cruz-Mason, N. E. 2006. La en el mejoramiento de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). CENTA-INTSORMIL. Primera Edición. La Libertad El Salvador.

Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic 2000. *Cultivar evaluation and mega-environment based on the BGC Biplot. Crop Sci. 40:597-605.*

Yan, W.L., A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Sci. 40:597-605.

Zobel, R.W., M.J. Wright y H.G. Gauch Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron. J. 80:388-393.

[es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Bravo_\(municipio\)](http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Bravo_(municipio)).

tarwi.lanolina.edu.pe/~fmendiburu/AMMI.htm).

www.aserca.gob.mx/sicsa/claridades/revistas/046/ca046.pdf

www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/coahuila/mpios/05038a.htm

www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/coahuila/mpios/05038a.htm

www.elsitioagricola.com/articulos/miller/Estadios%20de%20Crecimiento%20del%20Cultivo%20de%20Trigo.asp.

www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo

www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml

www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.

www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill13.htm

APENDICE

A1: Genealogía de las 135 Líneas Endogámicas Recombinantes (LER) F_{2:9} y sus progenitores.

Entrada	LER	Progenitores	Entrada	LER	Progenitores
1002	LER009	Sureño	1044	LER025	
1003	LER121		1045	LER023	
1004	LER115		1046	LER065	
1005	LER109		1047	LER074	
1006	LER019		1048	LER020	
1007	LER047		1049	LER068	
1008	LER119		1050	LER028	
1009	LER051		1051	LER113	
1010	LER077		1052	LER086	
1011	LER022		1053	LER014	Sureño
1012	LER088		1054	LER140	
1013	LER054		1055	LER106	
1014	LER005	RTX430	1056	LER122	
1015	LER110		1057	LER102	
1016	LER029		1058	LER087	
1017	LER101		1059	LER111	
1018	LER080		1060	LER123	
1020	LER033		1061	LER058	
1021	LER045		1062	LER039	
1022	LER133		1063	LER139	
1023	LER066		1064	LER038	
1024	LER120		1065	LER093	
1025	LER030		1066	LER079	
1027	LER141		1067	LER084	
1028	LER067		1068	LER004	RTX430
1029	LER085		1069	LER129	
1030	LER104		1070	LER049	
1031	LER056		1071	LER118	
1032	LER100		1072	LER017	
1033	LER132		1073	LER081	
1034	LER044		1074	LER026	
1035	LER098		1075	LER035	
1036	LER046		1076	LER128	
1037	LER112		1077	LER041	
1038	LER117		1078	LER097	
1039	LER018		1079	LER021	
1040	LER071		1080	LER089	
1041	LER134		1081	LER136	
1042	LER050		1082	LER105	
1043	LER031				

Entrada	LER	Progenitores
1083	LER048	
1084	LER095	
1085	LER116	
1086	LER070	
1087	LER131	
1088	LER137	
1089	LER040	
1090	LER143	
1091	LER090	
1092	LER052	
1093	LER124	
1094	LER037	
1095	LER055	
1096	LER103	
1097	LER036	
1098	LER060	
1099	LER063	
1100	LER135	
1101	LER108	
1102	LER076	
1103	LER138	
1104	LER034	
1105	LER064	
1106	LER057	
1107	LER099	
1108	LER092	
1109	LER027	
1110	LER012	RTX430

Entrada	LER	Progenitores
1112	LER126	
1113	LER053	
1114	LER130	
1115	LER061	
1116	LER125	
1117	LER114	
1118	LER145	
1119	LER096	
1120	LER069	
1121	LER107	
1122	LER062	
1123	LER072	
1124	LER059	
1125	LER091	
1126	LER082	
1127	LER078	
1128	LER146	
1129	LER142	
1130	LER042	
1131	LER094	
1132	LER075	
1133	LER144	
1134	LER083	
1135	LER147	
1136	LER032	
1137	LER073	
1138	LER043	
1140	LER010	Sureño