

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Potencial de Rendimiento y Respuesta Ambiental de Seis Poblaciones
Nativas de Maíz del Sureste de Coahuila

JOSÉ LUIS ROQUE CARRILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Potencial de Rendimiento y Respuesta Ambiental de Seis Poblaciones Nativas
de Maíz del Sureste de Coahuila

Por:

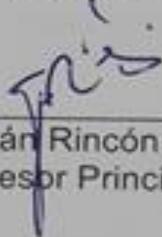
JOSÉ LUIS ROQUE CARRILLO

TESIS

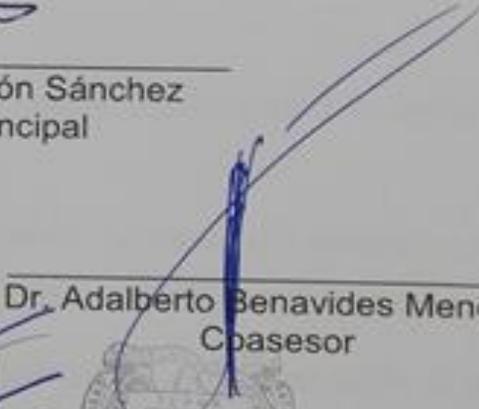
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

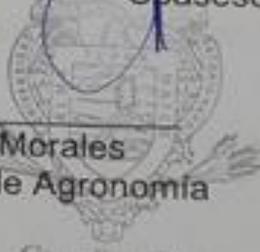
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Froylán Rincón Sánchez
Asesor Principal


Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Coasesor


Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a quien le pedí de todo para disfrutar la vida y decidió darme una segunda oportunidad de vida para disfrutar de todo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme formado profesionalmente y hacer de mí un profesionista con buenos principios, ideales y grandes conocimientos, "*Alma Terra Mater*".

Al Doctor Froylán Rincón Sánchez por haberme brindado la oportunidad de fortalecer mis conocimientos y obtener una gran experiencia durante esta investigación. Gracias.

A los Coasesores de mi Comité de Asesoría integrado por la Doctora Norma Angélica Ruiz Torres y el Doctor Adalberto Benavides Mendoza por el apoyo en la revisión de mi investigación.

A mi familia por el apoyo incondicional y constante, sin ellos esto no sería posible. Gracias.

A Profesores Investigadores del Departamento de Fitomejoramiento que día a día transmiten nuevos conocimientos para formar grandes profesionistas.

A las personas que de una u otra forma influyeron y me apoyaron durante mi formación profesional, a todos, gracias.

DEDICATORIA

A mi padre y madre: Margarito Roque Secundino y Rodriga Carrillo Teodoro por ser la mayor motivación de mi vida e impulsarme a ser un profesional de bien, este logro es para ustedes. Los amo papá y mamá.

A mis hermanos: Juve, Andrés, Víctor, Roci, Magui y Toño por el cariño y apoyo constante durante los años de mi carrera. Los amo hermanos.

Al M.C. Arnoldo Oyervides García por sus buenos consejos durante mi formación profesional.

A mis amigos: Oscar Alan, Juan Jesús, Viviana, Reyes Olivar, Alexi y Luis Miguel por su buena amistad y apoyo en todo momento.

A ustedes compañeros de la generación CXXII de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción por la convivencia durante cuatro años en la universidad.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Importancia del maíz en México.....	3
Importancia del maíz en Coahuila.....	3
Potencial genético de poblaciones nativas.....	4
Respuesta ambiental	5
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Material genético.....	7
Ubicación del sitio del experimento	7
Diseño experimental	9
Labores Culturales.....	10
Variables Evaluadas.....	10
Análisis de la Información	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Interacción genotipo x ambiente (G x A).....	21
CONCLUSIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
APÉNDICE	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. Poblaciones de maíz y testigos incluidos en la evaluación agronómica en las localidades de El Mezquite, Galeana N.L. y General Cepeda, Coah.....	8
Cuadro 3. Coordenadas geográficas y datos climáticos de las localidades de evaluación, 2015.	9
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas en evaluación en General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana, N.L. en 2015.	16
Cuadro 5. Medias de los caracteres agronómicos de las poblaciones y testigos evaluadas en 2015.....	17
Cuadro 6. Selección de familias de cada población con adaptación a El Mezquite, Galeana N. L. y General Cepeda, Coah. y familias sin interacción evaluados en 2015.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Respuesta ambiental de seis poblaciones de maíz y testigos incluidos en la evaluación en 2015. GC = General Cepeda, Coah.; MEZ= El Mezquite, Galeana, N. L.....	20
Figura 2. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población Chapul en base a su rendimiento en grano.	22
Figura A 1. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población Jagüey, con base a su rendimiento en grano.	31
Figura A 2. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población MTAm con base a su rendimiento en grano.	32
Figura A 3. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población MTBco con base a su rendimiento en grano.	33
Figura A 4. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población PT14C, con base a su rendimiento en grano.	34
Figura A 5. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población PT14R, con base a su rendimiento en grano.	35

RESUMEN

En Coahuila, los sistemas agrícolas tradicionales, sobre todo en condiciones de temporal son integrales, donde el cultivo de maíz juega un papel importante en la economía familiar de las comunidades. En el sureste del estado, en 2015 se sembraron 25,859 hectáreas (84.0 % del total), de éstas, el 92.9 % bajo condición de temporal, con un rendimiento promedio de 0.91 t ha⁻¹. Los objetivos del trabajo de investigación fueron: Determinar el potencial productivo de seis poblaciones nativas de maíz y determinar la respuesta en dos localidades contrastantes representativas del sureste de Coahuila. Se utilizaron seis poblaciones nativas de maíz (cuatro de valles altos y dos de áreas intermedias), representadas por 25 familias de medios hermanos. Se incluyeron como testigos cuatro híbridos comerciales (Rx715, P3166, NA35 y NB21) y una variedad experimental (VAM). La evaluación agronómica se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano 2015, en dos localidades contrastantes y representativas de las condiciones ambientales que se presentan en el sureste de Coahuila: El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., bajo condiciones de riego. Las poblaciones fueron diferentes ($P \leq 0.01$) con una amplia variación entre familias dentro de poblaciones. Se encontró una interacción significativa ($P \leq 0.01$) de poblaciones x localidades, expresada por la respuesta relativa de las diferentes poblaciones a las condiciones ambientales. Las poblaciones adaptadas a las áreas de altura del grupo racial Cónico Norteño (Chapul, Jaguey, MTAm y MTBco) tuvieron un abatimiento promedio en el rendimiento de grano de 60.1 % en General Cepeda, Coah. Las poblaciones intermedias PT14C y PT14R de las razas Celaya y Ratón tuvieron un comportamiento sobresaliente en relación a las poblaciones de Valles altos con 6.88 y 6.10 t ha⁻¹ respectivamente. El análisis de la interacción genotipo x ambiente permitió identificar familias dentro de cada población con

comportamiento promedio a través de ambientes, así como aquellas familias con adaptación específica a cada localidad de evaluación. El potencial de rendimiento de las poblaciones intermedias (PT14C y PT14R) y la identificación de familias con un comportamiento estable son prospectos para el mejoramiento genético con posibilidades de mitigar cambios en el ambiente de Valles altos.

Palabras Clave: Maíz, Poblaciones nativas, genotipo x ambiente, Potencial de rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie con mayor superficie sembrada en México, su importancia es central en la alimentación, sociedad, cultura y economía. La siembra de este cultivo se realiza desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2,800 metros, cultivándose en dos ciclos productivos: primavera – verano y otoño – invierno.

México es considerado como centro de origen del maíz, encontrándose aquí la mayor diversidad genética de esta especie, la cual se ha documentado en 59 grupos raciales distribuidos en todos los estados de la república, pero concentrándose la mayor diversidad racial en los estados del sur, centro y centro occidente de México (Ortega *et al.*, 2013).

La diversidad del maíz en el Estado de Coahuila como en gran parte de la República Mexicana, está constituida de manera compleja por tipos raciales, variantes dentro de razas y variantes intermedias entre razas desarrollados por los agricultores. En Coahuila, los grupos raciales documentados está integrado por: Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, sembrándose más del 80 % de la superficie con estos maíces (Rincón *et al.*, 2010).

En el Estado de Coahuila, en 2015 se sembraron 30,792 hectáreas de maíz para grano, con rendimiento promedio de 1.8 toneladas por hectárea. En el sureste del estado de Coahuila (Arteaga, General Cepeda, Ramos Arizpe, Parras y Saltillo), la superficie sembrada fue de 25,859 hectáreas (84.0 % del total), de éstas, el 92.9 % bajo condición de temporal, con un rendimiento promedio de 0.91 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2015).

En Coahuila, los sistemas agrícolas tradicionales, sobre todo en condiciones de temporal son integrales, donde el cultivo de maíz juega un papel importante en la economía familiar de las comunidades. Generalmente su producción es para autoconsumo, para forraje que se usa para la alimentación de animales de traspatio y, cuando hay excedentes, para su venta en el mercado (Ortega *et al.*, 2013).

De acuerdo a esta información y a la importancia que tiene el cultivo del maíz de temporal y la diversidad genética de sus maíces nativos en el Sureste de Coahuila, se emplean métodos de mejoramiento que permitan en selección de potencial de rendimiento y una adaptación particular a las condiciones climáticas del Estado. Con base a esto, la investigación realizada tuvo la finalidad de estudiar el potencial productivo y la respuesta ambiental de seis poblaciones nativas de maíz, cada una representada por 25 familias de medios hermanos. Los objetivos y la hipótesis establecidos se mencionan a continuación:

Objetivos

- Determinar el potencial productivo de seis poblaciones nativas de maíz en el sureste de Coahuila.
- Determinar la respuesta de seis poblaciones de maíz en dos localidades contrastantes representativas del sureste de Coahuila.

Hipótesis

- El análisis del potencial productivo y respuesta a factores ambientales de poblaciones y familias derivadas a través de ambientes contrastantes permitirá identificar alelos favorables que puedan adaptarse a las modificaciones del ambiente por efecto del cambio climático.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz en México

Kato *et al.* (2009) describen que con base en los resultados de un amplio estudio de la morfología de los cromosomas paquiténicos de los maíces y teocintles de América se desarrolló una teoría que propone que el maíz fue originado y domesticado en varias regiones de México y Guatemala (Mesoamérica) es decir, que éste cultivo tuvo un inicio multicéntrico.

Desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social el maíz es el cultivo más importante de México. Se produce bajo dos ciclos productivos: primavera – verano y otoño – invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad, temporal y riego (SAGARPA-SIAP, 2015).

El maíz es un cultivo encontrado en todos los estados de México, adaptado a diversos climas y altitudes. Su siembra va desde poblaciones nativas (poblaciones criollas), variedades mejoradas e híbridos comerciales consumiéndose de distintas formas. En México tiene gran importancia por ser el principal cultivo que se siembra en grandes superficies y por el volumen de producción que se cosecha, esto comparado con el sorgo, trigo, cebada, arroz y avena, los cereales más cultivados en el territorio mexicano (SAGARPA, 2013).

Importancia del maíz en Coahuila

En el Estado de Coahuila, en 2015 se sembraron 30,792 hectáreas de maíz para grano en condición de temporal, con rendimiento promedio de 1.8 toneladas por hectárea. En el sureste del estado de Coahuila (Arteaga, General

Cepeda, Ramos Arizpe, Parras y Saltillo), la superficie sembrada fue de alrededor de 25,859 mil hectáreas (83.97 % del total), todo esto bajo condición de temporal, con un rendimiento promedio de 0.91 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2015).

Potencial genético de poblaciones nativas

Las poblaciones nativas tienen un gran potencial de adaptación a diversos ambientes ecológicos por la gran variabilidad genética que poseen, estos atributos pueden ser útiles en programas de mejoramiento genético como fuente de genes favorables para características agronómicas de interés y recombinación de poblaciones para la obtención de variedades mejoradas que se adapten a condiciones agroecológicas de ambientes específicos.

Molina (1992) menciona que en mejoramiento poblacional, se llama selección al hecho de cambiar direccionalmente la media genotípica de una población de una generación a la siguiente. Para ello, habrá que escoger dentro de la población, los individuos o grupos de individuos (familias) que exhiban en su máxima expresión el carácter por mejorar. Bajo este criterio de selección se estará eligiendo a los individuos o a las familias superiores que constituirán la muestra de progenitores seleccionados y que al aparearlos en forma aleatoria, se espera que la media genotípica de su progenie sea superior a la media genotípica de la población original.

Nájera *et al.* (2010) en una evaluación realizada con 90 poblaciones nativas de maíz de Coahuila, identificaron grupos raciales con mayor potencial de rendimiento correspondiente a las razas Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón; además en base a la precocidad y buen rendimiento de grano las poblaciones identificadas son de la raza Ratón y Cónico Norteño.

La combinación genética entre materiales locales de maíz (poblaciones nativas) permite seleccionar genotipos con características deseables, que al recombinarlos dan como resultado a variedades nativas mejoradas. Por su

rendimiento de grano, precocidad, prolificidad, resistencia al acame y tolerancia al estrés hídrico, éstas variedades se adaptan principalmente a regiones donde las condiciones ambientales son desfavorables, tal es el caso de la variedad 'Jaguan' que fue obtenida de la cruce entre individuos de la variedad Jagüey con individuos de una población experimental que se usó como progenitor de alto rendimiento y buen vigor de planta (Rincón *et al.*, 2014).

Rincón *et al.* (2015) en una evaluación de 63 poblaciones de maíz adaptadas al sureste de Coahuila, identificaron 25 poblaciones sobresalientes con buen potencial de rendimiento a través de ambientes, de las cuales representan principalmente a las razas Tuxpeño, Ratón y Tuxpeño Norteño.

Respuesta ambiental

Greulach y Edison (1970) afirmaron que el medio ambiente físico afecta el crecimiento de las plantas cuando menos de tres maneras: influye tanto en la tasa de crecimiento como en el tipo de desarrollo y también determina donde pueden sobrevivir y crecer con ciertas potencialidades hereditarias, afectando por lo tanto la distribución geográfica de las plantas.

Falconer (1970) dice que cuando existen grandes diferencias de ambiente, por ejemplo entre hábitats diferentes, la presencia de la interacción genotipo-ambiente llega a ser importante en conexión con la especialización de razas o variedades a las condiciones locales.

Nelson *et al.* (2009) mencionan que el aumento de las temperaturas y el cambio en los regímenes pluviales tienen efectos directos sobre el rendimiento de los cultivos, así como efectos indirectos a través de los cambios en la disponibilidad de agua de riego. Los mismos autores mencionan que los cambios en el rendimiento de los cultivos de secano son inducidos por los cambios en el régimen de lluvias y temperatura; los efectos en el rendimiento de los cultivos de riego solo consideran los cambios de temperatura.

Los cambios que se pronostican debido a la modificación del clima provocada por las emisiones de gases contaminantes que favorecen la elevación de la temperatura, influirán en el aumento de la superficie destinada al cultivo del maíz, tomando en cuenta su adaptabilidad a diversos ambientes, su elevado potencial de rendimiento, diversidad de cultivares con valor agregado, por los componentes nutraceuticos que contiene, por su importancia en la alimentación humana y animal y por su uso en diversas industrias de transformación (Ortega *et al.*, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En el estudio se utilizaron seis poblaciones nativas de maíz, representadas por 25 familias de medios hermanos. Se incluyeron como testigos cuatro híbridos comerciales (Rx715, P3166, NA35 y NB21) y una variedad experimental (VAM), (Cuadro 1).

Ubicación del sitio del experimento

La evaluación agronómica de las seis poblaciones y de los testigos se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano 2015, en dos localidades contrastantes y representativas de las condiciones ambientales que se presentan en el sureste de Coahuila: El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., bajo condiciones de riego.

La localidad El Mezquite, se localiza a 10 km de los límites de Coahuila, en Galeana, N. L. Las características de las localidades donde se llevó a cabo la evaluación se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Poblaciones de maíz y testigos incluidos en la evaluación agronómica en las localidades de El Mezquite, Galeana N.L. y General Cepeda, Coah.

GEN	DESC	Origen	Municipio	Localidad	Raza	ALT	Adaptación
POB	Jagüey	MEZ2014	Saltillo	Jagüey de Ferniza	Cónico Norteño	2089	Valles altos
POB	Chapul	MEZ2014	Arteaga	Chapultepec	Cónico Norteño	2053	Valles altos
POB	MTAm	MEZ2014	Arteaga	Mesa de las Tablas	Cónico Norteño	2550	Valles altos
POB	MTBco	MEZ2014	Arteaga	Mesa de las Tablas	Cónico Norteño	2550	Valles altos
POB	PT14C	PT2014	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	Celaya	1556	Intermedia
POB	PT14R	PT2014	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	Ratón	1556	Intermedia
TES	Rx715	Asgrow					
TES	P3166	Pionner					
TES	NA35	Novasem					
TES	NB21	Novasem					
TES	VAM	GC2011					

GEN = Genotipo; DESC = Descripción; ALT = Altitud (msnm); POB = Población; TES = Testigo

Cuadro 2. Coordenadas geográficas y datos climáticos de las localidades de evaluación, 2015.

	General Cepeda, Coah.	El Mezquite, Galeana, N. L.
Coordenadas geográficas		
Latitud norte	25° 23' 0.91"	25° 05' 19.7"
Longitud oeste	101° 27' 15.3"	100° 42' 17.5"
Altitud (msnm)	1457	1910
Descripción climática	Rancho la Gloria, † Gral. Cepeda, Coah.	Agrodelta el Cuije, Galeana, N. L.
Temperatura media anual (°C)	18.4	15.42
Precipitación anual (mm)	414.6	338.8

† Fuente: COFUPRO (2015)

Diseño experimental

Las familias de medios hermanos de las seis poblaciones y de los testigos fueron establecidos en un diseño aumentado de bloques incompletos con dos repeticiones por localidad. El diseño experimental fue generado a través del programa de computo CropStat (IRRI, 2007).

La unidad experimental constó de un surco de cuatro metros de largo con una distancia entre plantas de 0.2 m y distancia entre surcos de 0.85 m. Se sembraron 30 semillas por surco para posteriormente aclarear a 22 plantas por unidad experimental.

Labores Culturales

Siembra

La siembra se realizó en dos fechas, el 2 de mayo y el 16 de junio del 2015 en las localidades El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coahuila, respectivamente.

Fertilización

La dosis de fertilización usada para las dos localidades en la que se realizó el experimento fue de 120-60-60. En el momento de la siembra se aplicó la mitad del nitrógeno junto a todo el fósforo y potasio utilizando un fertilizante con fórmula 17-17-17; el resto del nitrógeno se aplicó al primer cultivo utilizando urea (46-00-00) como fuente de nitrógeno.

Riego

En las dos localidades el cultivo se estableció en ambientes con riego, por lo que se definieron de acuerdo a las condiciones meteorológicas de cada localidad y de acuerdo a las necesidades del cultivo.

Las labores culturales como son la aplicación de plaguicidas y herbicidas, raleo y aporque para el cultivo, fueron realizadas de acuerdo a las necesidades del cultivo en cada localidad.

Variables Evaluadas

Las variables estudiadas para la evaluación agronómica en el experimento se mencionan a continuación:

Altura de planta (APTA) (cm). Se midió desde la base de la planta hasta el punto de inicio donde la panícula empieza a ramificarse.

Altura de mazorca (AMAZ) (cm). Se midió desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

Humedad del grano (HUM). Es el contenido de humedad del grano al momento en que es cosechado. Esta medida expresada en porcentaje se determinó a través de un aparato Dickey John, a partir de una muestra aleatoria de granos de varias mazorcas de cada unidad experimental.

Número de plantas (PTS). Se contó el número total de plantas por unidad experimental previo a la cosecha.

Número de mazorcas (MAZ). Se contó el número total de mazorcas cosechadas por unidad experimental.

Floración masculina (FM). Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la unidad experimental liberaron polen.

Floración femenina (FF). Se consideró el número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la unidad experimental emergieron los estigmas.

Asincronía floral (ASI). Se estimó como la diferencia entre días a floración femenina y días a floración masculina.

Mazorcas podridas (MP) (%). Se estimó dividiendo el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas totales por unidad experimental multiplicado por 100.

Mala cobertura de mazorca (MCOB). Se cuantificó el número de plantas con mala cobertura de mazorca. El resultado fue expresado en porcentaje con respecto al número total de plantas en la unidad experimental.

Prolificidad (PRO). Se obtuvo dividiendo el número de mazorcas cosechadas entre el número de plantas de cada unidad experimental.

Rendimiento de grano (REND). Se estimó multiplicando el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC), expresado en t ha⁻¹ al 15 % de humedad. Este valor se multiplicó por 0.85 para expresar el rendimiento de grano.

Análisis de la Información

El análisis de los datos generados en la evaluación agronómica se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004), donde se probaron los efectos de los genotipos y la interacción con las localidades en estudio. En el análisis de varianza, fueron considerados como efectos fijos las localidades, los genotipos y la interacción genotipos x localidades, el resto de los efectos del modelo fueron considerados aleatorios.

El modelo lineal utilizado para el análisis de la información agronómica se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + R_{j(i)} + B_{k(ij)} + G_l + L_i G_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; L_i = Efecto de la *i*-ésima localidad; $R_{j(i)}$ = Efecto de la *j*-ésima repetición dentro de la *i*-ésima localidad; $B_{k(ij)}$ = Efecto del *k*-ésimo bloque incompleto dentro de la *i*-ésima localidad por la *j*-ésima repetición; G_l = Efecto del *l*-ésimo genotipo (poblaciones y testigos); $L_i G_l$ = Efecto de la *i*-ésima localidad por el *l*-ésimo genotipo; ε_{ijkl} = Error experimental.

Para obtener una mejor precisión en la prueba de hipótesis del análisis de varianza, se realizó la descomposición de suma de cuadrados de los genotipos de la siguiente manera: poblaciones, testigos y poblaciones vs testigos.

De la misma forma que en la fuente de variación genotipos, en la interacción genotipos x localidad se realizó la descomposición de la suma de

cuadrados de la siguiente forma: poblaciones x localidad, testigos x localidad y (poblaciones vs testigos) x localidad.

Se realizó también una comparación de medias para las poblaciones a través de la prueba múltiple de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$).

Para el caso de la interacción genotipo x ambiente (G x A) para la variable rendimiento de grano se realizó un análisis con el Modelo de la Interacción de Efectos Aditivos Principales y Multiplicativos (AMMI) (Zobel *et al.*, 1988). Lo anterior fue generado mediante el programa de cómputo CropStat (IRRI, 2007), donde se utilizaron los datos de repeticiones (1, 2) en cada localidad (El Mezquite M1 y M2: General Cepeda, G1 y G2) y familias por población representadas con números.

De acuerdo al modelo AMMI se utilizó la Figura de dispersión gráfica, donde se modula los efectos aditivos de rendimiento de grano, los ambientes y el primer componente de la interacción genotipo x ambiente. Se identificó a las familias que no interactúan con los ambientes de evaluación, así como aquellas que correlacionan con cada una de las localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se da a conocer los resultados obtenidos de la evaluación agronómica realizada en las localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., en el año 2015.

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las variables agronómicas evaluadas en las dos localidades, esto debido a que las condiciones ambientales son diferentes en ambas localidades, lo que ocasiona que los alelos encontrados en los genotipos se expresen (Cuadro 3).

Para el caso de los genotipos hubo diferencias al 0.05 en la variable prolificidad y ($P \leq 0.01$) en todos los demás caracteres estudiados. Para explicar las diferencias que existen se llevó a cabo la descomposición de la suma de cuadrados de los genotipos en el cual las poblaciones mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados lo cual se debe a que cada población pertenece a un grupo racial diferente y tienen un origen distinto (Cuadro 1; Cuadro 3).

Para el caso de los testigos se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados, lo que indica que los testigos son materiales mejorados y cuentan con variaciones en sus caracteres expresados de acuerdo a su constitución genética.

En la comparación de poblaciones vs testigos se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados, principalmente esto se debe a que los testigos son genotipos mejorados que cuentan con varios ciclos de selección y las poblaciones nativas se encuentran con una amplia variación genética (Cuadro 3).

En el caso de familias dentro de poblaciones hubo diferencias al 0.05 en prolificidad y diferencias ($P \leq 0.01$) en todas las demás variables estudiadas, esto se debe principalmente a que las poblaciones están representadas por familias que tienen una amplia variación genética en sus caracteres expresados.

Para el caso de interacción genotipos x localidades hubo diferencias al 0.05 en altura de planta y de mazorca y significancia de ($P \leq 0.01$) en todos los demás caracteres; lo que indica un comportamiento agronómico diferente de los genotipos cuando son expuestos a diferentes ambientes.

Para poder entender mejor la interacción de genotipos x localidad se realizó la descomposición de suma de cuadrados medios. En el caso de interacción poblaciones x localidad no se encontró diferencias en altura de planta y de mazorca y mala cobertura de mazorca, lo que indica un comportamiento similar de las poblaciones en ambas localidades, y diferencias ($P \leq 0.01$) en todos los demás caracteres estudiados, lo que indica un comportamiento diferente de las poblaciones en las localidades en evaluación, lo que permite hacer selección entre y dentro de poblaciones para adaptación específica y mejorar un carácter de acuerdo a su estabilidad.

En la interacción testigos x localidad no se obtuvieron diferencias en asincronía y altura de mazorca, lo que indica que los testigos tienen una buena sincronía en su floración y uniformidad en la altura de las mazorcas. En rendimiento de grano se encontró significancia de 0.05 y ($P \leq 0.01$) para los demás caracteres estudiados; esto indica el efecto que tienen los testigos al ser seleccionados y sometidos a programas de mejoramiento genético.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas en evaluación en General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana, N.L. en 2015.

FV	GL	FM	ASI	APTA	MCOB	MP	PRO	REND
Localidades (Loc)	1	43,303.98 **	22.90 **	344,077.78 **	3,866.84 *	29,847.08 **	0.197 *	2,396.43 **
Repeticiones Rep/Loc	2	28.86	0.24	422.99	523.51	103.05	0.033	4.20
Bloques/(Loc x Rep)	16	55.11 **	5.39 **	911.68 **	258.86	121.49	0.029	2.26 **
Genotipos (Gen)	10	1,015.97 **	115.88 **	21,714.16 **	3,910.41 **	2,745.70 **	0.082 *	52.43 **
Poblaciones (Pob)	5	1,508.10 **	36.56 **	6,660.95 **	1,237.37 **	3,530.26 **	0.059 **	39.69 **
Testigos (Tes)	4	550.55 **	17.56 **	5,795.81 **	7,667.14 **	1,914.90 **	0.074 **	46.17 **
Pob vs Tes	1	300.12 **	904.18 **	169,588.13 **	3,511.07 **	1,436.17 **	0.282 **	117.50 **
Familias / Pob	144	22.53 **	4.82 **	465.76 **	310.30 **	120.08 **	0.024 *	1.64 **
Gen x Loc	10	338.68 **	11.93 **	395.05 *	2,361.33 **	1,123.44 **	0.076 **	7.50 **
Pob x Loc	5	447.06 **	14.58 **	42.43	264.14	1,527.76 **	0.059 **	5.21 **
Tes x Loc	4	67.73 **	2.01	766.52 **	4,236.39 **	845.00 **	0.073 **	2.48 *
(Pob vs Tes) x Loc	1	794.79 **	39.97 **	743.28	6,902.84 **	98.42	0.216 **	41.30 **
Error	512	6.09	2.21	209.32	157.92	75.27	0.018	0.99
CV (%)		3.06	53.64	6.97	56.38	51.99	13.014	16.74
Media		80.70	2.77	207.61	22.29	16.69	1.045	5.94

*, ** = Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente; FV; Fuente de variación; GL = Grados de libertad; FM = Floración masculina; ASI = Asincronía de floración; APTA = Altura de planta; MCOB = Mala cobertura de mazorca; MP = Mazorcas podridas; PRO = Prolificidad; REND = Rendimiento; CV (%) = Coeficiente de Variación.

Cuadro 4. Medias de los caracteres agronómicos de las poblaciones y testigos evaluadas en 2015.

Genotipos	REND (t ha ⁻¹)	APTA (cm)	FM (d)	ASI	MCOB (%)	MP (%)	PRO
NA35	8.82 a	179.95 de	89.20 a	-0.70 d	2.25 c	2.92 f	1.02 ab
NB21	8.27 a	188.85 cd	86.15 ab	-0.10 cd	44.93 a	6.94 ef	1.02 ab
PT14C	6.88 b	222.88 a	85.53 abc	2.85 ab	18.80 b	12.68 cde	1.02 ab
P3166	6.74 bc	165.40 ef	77.85 e	-0.80 d	21.11 b	17.34 abcd	1.01 ab
PT14R	6.10 bcd	223.04 a	84.93 bc	2.81 ab	16.97 b	8.81 def	1.05 a
VAM	5.96 bcd	164.25 ef	82.00 cd	1.50 bc	19.89 b	9.19 def	1.04 a
Rx715	5.82 cd	150.06 f	78.50 de	-0.38 d	45.35 a	25.01 a	0.91 b
Chapul	5.55 d	217.72 ab	78.38 de	3.38 a	21.57 b	19.48 abc	1.08 a
Jaguey	5.49 d	204.68 bc	78.57 de	2.52 ab	24.13 b	16.31 bcd	1.07 a
MTBco	5.21 d	209.80 ab	77.74 e	3.65 a	27.05 b	25.01 a	1.03 ab
MTAm	5.19 d	203.12 bc	76.90 e	4.16 a	21.73 b	22.58 ab	1.07 a
Media	6.37	193.61	81.43	1.72	23.98	15.11	1.03
Tukey (α= 0.05)	1.01	17.10	3.76	1.74	13.95	8.68	0.12

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes; APTA= Altura de planta; FM= Floración masculina; ASI = Asincronía de floración; MP= Mazorcas podridas; MCOB= Mala cobertura de mazorca; PRO= Prolificidad; REND= Rendimiento de grano.

Para hacer un análisis del potencial de rendimiento de las poblaciones con respecto a los testigos se realizó una prueba de comparación múltiple de medias que compara los promedios obtenidos en los caracteres estudiados a través de las localidades de evaluación (Cuadro 4).

En la comparación de medias se puede observar que los genotipos con mayor rendimiento de grano fueron los híbridos NA35 y NB21, los cuales están por arriba de la media general de rendimiento de grano, siendo también estos materiales los más tardíos de acuerdo a su floración y los que presentaron un menor porcentaje de mazorcas podridas, no cuenta con asincronía en su floración; pero el híbrido NB21 cuenta con un mayor índice de mala cobertura de mazorca al igual que el híbrido Rx715.

Por otro lado, las poblaciones MTBco y MTAm son los que presentaron un menor rendimiento de grano, sin embargo son los más precoces con cinco días menos en relación a la media y 13 días menos en relación al genotipo más tardío, estas poblaciones cuentan además con una asincronía de cuatro y tres días en su floración, cuentan con un mayor porcentaje de mazorcas podridas pero son materiales prolíficos.

Las poblaciones que expresaron una mayor altura de planta son PT14C y PT14R, tienen un rendimiento promedio de 6.88 y 6.10 t ha⁻¹ respectivamente, son cuatro días más tardíos en relación al promedio y cuentan con dos días de asincronía en floración, además tienen un menor porcentaje de mazorcas podridas y menor porcentaje de mala cobertura de mazorcas en relación a la media.

En cuanto a los genotipos con una menor altura de planta se encuentran el híbrido P3166 y la variedad experimental VAM; los cuales cuentan con buen rendimiento de grano y no cuentan con asincronía en su floración, además el índice de mala cobertura de mazorca está por debajo de la media general.

Para el caso de las poblaciones Chapul y Jagüey, que son nativas y que cuentan con un mayor índice de prolificidad, tienen bajo rendimiento de grano pero presentan una mayor altura de planta, son precoces con tres días menos en relación a la media y 11 días menos en relación al más tardío y su asincronía en floración es de tres y dos días.

En el Cuadro 4 se observa que los testigos son en general de más rendimiento de grano que las poblaciones nativas a través de las localidades. Sin embargo, la población PT14C, que representa a una población de la raza Celaya obtuvo un rendimiento promedio de 6.88 t ha^{-1} superior a la media general. Además se puede observar que las poblaciones son en promedio 10 días más precoces que los híbridos, excepto el híbrido P3166 que es muy precoz con 78 días similar a las poblaciones.

La asincronía de floración es una característica que correlaciona con el rendimiento de grano, y en este estudio los híbridos tienen valores cercanos a cero o negativos (valores deseados) comparados con las poblaciones que tienen valores promedio de tres días.

El análisis de la respuesta de los genotipos (poblaciones y testigos) \times localidades se presenta en la Figura 1.

En la Figura 1, se observa a todos los genotipos incluidos en el estudio, donde para la variable rendimiento de grano se puede ver una respuesta favorable de las poblaciones en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., donde se obtuvieron rendimientos más altos que en General Cepeda. Se encontró que los genotipos incluidos en el estudio tuvieron un abatimiento promedio del 58.1 % en el rendimiento de grano al ser expuestos a las condiciones ambientales de General Cepeda, Coah., (localidad representativa de condiciones ambientales intermedias) comparado con el rendimiento en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., que representa a las condiciones de Transición – Altura.

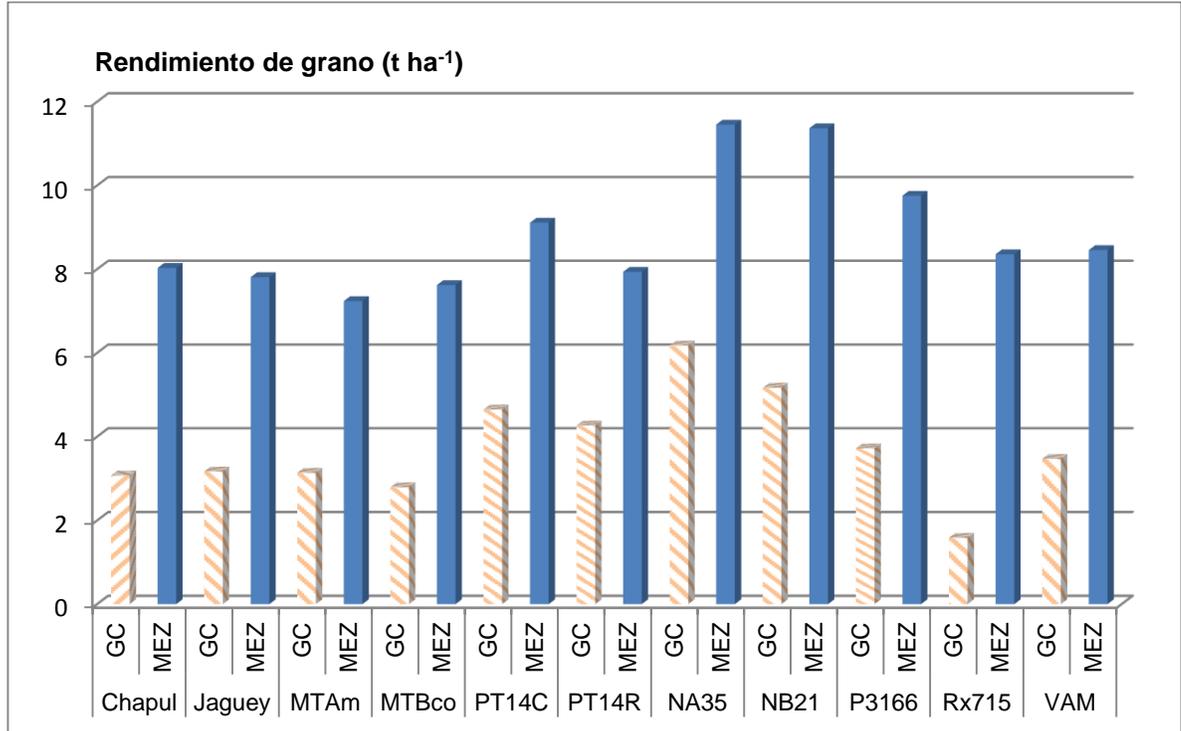


Figura 1. Respuesta ambiental de seis poblaciones de maíz y testigos incluidos en la evaluación en 2015. GC = General Cepeda, Coah.; MEZ= El Mezquite, Galeana, N. L.

Las poblaciones adaptadas a las áreas de altura del grupo racial Cónico Norteño (Chapul, Jaguey, MTAm y MTBco) tuvieron un abatimiento en el rendimiento de grano de 60.1 % en General Cepeda, Coah. Por otro lado, las poblaciones PT14C y PT14R de áreas intermedias (grupos raciales Celaya y Ratón, respectivamente), tuvieron rendimientos promedio aceptables en las localidades de General Cepeda, Coah. (4.7 y 4.3 t ha⁻¹) y El Mezquite, Galeana, N. L. (9.1 y 7.9 t ha⁻¹). Lo anterior sugiere que estas dos poblaciones pueden ser utilizadas en selección *per se* o en combinaciones genéticas con materiales de valles altos, con propósitos de selección y adaptación para mitigar los cambios en las condiciones ambientales.

Interacción genotipo x ambiente (G x A)

La diferencia entre poblaciones (Cuadro 4), así como la variación dentro de familias en cada población (Cuadro 3) y con propósitos de realizar una selección de genotipos (familias), se realizó un análisis de dispersión gráfica aplicando el modelo AMMI.

Modelo AMMI

El Modelo de la Interacción de Efectos Aditivos Principales y Multiplicativos (AMMI), es una técnica tradicional y eficiente de análisis donde es imprescindible visualizar a detalle las características de interacción genotipo x ambiente (Zobel *et al.*, 1988).

La Figura 2 muestra la dispersión gráfica de las 25 familias de medios hermanos de la población Chapultepec (Chapul) en base a su rendimiento de grano, lo que permite identificar aquellas familias que interactúan positivamente con los ambientes de las dos localidades y los que no interactúan que puede interpretarse como comportamiento promedio.

Las dos localidades son diferentes en clima y altitud (Cuadro 2) y representativos de las condiciones ambientales del sureste de Coahuila. Con el fin de aplicar el modelo AMMI se moduló la interacción genotipo x ambiente usando cada repetición como ambientes diferentes.

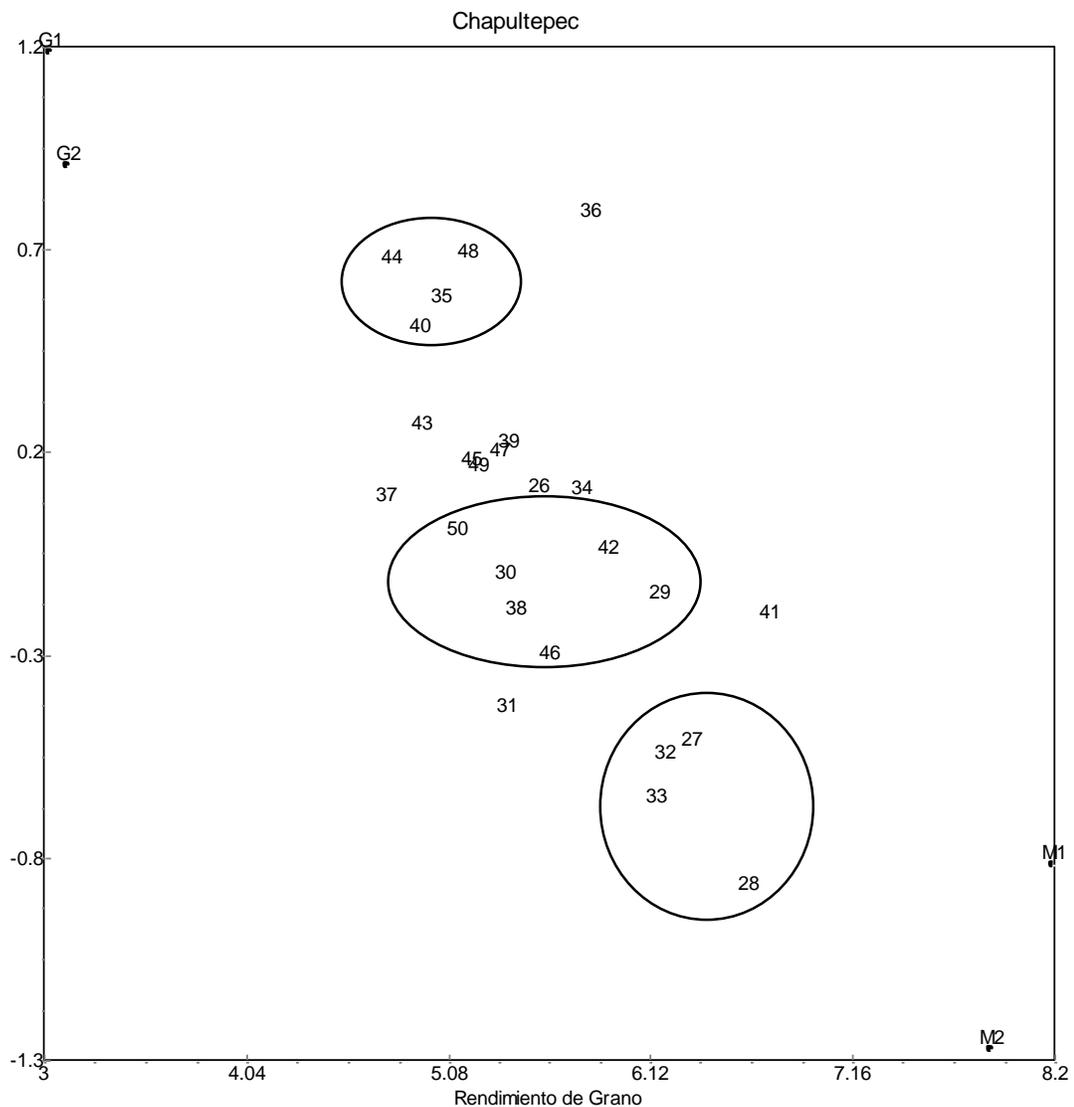


Figura 2. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población Chapul en base a su rendimiento en grano.

En la Figura 2 se puede identificar familias con mayor rendimiento promedio de grano (valores positivos al eje de la abscisa) y los de menor rendimiento con los valores negativos. En el eje de la ordenada se presenta el primer componente de la interacción (CP1) el cual indica los efectos de interacción, así como aquellos con un comportamiento similar en cada ambiente. Las familias que no interactúan con ambos ambientes se consideran

sin interacción y se localizan en la parte central de la proyección entre ambientes.

Por ejemplo, las familias 50 y 42 tienen diferencia en rendimiento de grano, pero no interactúan con las dos localidades y bajo este concepto pueden ser estables. Las familias 29 y 28 difieren en rendimiento pero también en la interacción, donde la familia 28 correlaciona positivamente con los ambientes de El Mezquite. En el lado opuesto, la familia 29 y 44 difieren en el rendimiento de grano y en la interacción dado que la familia 44 correlaciona con los dos ambientes de la localidad de General Cepeda.

De acuerdo a la Figura 2, se puede identificar tres agrupaciones de genotipos dentro de la población Chapul: En el primer grupo se encuentran las familias con adaptación a El Mezquite, Galeana N.L. con los números 27, 28, 32 y 33, en lo que respecta a la adaptación a General Cepeda, Coah., se encuentran las familias 35, 40, 44, y 48. Las familias sin interacción se identifican con los números 29, 30, 34, 38, 42, y 50.

La población Chapultepec (Chapul) representa a una población de Valles altos, por lo tanto, es importante la selección de las familias con estabilidad (sin interacción), además de identificar aquellas familias sobresalientes en la localidad El Mezquite con posibilidades de adaptación a posibles efectos del cambio climático.

En esta sección sólo se discutió la interpretación de la Figura 2. En el resto de las poblaciones sólo se identificaron las familias aplicando el mismo procedimiento y las Figuras correspondientes se presentan en el Apéndice.

El patrón de las repeticiones (ambientes) en las dos localidades analizado en la Figura 2, sólo se repitió en la población PT14C (Figura A 4 del Apéndice). La inconsistencia de los ambientes dentro de localidades se interpreta como la respuesta de las familias de cada población.

Para lograr el objetivo de selección de familias de cada población con adaptación a las localidades en evaluación y selección de aquellas familias sin interacción a ambas localidades, los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Selección de familias de cada población con adaptación a El Mezquite, Galeana N. L. y General Cepeda, Coah. y familias sin interacción evaluados en 2015.

Población	El Mezquite, Galeana N.L.	General Cepeda, Coah.	Sin interacción
Chapul	27, 28, 32 y 33	35, 40, 44 y 48	29, 30, 34, 38, 42 y 50
Jagüey	3, 4, 10 y 23	15, 18 y 19	1, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 21 y 24
MTAm	60, 66 y 72	54, 55, 58, 63, 64, 68, 71 y 74	59, 61, 62, 65, 70 y 75
MTBco	86, 95 y 100	77, 81, 92 y 93	80, 87, 91, 97 y 98
PT14C	02, 10, 13, 20, 22 y 24	01, 03, 06, 15, 16 y 17	04, 08, 09, 11, 14, 18 y 19
PT14R	03, 04, 06, 08, 10, 15 y 21	09, 12, 17, 20 y 25	07, 11, 14, 18, 22 y 24

Las familias identificadas pueden utilizarse para la recombinación genética dentro de poblaciones y obtener con esto, una población mejorada. En el caso de las poblaciones de valles altos (Chapul, Jagüey, MTAm y MTBco), es de interés tanto las familias que se adaptan a la localidad de El Mezquite como aquellas con un comportamiento promedio (sin interacción) a través de ambientes.

En el caso de las dos poblaciones de origen intermedio (PT14C y PT14R) que corresponden a las razas Celaya y Ratón, respectivamente, son importantes las familias identificadas en la localidad El Mezquite y las que no

tienen interacción. Lo anterior puede ser de utilidad para obtener germoplasma mejorado con amplia adaptación y con posibilidades de mitigar los cambios al ambiente de Valles altos por efectos del cambio climático.

CONCLUSIONES

- Las poblaciones intermedias PT14C y PT14R de las razas Celaya y Ratón tuvieron un comportamiento sobresaliente en relación a las poblaciones de Valles altos con 6.88 y 6.10 t ha⁻¹ respectivamente.
- Se logró identificar familias dentro de cada población con comportamiento promedio a través de ambientes, así como aquellas familias con adaptación específica a cada localidad de evaluación.
- El potencial de rendimiento de las poblaciones intermedias (PT14C y PT14R) y la identificación de familias con un comportamiento estable son prospectos para el mejoramiento genético con posibilidades de mitigar cambios en el ambiente de Valles altos.

BIBLIOGRAFÍA

- COFUPRO. 2015. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A. C. Disponible en línea <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26859> (Verificado en Julio de 2016).
- Falconer D. S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Traducido al español por Fidel Márquez Sánchez. Primera edición. Compañía editorial continental, S. A. México, D. F.
- Greulach V. A. y J. Edison A. 1970. Plantas: Introducción a la botánica moderna. Editorial Limusa, S. A. de C. V. México D. F. Primera edición.
- IRRI. 2007. CropStat for Windows, versión 7.2. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos, R. A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa: (algunas implicaciones en Genotécnia). A. G. T. Editor, S. A. Primera edición. México, D. F. 349 p.
- Nájera C., L. A., F. Rincón S., N. A. Ruiz Torres y F. Castillo G. 2010. Potencial de Rendimiento de Poblaciones Criollas de Maíz de Coahuila, México. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 33 (Núm. Especial 4): 31 – 36, 2010.

- Nelson, G. C., M. W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing y D. Lee. 2009. Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Reporte Política Alimentaria. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) Washington, D.C.
- Ortega C., A., M. J. Guerrero H. y R. E. Preciado O. 2013. Diversidad y Distribución del Maíz Nativo y sus Parientes Silvestres en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera Edición, 2013. México, D. F. 263 p.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. 2010. Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Primera Edición, 2010. Chapingo, México. 116 p.
- Rincón S., F., N. A. Ruíz T., J. M. Martínez R. y L. C. Espinosa T. 2015. Respuesta ambiental de poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Acta Fitogenética Vol. 2, Núm. 1. pp: 41-42.
- Rincón S., F., N. A. Ruíz T., R. Cuellar F. y F. Zamora C. 2014. 'Jaguan', variedad criolla mejorada de maíz para áreas de temporal del sureste de Coahuila, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 37 (4): 403 – 405.
- SAGARPA. 2013. Agricultura de autoconsumo. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea: <http://www.gob.mx/sagarpa>.
- SAGARPA-SIAP. 2015. Producción agrícola anual. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea: <http://www.siap.gob.mx/>.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.

Zobel R., W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of yield data. *Agron. J.* 80: 388-393.

APÉNDICE

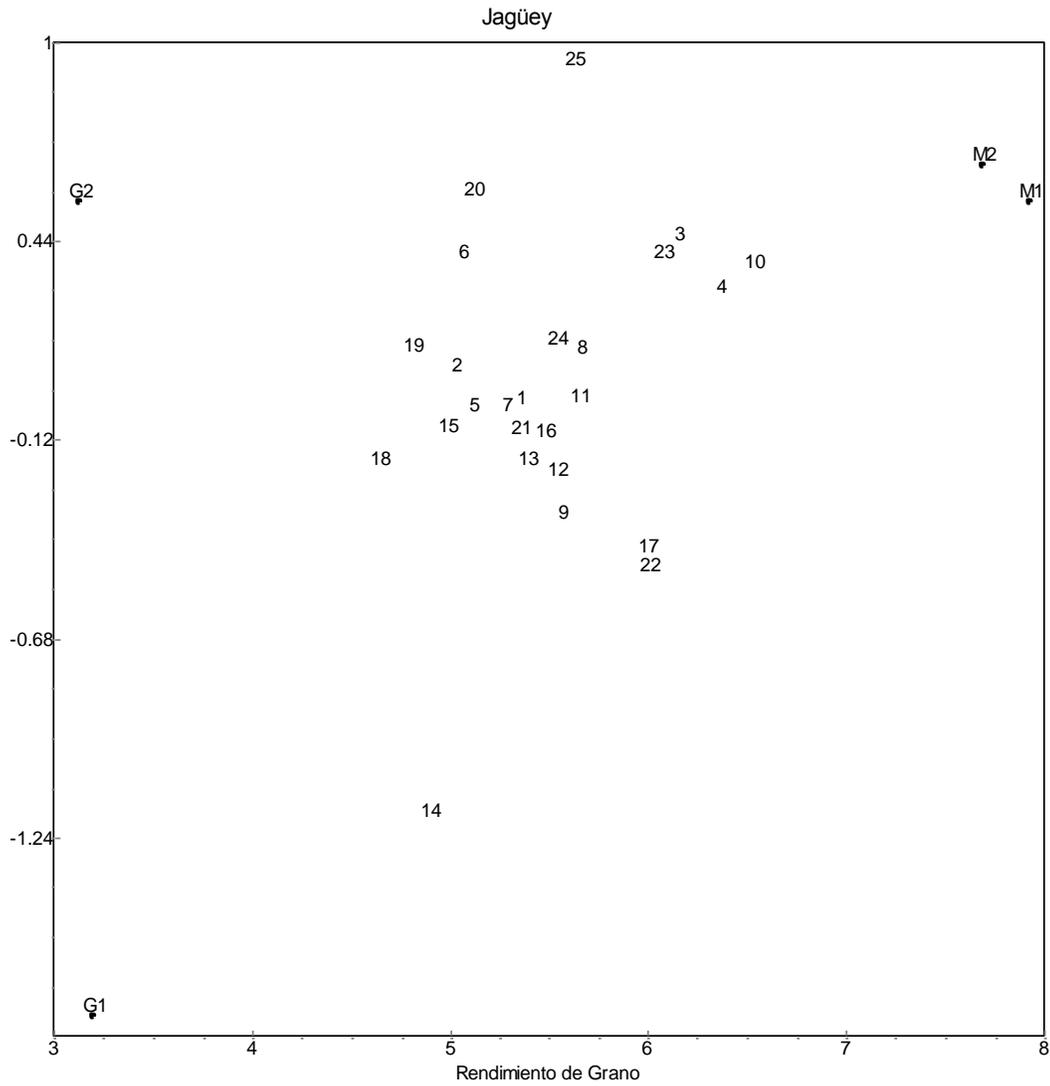


Figura A 1. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población Jagüey, con base a su rendimiento en grano.

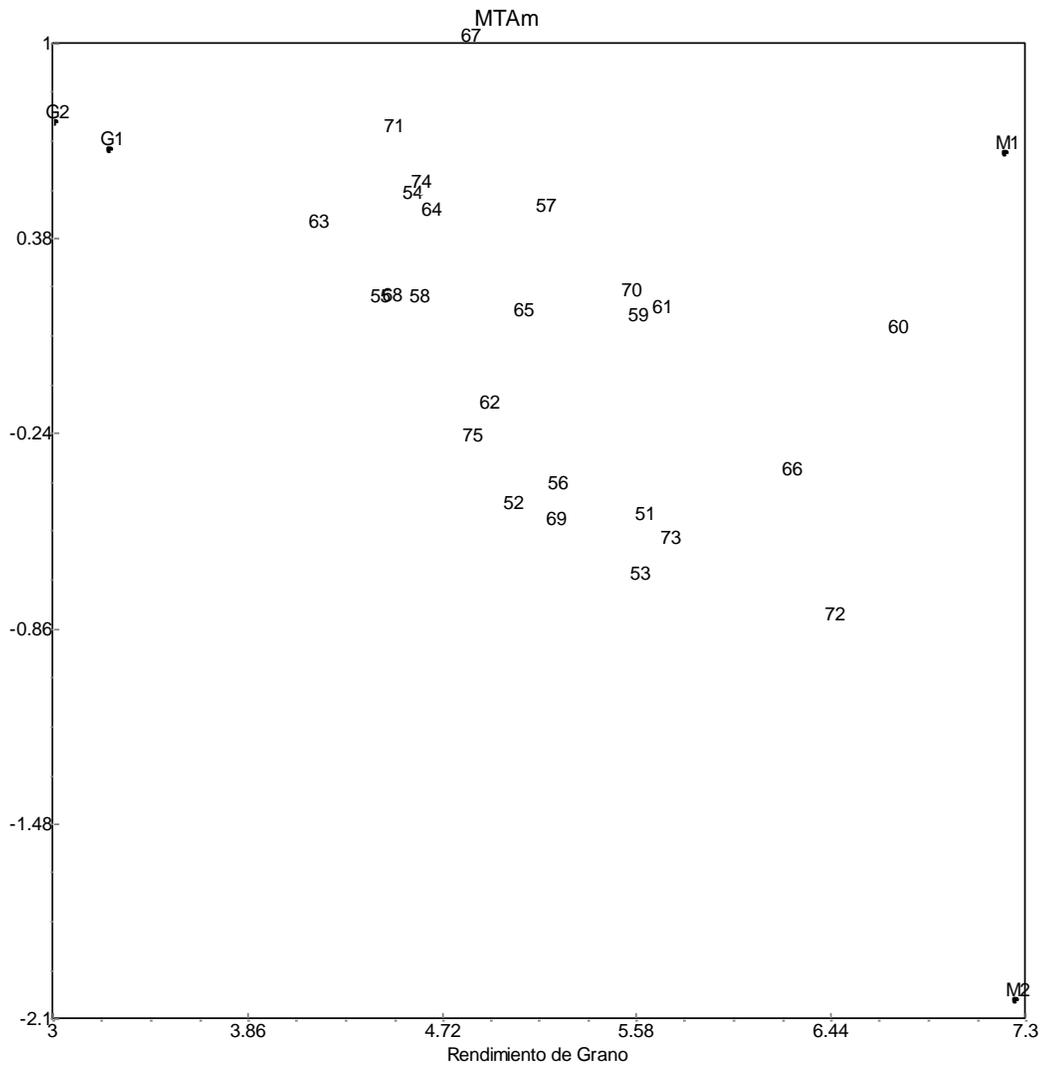


Figura A 2. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población MTAm con base a su rendimiento en grano.

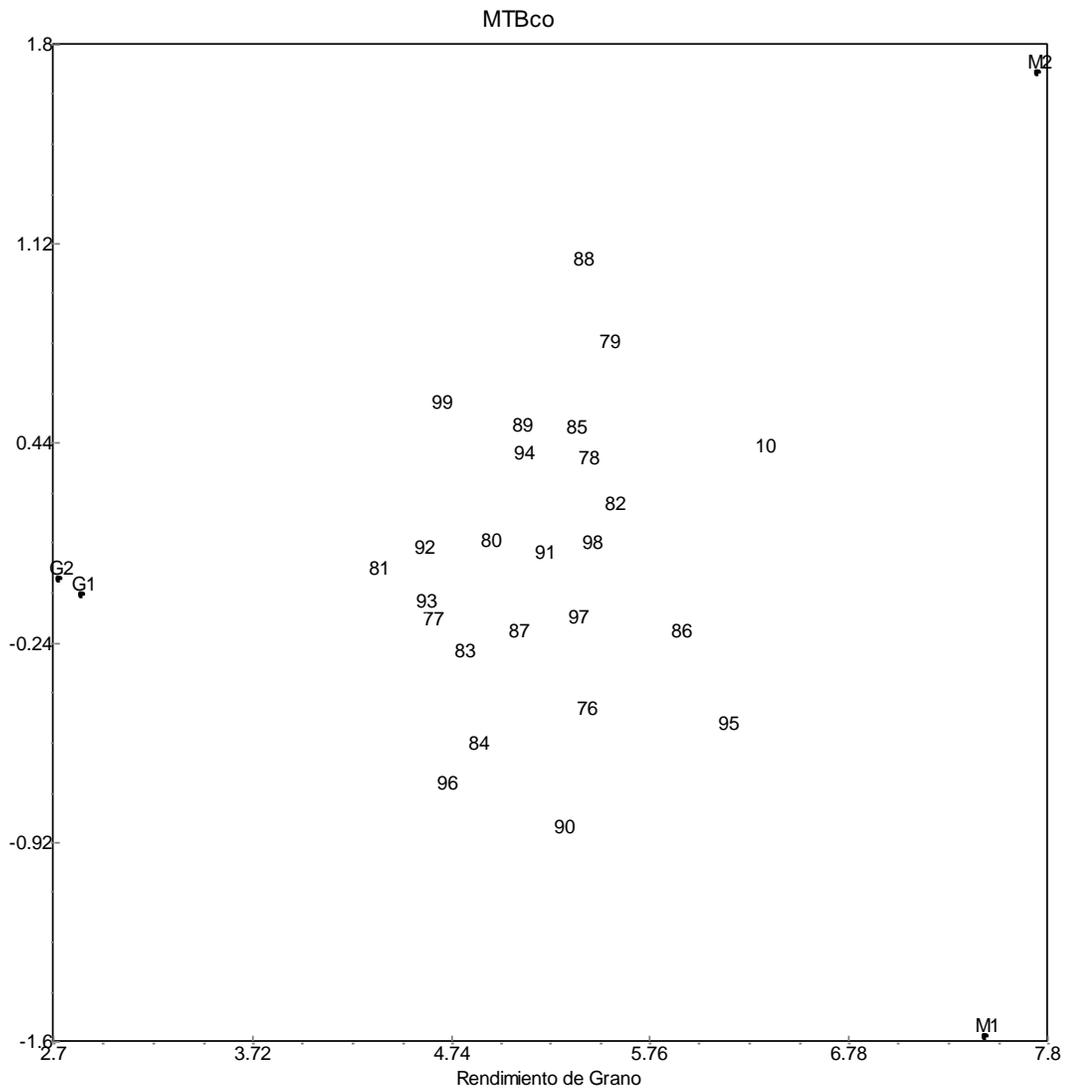


Figura A 3. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población MTBco con base a su rendimiento en grano.

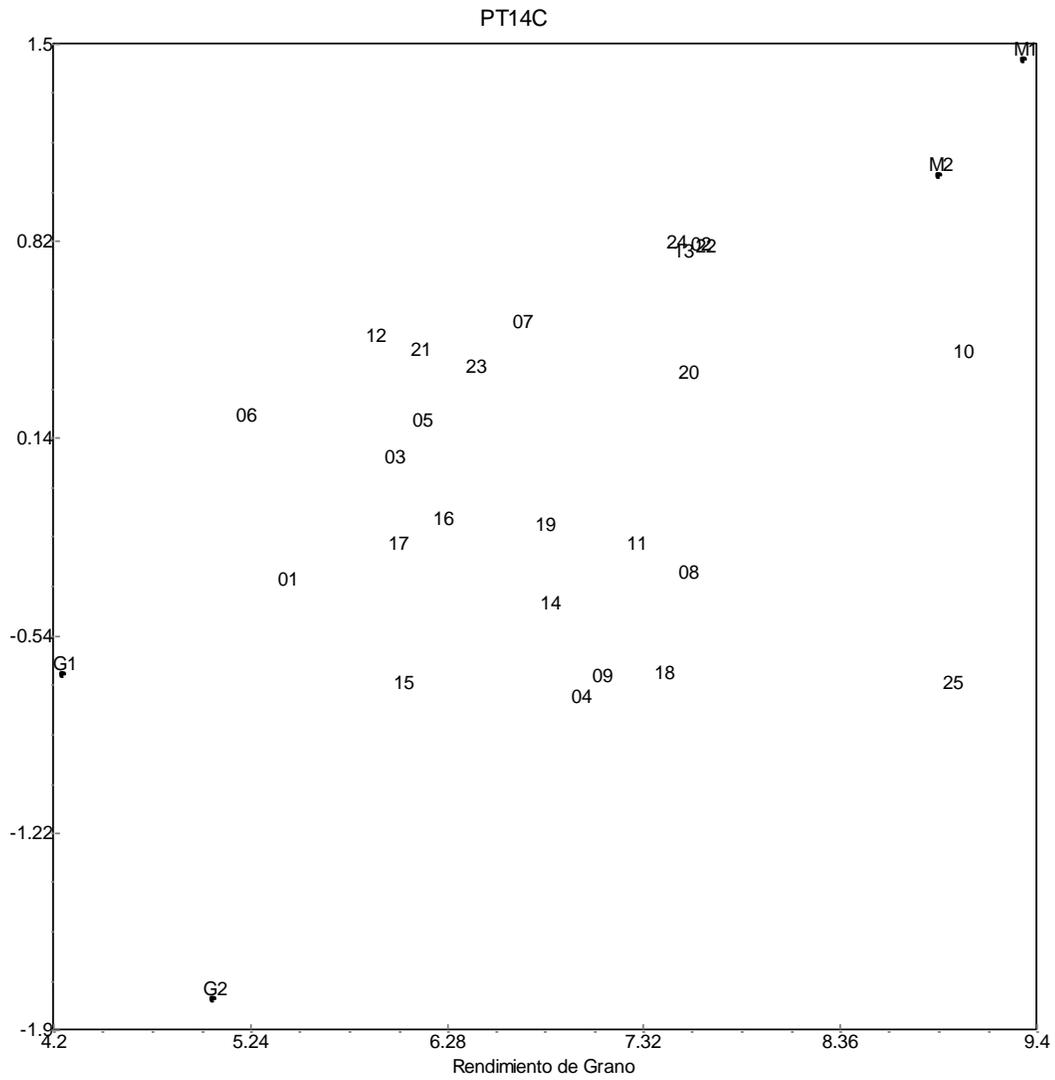


Figura A 4. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población PT14C, con base a su rendimiento en grano.

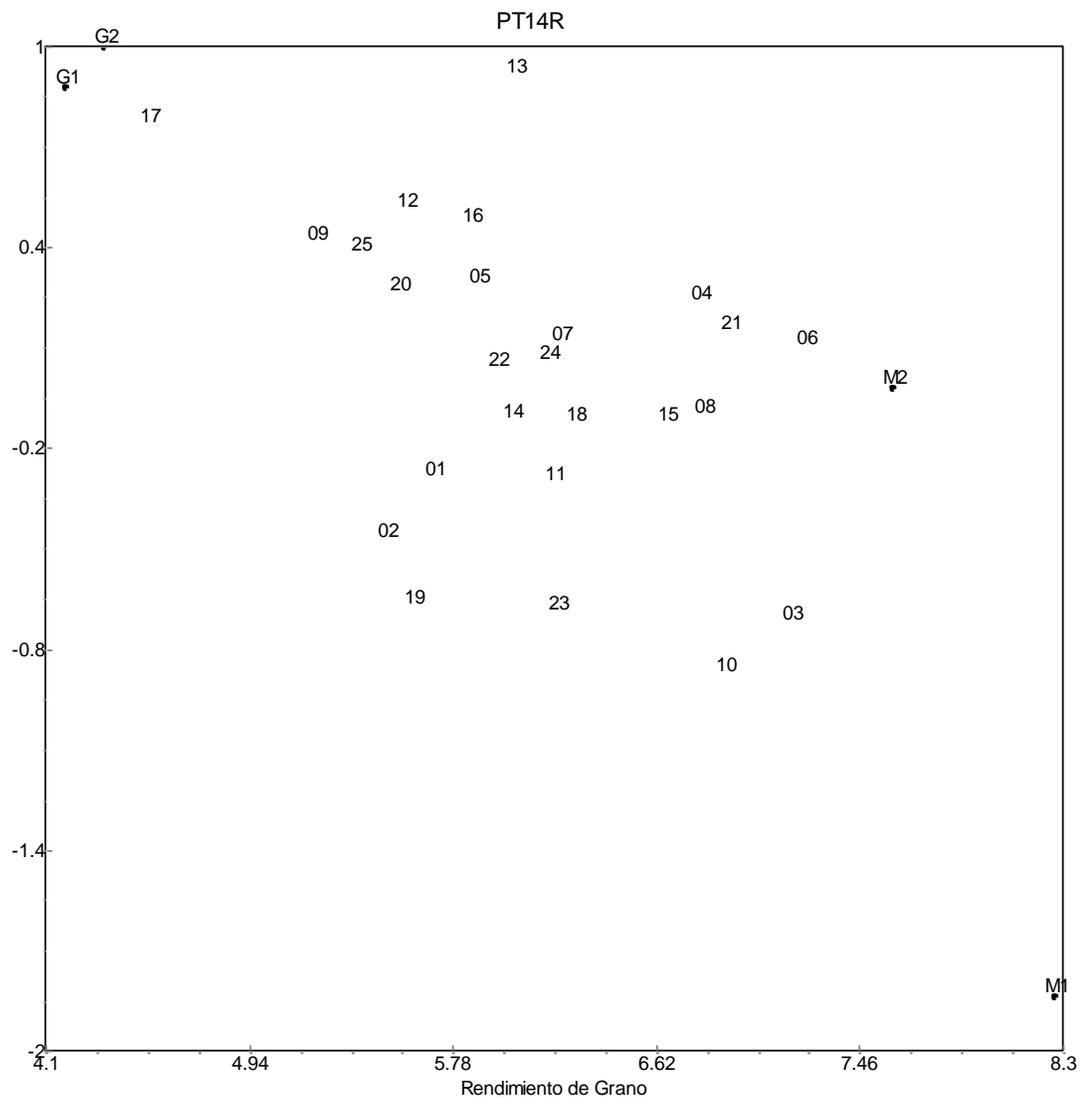


Figura A 5. Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo x ambiente de las 25 familias de la población PT14R, con base a su rendimiento en grano.