



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA



EVALUACIÓN AGRONÓMICA E INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE
EN POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA JALA

JESÚS ASUNCIÓN LÓPEZ GUZMÁN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN AGRONÓMICA E INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA JALA**, realizada por el alumno: **JESÚS ASUNCIÓN LÓPEZ GUZMÁN** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

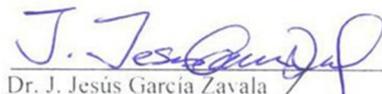
MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

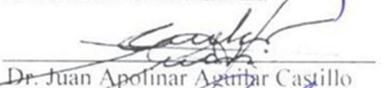
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. J. Jesús García Zavala

ASESOR


Dr. Juan Apolinar Aguirre Castillo

ASESOR


Dr. Ricardo Lobato Ortiz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Pueblo Mexicano y al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por apoyarme en la realización de mis estudios de Postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados**, especialmente al Postgrado de **Recursos Genéticos y Productividad-Genética**, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Dr. **J. Jesús García Zavala**, por el apoyo para la elaboración de esta investigación, por su valiosa e incondicional enseñanza, orientación, sugerencias y apoyo recibido durante la dirección y corrección de esta investigación.

Al Dr. **Juan Apolinar Aguilar Castillo**, por su amistad, confianza depositada en mi persona, orientación para mi formación académica y tiempo dedicado en la revisión de esta investigación.

Al Dr. **Ricardo Lobato Ortiz**, por sus atinados consejos, motivación, revisión y correcciones, las cuales permitieron mejorar la presente investigación.

Al Dr. **Gregorio Alvarado Beltrán**, por su colaboración en los análisis estadísticos.

Al Ing. **Antonio Rojas**, por su apoyo para sembrar, cosechar y toma de datos.

Al Equipo de Trabajo de Campo del CP, **Sres. Carlos y Avelino Espinoza Ramírez**, por su apoyo en el experimento de la localidad Montecillo.

Al M.C. **Patricio Sánchez Guzmán**, por su invaluable apoyo con los análisis de muestras de suelo de los sitios de evaluación.

A mis profesores de Genética, a las secretarías (**Dalila y Norma**), a mis compañeros y amigos, en especial a los de Genética, que de alguna u otra manera hicieron posible la realización de esta investigación.

DEDICATORIAS

A mis padres **J. Asunción López Santana[†]** y **Berta Alicia Guzmán Aguilar** que con cariño, comprensión, dedicación, sacrificio y esmero han sabido mostrarme como debe comportarse una persona de buenas costumbres, gracias a cada uno de sus sabios y cálidos consejos.

A mis hermanos **Francisco y Martina** por su motivación y apoyo brindado en el transcurso de mi vida.

A todos mis seres queridos, por ser mi inspiración.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN GENERAL.....	ix
GENERAL SUMMARY.....	xi
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA JALA.....	5
RESUMEN.....	5
SUMMARY.....	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	7
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.2.1 Caracteres agronómicos.....	9
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
2.4 CONCLUSIONES.....	19
2.5 LITERATURA CITADA.....	20
III. ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE MAÍZ DE LA RAZA JALA.....	23
RESUMEN.....	23
SUMMARY.....	24
3.1 INTRODUCCIÓN.....	25
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.2.1 Caracteres agronómicos.....	30
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.3.1 Rendimiento de Grano por Planta (RGp, g).....	32
3.3.2 Longitud de Mazorca (LMZ, cm).....	39
3.4 CONCLUSIONES.....	45
3.4.1 Rendimiento de Grano por Planta (RGp, g).....	45
3.4.2 Longitud de Mazorca (LMZ, cm).....	46

3.5 LITERATURA CITADA.....	46
IV. DISCUSIÓN GENERAL.....	49
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	51
VI. LITERATURA CITADA GENERAL.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
	CAPÍTULO II	
Cuadro 1	Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades de evaluación de las 14 poblaciones de maíz de la raza Jala. 2012.....	9
Cuadro 2	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 11 caracteres medidos en 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluadas en cinco localidades.....	12
Cuadro 3	Comparación de medias (Tukey $\alpha= 0.05$ de probabilidad) de 11 variables de 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluadas en cinco localidades.....	14
Cuadro 4	Longitud de mazorca en promedio de poblaciones y de ambientes.....	17
Cuadro 5	Rendimiento de grano por planta (g) para poblaciones y ambientes.....	19
	CAPÍTULO III	
Cuadro 6	Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades donde se evaluaron las 14 poblaciones de maíz de la raza Jala. 2012.....	29
Cuadro 7	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para longitud de mazorca (LMZ) y rendimiento de grano por planta (RGp) en 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluados en cinco localidades.....	32
Cuadro 8	Análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano por planta de 14 poblaciones de maíz raza Jala evaluadas en 5 ambientes durante el periodo 2012.....	33
Cuadro 9	Rendimiento medio de peso de grano por planta y valores de CP de 14 poblaciones evaluados en 5 ambientes durante el periodo de 2012.....	34
Cuadro 10	Análisis de varianza AMMI para longitud de mazorca de 14 poblaciones de maíz raza Jala evaluadas en 5 ambientes durante el periodo 2012.....	39

Cuadro 11	Longitud de mazorca en promedio de poblaciones y de ambientes y valores de CP de las 14 poblaciones evaluadas en 5 ambientes durante el periodo de 2012.....	40
-----------	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	CAPÍTULO III	Pág.
Figura 1	Representación gráfica del CP1 en función del rendimiento de grano por planta (g) promedio de 14 poblaciones evaluadas en cinco localidades.....	35
Figura 2	Biplot AMMI para 14 poblaciones. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores las localidades.....	37
Figura 3	Biplot SREG para 14 poblaciones de maíz. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores a las localidades.....	38
Figura 4	Representación gráfica del CP1 en función de la longitud de mazorca promedio de 14 poblaciones evaluadas en cinco localidades.....	42
Figura 5	Biplot AMMI para 14 poblaciones. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores las localidades.....	43
Figura 6	Biplot SREG para 14 poblaciones de maíz. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores a las localidades.....	44

RESUMEN GENERAL
EVALUACIÓN AGRONÓMICA E INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN
POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA JALA

Jesús Asunción López Guzmán, M. C.

Colegio de postgraduados, 2013

La raza Jala de maíz (*Zea mays* L.) es una de las más importantes de México. Ésta ha sido cultivada durante siglos en el Valle de Jala, Nayarit, y su mazorca se reconoce mundialmente como la de mayor tamaño; no obstante, esta raza ha sufrido “erosión genética” grave que le ha provocado una reducción en longitud de mazorca y producción de grano. Para contribuir a su conservación y mejoramiento genético, en este trabajo se estudiaron su potencial productivo (RGp) y atributos agronómicos, en especial la longitud de mazorca (LMZ). Por otro lado, los productores citan con frecuencia la confianza que tienen en los maíces criollos por ser opciones resistentes y predecibles en su comportamiento agronómico, en comparación con las variedades “modernas” producto del mejoramiento formal. En este sentido, los estudios de la interacción genotipo-ambiente proveen información sobre el comportamiento de cada genotipo frente a variaciones ambientales. Con el objetivo de hacer una evaluación agronómica del maíz raza Jala y de estudiar su interacción genotipo por ambiente para RGp y LMZ, en este trabajo se evaluaron 14 poblaciones, de las cuales cinco fueron colectas de la región de Jala, siete fueron poblaciones semimejoradas, y dos fueron híbridos varietales con 50 % de germoplasma de Jala. El experimento se estableció bajo condiciones de temporal o secano en cinco localidades: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, y Xalisco, Nayarit, y Colegio de Postgraduados, Estado de México, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis de varianza combinado detectó significancia ($p \leq 0.01$) entre poblaciones y entre localidades para RGp y LMZ. La interacción Loc x Pob resultó significativa solamente para

RGp. La población P5 tuvo un promedio de LMZ de 20.6 cm, y un promedio de RGp de 131 g, por lo que ésta representa una buena base genética para intentar recuperar la longitud de mazorca y mejorar el rendimiento de grano en la raza Jala mediante selección recurrente. Por otro lado, la población que presentó menor interacción fue P3, y la que contribuyó más a la misma fue P5. Para rendimiento de grano por planta el modelo Biplot GGE-SREG identificó a la población UAN-2010 como la de mayor adaptación. En tanto que para longitud de mazorca el modelo Biplot GGE-SREG se identificó a la población P3 como la mejor. La localidad que mejor discriminó a los genotipos fue San José de Mojarras, y donde mejor rindieron los genotipos fueron L1 y L4. No se encontró una población que tuviera alta capacidad de adaptación tanto para rendimiento de grano por planta como para longitud de mazorca.

Palabras clave: *Zea mays* L., interacción genotipo por ambiente, poblaciones, raza Jala, rendimiento, longitud de mazorca, biplot.

GENERAL SUMMARY
AGRONOMIC EVALUATION AND GENOTYPE x ENVIRONMENT INTERACTION
IN MAIZE POPULATIONS OF THE JALA RACE

Jesús Asunción López Guzmán, M. C.

Colegio de postgraduados, 2013

The Jala race of maize (*Zea mays* L.) is one of the most important maize races in México. For centuries, this race has been exclusively cultivated in the Jala Valley in Nayarit, Mexico. The Jala ear has been worldwide recognized as the largest one, but nowadays this race has undergone severe genetic erosion which has caused it a great reduction in ear length and yield production. In order to contribute to its conservation and genetic improvement, in this work it was studied its yield potential (RGp) and agronomic attributes, specially the ear length (LMZ). On the other hand, small farmers in México frequently quote the confidence they have in cultivating landraces of maize, as this type of materials are resistant to adverse factors and have a predictable agronomic performance in comparison with the modern maize varieties generated by conventional plant breeding. In this regard, genotype x environment interaction studies provide information about the performance of each genotype in front of environmental fluctuations. In order to agronomically evaluate the Jala race of maize and to study its genotype x environment interaction for RGp and LMZ, in this work we evaluated 14 populations, from which five populations were collections from the Jala region, seven populations were semi-improved populations, and two populations were intervarietal hybrids containing 50% of Jala germplasm. The experiment was carried out under rainfall conditions at five locations: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, and Xalisco, State of Nayarit, and the Colegio de Postgraduados, State of México. A randomized complete block design with three blocks was used in each location. Results showed significance among populations and among locations for

the two traits. The interaction Locations x Populations was significant only for RGp. Population P5 had an average of 20.6 cm for LMZ and yielded (RGp) on average 131 g, therefore it is a good genetic population to be used to try recovering the typical Jala ear size and to improve its grain yield by recurrent selection. On the other hand, Population P3 had the smallest contribution to the interaction for RGP and LMZ, whereas population P5 had the largest one. The Biplot GGE-SREG identified to population UAN-2010 as the one having the largest adaptation for RGp and to population P3 as the one having the largest adaptation for LMZ. The environment that better discriminated the genotypes was San Jose de Mojarras, and the best environments for RGp were L1 and L4. No population was found to have a high capacity of adaptation for both RGp and LMZ.

Index words: *Zea mays* L. genotype x environment interaction, populations, Jala race, grain yield, ear length, biplot.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) en México se mantiene primordialmente gracias a la prevalencia y al uso de esta gramínea en las comunidades rurales e indígenas. Así, las razas de maíz nativo en México generan su propia dinámica fundamental por la selección natural y por la selección de los agricultores. Sin embargo, en la actualidad los maíces nativos como polos fitogenéticos de biodiversidad se ven amenazados de forma creciente por factores bióticos, abióticos, socioeconómicos, políticos y comerciales, entre otros (Vidal *et al.*, 2010).

Gran parte de la diversidad genética del maíz está concentrada en el continente Americano, principalmente en México. Ahí, el maíz es consumido en múltiples formas, como tortillas, pinole, atoles, tostadas, tamales, elotes, pozole, entre otros alimentos (Figuroa *et al.*, 2005).

En muchas regiones de México los agricultores que cultivan variedades locales o criollas de maíz en forma tradicional, contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad genética *in situ* del cultivo (Bommer, 1991). Los productores tradicionalmente mantienen las variedades locales al reproducirlas de una generación a otra, llegando a formar nuevos tipos, variedades o razas (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982).

El concepto de raza puede definirse como el número de variedades que comparten características suficientes para identificarlas como un grupo; desde el punto de vista genético, raza se refiere a un grupo de individuos con un conjunto significativo de genes en común (Anderson y Cutler, 1942).

Actualmente se considera que existen en el continente americano entre 220 y 300 razas de maíz (Brown y Goodman, 1977); en México, según diferentes autores e instituciones, se salvaguardan entre 41 (Ortega *et al.*, 1991), 59 (Sánchez *et al.*, 2000) o 65 razas (LAMP, 1991).

Una de las razas de maíz más importantes en México, por sus características únicas, es la raza Jala; esta ha sido cultivada en el Valle de Jala, Nayarit, México, durante siglos (Aguilar-Castillo *et al.*, 2006; CIMMYT, 2007), en una superficie no mayor de 30 ha, lo cual permite conocer los cambios genéticos y fenotípicos durante periodos cortos en una sola área geográfica. La mazorca de este maíz se reconoce mundialmente como la de mayor tamaño, llegando a medir hasta 60 cm de longitud; sin embargo, su planta es de gran altura, con más de 5 m (Rice *et al.*, 2006), y muy tardía a la cosecha (siete u ocho meses).

Es reconocido que los productores conservan la diversidad del cultivo por razones sociales, económicas y culturales, o cuando las variedades locales muestran un comportamiento agronómico superior al de las variedades mejoradas (Bellon, 1996; Perales *et al.*, 2003).

En cuanto al comportamiento agronómico, los productores citan con frecuencia la confianza que tienen en los maíces criollos por ser opciones resistentes y predecibles, en comparación con las variedades “modernas”, producto del mejoramiento formal (Arellano y Arriaga-Jordán, 2001).

En lugares donde se cultivan las variedades mejoradas que han sido identificadas como superiores en condiciones experimentales, en realidad pueden rendir menos bajo las condiciones de cultivo de los productores, debido a las interacciones genotipo x ambiente que no se manifiestan en los datos recogidos en las parcelas experimentales, o debido a las prácticas de cultivo propias del productor, las cuales suelen ser diferentes a las que se practican en los campos experimentales (Ceccarelli, 1994; Bellon *et al.*, 2005).

La interacción genotipo x ambiente ocurre universalmente y es impredecible en sus efectos; es por eso que la evaluación de variedades debe ser hecha en una diversidad de ambientes combinando el rendimiento y la estabilidad del comportamiento de las mismas, esto para usarse

como un criterio de selección y poder hacer más completo, eficiente, y preciso el proceso de selección (Kang, 1993). Sin embargo, es claro que algunos investigadores, más que la estabilidad, que frecuentemente sacrifica por su propia naturaleza parte del rendimiento, buscan identificar aquellos materiales que, aunque no estables, aprovechen al máximo los elementos de los ambientes disponibles en los cuales se cultiva maíz (Espinoza, 1997).

Los estudios de la interacción genotipo-ambiente proveen información sobre el comportamiento de cada genotipo frente a variaciones ambientales. Por esto, se realizan análisis de estabilidad y adaptabilidad fenotípica, mediante los cuales es posible identificar cultivares de comportamiento relativamente previsibles (Rueda y Cortes, 2009). Al respecto, Livera 1979, señala que la adaptabilidad es una propiedad por la cual los organismos que la poseen sobreviven y se reproducen en ambientes fluctuantes. Además, que la adaptabilidad es una habilidad genética que resulta en la estabilización de las interacciones genético-ambientales por medio de reacciones genéticas y fisiológicas de los organismos, y que este carácter ha sido heredado por estos a través del proceso evolutivo, considerando que puede ser controlado genéticamente por caracteres simples.

En los maíces criollos en México se observa que la adaptabilidad tiene dos sentidos: adaptación vertical y adaptación horizontal; puede considerarse la primera como aquella que presenta variedades muy rendidoras en su localidad y poco productiva en otras, y la segunda presenta variedades rendidoras en localidades diferentes (Muñoz *et al.*, 1976). Lo anterior significa que adaptación horizontal podría ser sinónimo de adaptabilidad o adaptación general, y adaptación vertical semejante a los conceptos de adaptación específica o adaptabilidad específica.

Por su parte, Pham *et al.* (1989) mencionan que un genotipo es generalmente considerado estable si su rendimiento de grano varía poco de año en año en una dada localidad, o varía poco a través de localidades dentro de un “mega-ambiente” al cual el genotipo está adaptado en un sentido amplio. Para Coutiño y Vidal (2003), el deseo del fitomejorador es obtener cultivares estables con buen rendimiento en todas las condiciones de la región de interés. Por ello consideran benéfico que se incorpore la estabilidad en los programas de mejoramiento genético, con énfasis en la selección final de cultivares potencialmente comerciales. En este sentido, Babic *et al.* (2006) mencionan que tanto la estabilidad y rendimiento pueden ser considerados simultáneamente en el mejoramiento genético con el fin de reducir el efecto de la interacción GxA y así seleccionar genotipos más rendidores y que respondan bien a los cambios de los efectos ambientales.

Por lo anteriormente señalado, los objetivos de esta investigación fueron: a) evaluar agronómicamente 14 poblaciones de maíz de la raza Jala para estudiar su rendimiento de grano y longitud de mazorca, entre otros caracteres, b) estudiar la interacción GxA de las poblaciones para los caracteres estudiados, y c) evaluar la adaptabilidad y estabilidad con énfasis en rendimiento de grano por planta y longitud de mazorca por los métodos AMMI y SREG.

II. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA JALA

RESUMEN

La raza Jala de maíz (*Zea mays* L.) es una de las más importantes de México. Ésta ha sido cultivada exclusivamente en el Valle de Jala, Nayarit, en una superficie no mayor a 30 ha, y su mazorca se reconoce mundialmente como la de mayor tamaño (hasta 60 cm de longitud); no obstante, ha sufrido “erosión genética” grave que le ha provocado una reducción en longitud de mazorca y producción de grano. Para contribuir a su conservación y mejoramiento genético, en este trabajo se estudiaron su potencial productivo y atributos agronómicos, en especial la longitud de mazorca (LMZ). Se evaluaron 14 poblaciones, de las cuales cinco fueron colectas de la región de Jala, siete fueron poblaciones semimejoradas, y dos fueron híbridos varietales con 50 % de germoplasma de Jala. El experimento se estableció bajo condiciones de temporal o seco en cinco localidades: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, y Xalisco, Nayarit, y Colegio de Postgraduados, Estado de México, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Hubo significancia entre poblaciones y entre localidades para todas las variables; para Localidades x Poblaciones hubo significancia para 9 variables. Entre localidades, la LMZ varió de 17.7 a 20.7 cm, y entre poblaciones de 17.1 a 20.8 cm. El mayor rendimiento de grano por planta lo tuvieron la población P5 y el ambiente A4, con 267 g (18.6 t ha⁻¹) y 157 g (10.9 t ha⁻¹), respectivamente. La población P5 presentó la mayor LMZ (22.9 cm), pero ninguna de las poblaciones tuvo la LMZ característica de la raza Jala, por lo que se propone aumentar ésta mediante la selección recurrente de mazorcas largas. En contraparte, se identificaron poblaciones y ambientes con alta capacidad de rendimiento de grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., longitud de mazorca, raza Jala, rendimiento de grano.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF MAIZE POPULATIONS OF THE JALA RACE

SUMMARY

The Jala race of maize (*Zea mays* L.) is one of the most important maize races in México. This race has been exclusively cultivated in a land surface of less than 30 ha in the Jala Valley in Nayarit, Mexico. The Jala ear has been worldwide recognized as the largest one (up to 60 cm length), but nowadays this race has undergone severe genetic erosion which has caused it a great reduction in ear length and yield production. In order to contribute to its conservation and genetic improvement, in this work it was studied its yield potential and agronomic attributes, specially the ear length (LMZ). We evaluated 14 populations, from which five populations were collections from the Jala region, seven populations were semi-improved populations, and two populations were intervarietal hybrids containing 50% of Jala germplasm. The experiment was carried out under rainfall conditions at five locations: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, and Xalisco, State of Nayarit, and the Colegio de Postgraduados, State of México. A randomized complete block design with three blocks was used in each location. Results showed significance among populations and among locations for all traits. The interaction Locations x Populations was significant for nine traits. Among locations LMZ ranged from 17.7 to 20.7 cm, and among populations it ranged from 17.1 to 20.8 cm. Population P5 and location A4 had the highest grain yield, with 267 g (18.6 t ha⁻¹) and 157 g (10.9 t ha⁻¹), respectively. Population P5 had the largest LMZ (22.9 cm), but none of the populations had the typical LMZ of Jala race, so we propose that ear length in Jala should be improved through recurrent mass selection of the largest ears. On the other hand, we identified populations and locations with high grain yield capacity.

Index words: *Zea mays* L. ear length, Jala race, grain yield.

2.1 INTRODUCCIÓN

La variación genética de una especie contiene la variación que es heredable entre y dentro de sus poblaciones, y es ahí donde operan los procesos de selección que aplican los agricultores y fitomejoradores. México posee una gran diversidad de maíces (*Zea mays* L.), donde cada tipo está adaptado a condiciones ambientales específicas.

Wellhausen *et al.* (1951) mencionan que en México la variabilidad genética del maíz es el resultado de al menos cuatro factores importantes: las razas primitivas cultivadas como variedades de polinización libre, la introducción de variedades exóticas, cruzas naturales entre teocintle y maíz, y la geografía del país, que promueve diferenciación entre tipos climáticos y sistemas agrícolas.

En el continente americano se considera que existen entre 220 y 300 razas de maíz (Brown y Goodman, 1977); en México, se salvaguardan entre 41 (Ortega *et al.*, 1991), 59 (Sánchez *et al.*, 2000) y 65 razas (LAMP, 1991); sin embargo, el proceso de clasificación e identificación está inconcluso.

Una de las razas de maíz más importantes en México, por sus características únicas, es la raza Jala; esta ha sido cultivada en el Valle de Jala, Nayarit, México, durante siglos (Aguilar-Castillo *et al.*, 2006; CIMMYT, 2007), en una superficie no mayor de 30 ha, lo cual permite conocer los cambios genéticos y fenotípicos durante periodos cortos en una sola área geográfica. La mazorca de este maíz se reconoce mundialmente como la de mayor tamaño, llegando a medir hasta 60 cm de longitud; sin embargo, su planta es de gran altura, con más de 5 m (Rice *et al.*, 2006), y muy tardía a la cosecha (siete u ocho meses). Muñoz-Orozco (2003) menciona que en el concurso del elote más grande que se realiza en Jala Nayarit, hubo ejemplares con 71 cm de

longitud. No obstante, en los últimos 15 años esta raza ha sufrido “erosión genética” grave, que le ha provocado reducción en longitud de mazorca y grano (Aguilar-Castillo *et al.*, 2006).

Aguilar-Castillo *et al.* (2006) y Rice *et al.* (2006) han intentado recuperar el tipo original de mazorca, pero no se conoce investigación alguna en la que Jala se use para desarrollar maíces mejorados específicos para producir elotes, un posible uso potencial. Por eso, para aprovechar su potencial genético, la raza de maíz Jala se podría combinar con otros tipos de maíz con usos similares, bajo la hipótesis de que sus cualidades genéticas pueden recombinarse o transferirse a otros maíces de uso común (Valdivia-Bernal *et al.*, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial productivo y atributos agronómicos de poblaciones de maíz de la raza Jala en varios ambientes, con énfasis en la longitud de la mazorca, para contribuir a su conservación y mejoramiento genético.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se evaluaron 14 poblaciones de maíz de la raza Jala, de las cuales cinco fueron colectas de la región de Jala, Nayarit, a las que se les denominó P1, P2, P3, P4 y P5; siete fueron poblaciones mejoradas individualmente a partir del compuesto de selección Montecillo 2007 denominado Jala recuperado (Aguilar y Carballo, 2007): Montecillo-2007, UAN-2008, UAN-2009A, UAN-2009B, UAN-2009C, UAN-2010, y UAN-2011 y dos fueron los híbridos varietales 13 XT y 8 XT, con 50 % de germoplasma de Jala.

Las poblaciones se sembraron en el año 2012 en cinco localidades (Cuadro 1), tres de las cuales (L1, L2, y L3) se establecieron en parcelas de agricultores cooperantes del Estado de Nayarit. La localidad L4 se estableció en las instalaciones de la Unidad Académica de Agricultura de la

Universidad Autónoma de Nayarit, en Xalisco, Nayarit, y la L5 en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Cuadro 1 Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades de evaluación de las 14 poblaciones de maíz de la raza Jala. 2012.

Localidad	Nombre	Textura del suelo	pH	PP (mm)	Altitud (m)	Temp. (°C)	Lat. N	Long. O
L1	San José de Mojarras	Arcillosa	5.8	1113	912	24.3	21°25'	104°36'
L2	Ixtlán del Río	Franco	6.5	859.8	1038	23	21° 02'	104°33'
L3	Jala	Arena	5.6	837.4	1016	23.2	21°05'	104°31'
L4	Xalisco	Franco arenoso	4.7	1232.4	984	23	21°22'	104°24'
L5	Montecillo	Arcillosa	8.4	655.6	2250	16.3	19°30'	98°52'

PP: Precipitación pluvial media; Temp: Temperatura media anual; pH: potencial de Hidrógeno del suelo.

El establecimiento de los ensayos en las localidades L1, L2, L3 y L4 coincidió con el inicio de la temporada de lluvias; en la L5 se sembró el día 10 de mayo, donde se aplicaron riegos de auxilio hasta el establecimiento del periodo normal de lluvias. En cada localidad la evaluación se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. En todos los casos la unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m entre surcos, y se depositaron dos semillas por golpe cada 0.35 m (70, 000 plantas ha⁻¹). Es importante mencionar que el agricultor tradicionalmente siembra a una densidad menor (de 30 mil a 40 000 plantas por ha⁻¹). La fertilización y labores de cultivo se realizaron de acuerdo con las prácticas tradicionales de cada localidad.

2.2.1 Caracteres agronómicos

De cada parcela se seleccionaron al azar cinco plantas con competencia completa (cc), en las que se midieron las siguientes 11 variables:

Caracteres vegetativos y fenológicos: En la etapa de hoja bandera se midió altura de planta (AP, de la base del suelo a la hoja bandera, en cm) y altura a la mazorca principal (AM, cm). En floración se midieron las floraciones femenina (FF, cuando el 50 % + 1 de plantas de la unidad experimental presentó estigmas expuestos) y masculina (FM, cuando el 50 % + 1 de plantas presentó antesis en las espigas), en días después de la siembra (dds).

Caracteres de la mazorca: las mazorcas se secaron a temperatura ambiente y cuando llegaron a humedad constante se midió: la longitud (LMZ, cm), el diámetro (DMZ) al centro de la mazorca, cm, se contó el número de hileras (HMz) y granos por hilera (GRh).

Caracteres de grano: las mazorcas se desgranaron individualmente y de la parte central se tomó una muestra de 10 granos, de los que se tomaron los siguientes datos: ancho (AGr, cm) y longitud (LGr, cm), de los que se obtuvo su promedio. Además, se estimó el rendimiento de grano por planta (RGp), mediante el cociente del peso de mazorcas a humedad constante por parcela entre el número de plantas cosechadas por parcela.

Para el análisis de los datos se aplicó un análisis de varianza combinado de localidades. Los análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) se hicieron mediante el paquete estadístico SAS System for Windows 9.0 (SAS Institute, 2002).

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre poblaciones y entre localidades hubo significancia ($p \leq 0.01$) para todas las variables (Cuadro 2), lo cual indica que existieron diferencias fenotípicas y genotípicas grandes entre las poblaciones, aun cuando éstas provinieron de la misma fuente genética (raza Jala) y de la misma región geográfica, y que el potencial productivo promedio de los ambientes fue diferente, y que al menos uno de ellos fue altamente contrastante con los demás. La interacción Loc x Pob fue

significativa para 9 variables (80 %), indicando que al menos uno de los genotipos presentó un comportamiento agronómico diferente para esos caracteres al ser evaluado en ambientes diferentes (Cuadro 2).

Los coeficientes de variación del análisis combinado fueron bajos en general, pues oscilaron entre 4 y 10 %, con excepción del rendimiento de grano por planta (RGp, 38 %) (Cuadro 2), lo cual es un indicador de la confiabilidad de la información y de que RGp fue una variable altamente influenciada por los cambios ambientales a través de localidades, por ser un carácter altamente cuantitativo.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 11 caracteres medidos en 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluadas en cinco localidades.

F.V.	Variables										
	(FM, dds)	(FF, dds)	(AP, cm)	(AM, cm)	(LMZ, cm)	(DMZ, cm)	(HMz)	(GRh)	(AGr, cm)	(LGr, cm)	(RGp, g)
Población	166.2**	143.5**	3032.5**	5166.1**	17.1**	0.09*	3.9**	31.7**	0.026**	0.53**	0.004**
Localidad	12238.02**	881.3**	93999.5**	31366.5**	74.7**	1.55**	3.1**	379.9**	0.036**	1.73**	0.068**
Rep(Loc)	4.8 ^{ns}	3.8 ^{ns}	685.01 ^{ns}	225.03 ^{ns}	3.1 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.6 ^{ns}	18.9 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.002 ^{ns}
LocxPob	26.4**	8.4 ^{ns}	637.2**	456.4*	3.5 ^{ns}	0.08**	0.9*	26.6**	0.006**	0.04**	0.003**
Error	12.04	6.6	365.4	306.4	2.5	0.05	0.5	12.2	0.003	0.02	0.001
C.V. %	4	4	6	9	8	4	6	10	5	8	38
Media	84.5	78.1	315	188.1	19.3	4.8	12.2	34.3	1.05	1.8	104

F.V.: fuente de variación; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; LMZ: longitud de mazorca; DMZ: diámetro de mazorca; HMz: hileras por mazorca; GRh: granos por hilera; AGr: ancho de grano; LGr: longitud de grano; RGp: rendimiento de grano por planta; *, **, ns: Diferencia significativa $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$, no significativa, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variación; Pob.: Población; Loc: Localidad; Rep(Loc): Repeticiones dentro de localidades; LocxPob: Interacción Localidad por Poblaciones; Rep.: Repetición; dds: días; g: gramos; cm: centímetros.

Con respecto a las comparaciones de medias (Cuadro 3), la variación entre promedios de las variables en general fue amplia. Así, la FM fluctuó de 77.2 a 89 dds; la FF varió de 70 a 80.7 dds; la AP fue de 282 a 328.5 cm; la AM tuvo valores de 141.4 a 210.7 cm; en tanto que la LMZ fue de 17.1 a 20.8 cm; las HMz fueron de 11.6 a 13.4 hileras; los GRh variaron de 31.8 a 36.5 granos; el AGr fue de 0.95 a 1.09 cm; y la LGr varió de 1.7 a 1.9 cm. El rendimiento de grano por planta (RGp) vario de 82 a 131 g (5.7 a 9.1 t ha⁻¹) (Cuadro 3). El DMZ no mostró diferencias entre promedios, y su amplitud fue de 4.6 a 4.9 cm. Para la variable rendimiento de grano por planta, se observó significancia alta entre genotipos (Cuadro 2), siendo la población P5 fue la que presentó un mayor rendimiento, seguido del híbrido varietal 8XT, y la población P6 (Montecillo 2007) tuvo el rendimiento más bajo, con un promedio de (82 g).

Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey $\alpha= 0.05$ de probabilidad) de 11 variables de 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluadas en cinco localidades.

Población	(FM, dds)	(FF, dds)	(AP, cm)	(AM, cm)	(LMZ, cm)	(DMZ, cm)	(HMz)	(GRh)	(AGr, cm)	(LGr, cm)	(RGp ,g)
P1	82.4cd [†]	76.3b	314.8a...c	183.7ab	18.1c...e	4.7a	12.1c	34ab	1.07a	1.8ab	118a...d
P2	83.8c	78.9ab	313a...c	196.6ab	17.8de	4.8a	12.4bc	33.8ab	1.04ab	1.8ab	93b...e
P3	86.4a...c	80.3a	328.5a	202a	19.6a...d	4.9a	12.5a...c	35.5ab	1.06a	1.9a	90cde
P4	85.7a...c	78.5ab	317.5ab	193.3ab	19.4a...d	4.7a	11.8c	35.2ab	1.04ab	1.7ab	88de
P5	85.4a...c	80.08a	322.2ab	198.5ab	20.6a	4.7a	12.1c	35.9ab	1.03ab	1.7ab	131a
Montecillo 2007	89a	79.5ab	324.3ab	202.6a	19.2a...d	4.7a	11.8c	34.5ab	1.09a	1.7ab	82e
UAN-2008	84.5bc	79.8ab	307.8a...c	179b	20.1ab	4.8a	12.1c	31.8b	1.09a	1.7ab	101a...e
UAN-2009A	86.6a...c	79.7ab	303.9b...d	183.4ab	19.9a...c	4.7a	11.6c	31.9b	1.08a	1.7ab	91cde
UAN-2009B	86.2a...c	80a	322.8ab	193.6ab	19.8a...c	4.8a	12.3bc	34.5ab	1.05a	1.8ab	97b...e
UAN-2009C	88.2ab	80.5a	323.6ab	188.7ab	19.9a...c	4.7a	11.8c	32.5ab	1.09a	1.7b	100a...e
UAN-2010	84.7a...c	79ab	329.5a	210.7a	19.7a...d	4.8a	12.2c	33.5ab	1.07a	1.8ab	93b...e
UAN-2011	85.2a...c	80.7a	327.8a	204.4a	20.8a	4.9a	12c	36.5a	1.08a	1.8ab	124abc
13XT	78.2de	70.9c	292.1cd	155.1c	18.4b...e	4.9a	13.4a	34.8ab	0.98bc	1.8ab	125ab
8XT	77.2e	70c	282d	141.4c	17.1e	4.7a	13.2ab	35.6ab	0.95c	1.7ab	123abc
Promedio	84.5	78.1	315	188	19.3	4.8	12.2	34.3	1.05	1.8	104
DSM	4.3	3.6	23.8	21.8	1.9	0.2	0.8	4.3	0.06	0.1	
CV %	4	4	6	9	8	4	6	10	5	8	38

P1-5: Productor; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LMZ: Longitud de mazorca; DMZ: Diámetro de mazorca; HMz: Hileras por mazorca; GRh: Granos por hilera; AGr: Ancho de grano; LGr: longitud de grano; RGp: Rendimiento de grano por planta; DSM: Diferencia significativa mínima; CV: Coeficiente de variación; [†] Medias con letra iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los valores promedio de la longitud de mazorca (LMZ) en las cinco localidades y de las 14 poblaciones de maíz evaluadas se presentan en el Cuadro 4. En la localidad L1, la población que mostró una mayor LMZ fue UAN-2008, con 22 cm; en la L2 fue P5, con 22.9 cm. En la localidad L3 destacó la población UAN-2011, con un promedio de 20.8 cm; en la localidad L4 fue P5, con 22.6 cm; finalmente, en la localidad L5 Montecillo, la población que tuvo la mayor expresión fue UAN-2011, con una longitud de 19.8 cm.

En general, pudo observarse que la población UAN-2011 fue la que presentó una mayor longitud de mazorca entre poblaciones, con un promedio de 20.8 cm; en la L2 Ixtlán del Río se expresaron los mayores tamaños de mazorca, con un promedio de 20.7 cm y con una amplitud de hasta 33 cm en P5 (Cuadro 4), valor todavía muy alejado del mencionado por Muñoz-Orozco (2003) para tamaño de elote. Adicionalmente, la localidad L3 correspondió a Jala, Nayarit, donde la longitud de mazorca fue de 17.7 cm en promedio, quedando ésta en último lugar a través de localidades. Es importante señalar que es ahí el sitio de origen de esta raza, donde se han documentado mazorcas de hasta 60 cm de longitud (Rice *et al.*, 2006; López-González 2002). No obstante, cabe mencionar que en Jala inicialmente se sembró una parcela con características similares a las que los productores tradicionalmente usan, y donde ellos han obtenido las mejores expresiones de mazorca y rendimiento, pero por condiciones naturales atípicas (desbordamiento de río y/o arroyo) esa parcela se perdió, y solo se pudo contar con los datos de la parcela en L3 con las características mencionadas en el Cuadro 1. Esto pudo influir en la baja expresión de mazorca y bajo rendimiento de grano, debido a que la parcela en L3 no tuvo las características típicas de los lotes donde se han obtenido los elotes más grandes. A pesar de lo anterior, puede decirse que los resultados encontrados para LMZ indican que la raza Jala ya ha sufrido “erosión genética” grave, pues de acuerdo con Rice *et al.* (2006) en el pasado

reciente se documentaron mazorcas de hasta 60 cm de longitud, mientras que en el presente estudio la mazorca de mayor longitud encontrada fue de 33 cm, dato que concuerda con los reportados por Wellhausen *et al.* (1951), quienes mencionan LMZ de 30.5 cm. No obstante, esto contrasta con lo señalado por Rice *et al.* (2006), en el sentido de que esta raza ha tenido una disminución en la longitud de la mazorca de 28 cm en los últimos 15 años. La disminución de la longitud de la mazorca podría deberse a una marcada escasez de semilla de la raza típica Jala, provocada ésta por la introducción de nuevos cultivos a la región, como el maíz híbrido, la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), el tabaco (*Nicotina tabacum L.*), la Jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*), y por la construcción de nuevas vías de comunicación, lo que ha ocasionado la reducción en la superficie de siembra de dicha raza y también la pérdida de la semilla original de la raza típica Jala (Aguilar y Carballo, 2007).

Cuadro 4. Longitud de mazorca en promedio de poblaciones y de ambientes.

Poblaciones	Localidades					Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	
P1	18.5a [†]	19.8ab	16.7a	18.6bcd	17.1a	18.1c...e
P2	17.9a	20.4ab	16.4a	18.7bcd	15.8a	17.8de
P3	20.7a	20.7ab	17.6a	20.8abcd	18.5a	19.6a...d
P4	21.1a	20.6ab	17.1a	19.9abcd	18.2a	19.4a...d
P5	21.1a	22.9a(33, 25 y 28)	18.7a	22.6a	17.7a	20.6a
Montecillo 2007	21.5a	20.2ab	18.8a	19.6abcd	16.7a	19.2a...d
UAN-2008	22.0a	21.1ab	17.3a	21.2abc	18.9a	20.1ab
UAN-2009A	18.8a	22.3ab	19.1a	20.6abcd	18.9a	19.9a...c
UAN-2009B	20.0a	21.3ab	18.4a	21.6ab	17.8a	19.8a...c
UAN-2009C	21.4a	21.8ab	17.4a	21.3abc	17.6a	19.9a...c
UAN-2010	20.4a	21.4ab	16.9a	22.0ab (28, 28 y 31)	17.7a	19.7a...d
UAN-2011	21.9a (30, 24 y 26) [¶]	19.9ab	20.8a (22, 27 y 29)	21.8ab	19.8a (20, 20 y 20)	20.8a
13 xt	18.2a	19.2ab	17.6a	17.6cd	19.5a	18.4b...e
8 xt	16.0a	17.9b	15.9a	17.4d	18.6a	17.1e
Promedio	19.9a	20.7a	17.7b	20.2a	18.0b	

P1-5: Productor; L1: San José de Mojarras; L2: Ixtlán del Río; L3: Jala; L4: Xalisco; L5: Montecillo; [¶]: fluctuación por localidad de la población que presentó mayor longitud de mazorca en las tres repeticiones; [†] Medias con letra iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En cuanto al rendimiento de grano por localidad, la mejor expresión de este carácter se obtuvo en Xalisco e Ixtlán del Río, Nay., con 157 y 121 g (10.9 y 8.4 t ha⁻¹), respectivamente, y una diferencia significativa entre ellas de 36 g (2.5 t ha⁻¹). El alto rendimiento obtenido en Xalisco, Nayarit, podría atribuirse a una mayor cantidad y mejor distribución de la precipitación pluvial durante el ciclo de evaluación, y en Ixtlán del Río a las buenas características de textura y fertilidad del suelo que le permitieron tolerar la sequía que se presentó en floración; en contraste, la localidad de Jala, tuvo un rendimiento promedio de 49 g (3.4 t ha⁻¹) (Cuadro 5). Este resultado pudo deberse a la presencia de una sequía prolongada durante la floración y durante el periodo de llenado de grano, y a las características de producción no representativas del predio usado, tales como textura arenosa y escasas retención de humedad y fertilidad del suelo, lo que provocó que esta localidad resultara la más desfavorable, con el rendimiento más bajo, aun cuando se menciona que Jala, Nayarit, es el sitio donde únicamente se obtienen las mazorcas de la raza Jala más grandes del mundo.

Las mejores poblaciones rindieron entre 97 y 131 g (6.7 y 9.1 t ha⁻¹) por planta, y las peores variaron de 82 a 93 g (5.7 y 6.5 t ha⁻¹), siendo la mejor P5, mientras que la peor fue Montecillo 2007. Así, en la localidad de Xalisco, Nay., que tuvo las mejores condiciones ambientales, se tuvieron poblaciones con rendimientos de grano por planta superiores a 267 g (18.6 t ha⁻¹) (Cuadro 5). El alto rendimiento obtenido en la localidad de Xalisco puede atribuirse a que su media de LMZ fue de 20.2 cm, la cual fue de las más altas. Además, en esta localidad la P5 fue la que presentó una mayor LMZ, con un promedio de 20.6 cm, solo 0.2 cm por debajo de la media general de 20.8 cm (Cuadro 4).

Por otro lado, en el Cuadro 5 se observa que en la localidad de Jala, donde hubo condiciones desfavorables por sequía durante la floración y la etapa de llenado de grano, el híbrido varietal

(8XT) tuvo el mayor rendimiento (80 g, 5.6 t ha⁻¹), posiblemente por tener un ciclo más corto y un mejor genotipo. No obstante, en las otras localidades algunas de las poblaciones superaron en rendimiento a los híbridos testigo (Cuadro 5), indicando con ello su potencial genético como poblaciones para ser aprovechadas en programas locales y nacionales de mejoramiento genético de la raza Jala.

Cuadro 5. Rendimiento de grano por planta (g) para poblaciones y ambientes.

Genotipos	Localidades					Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	
P1	73ab [†]	159a	71ab	167bc	121abc	118a...d
P2	47b	129ab	35ab	167bc	90bc	93b...e
P3	80ab	123ab	28b	136bc	83c	90cde
P4	48b	134ab	47ab	127c	84c	88de
P5	157a	107ab	27b	267a	96bc	131a
Montecillo 2007	40b	142ab	55ab	99c	75c	82e
UAN-2008	28b	112ab	27b	188abc	148a	101a...e
UAN-2009A	29b	114ab	72ab	107c	135ab	91cde
UAN-2009B	100ab	119ab	41ab	122c	105abc	97b...e
UAN-2009C	131ab	100b	36ab	122c	109abc	100a...e
UAN-2010	75ab	98b	33ab	157bc	101abc	93b...e
UAN-2011	178a	99b	74ab	158bc	108abc	124abc
13 xt	75ab	120ab	61ab	232ab	139ab	125ab
8 xt	113ab	139ab	80a	150bc	133ab	123abc
Promedio	83c	121b	49d	157a	108b	

P1-5: Productor; L1: San José de Mojarras; L2: Ixtlán del Río; L3: Jala; L4: Xalisco; L5: Montecillo; [†] Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

2.4 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, la longitud promedio de mazorca varió entre poblaciones de 17.1 cm, para 8XT, a 20.8 cm, para UAN-2011. En tanto que para las

localidades, Jala fue el sitio con el promedio más bajo, con un promedio de 17.7 cm, siendo Ixtlán del Río la que tuvo las mayores expresiones, con 20.7 cm.

Por otro lado, los mayores rendimientos por localidad y por población fueron de 157 g (10.9 t ha⁻¹) y 267 g (18.6 t ha⁻¹), los cuales se obtuvieron en Xalisco, Nayarit, y en la P5, respectivamente. Para rendimiento de grano por planta, destacó la población P5, con un promedio de 131 g, valor superior al del resto de poblaciones. Así mismo, la población P5 fue la que presentó una mayor longitud de mazorca, con 22.9 cm, la cual representa una buena base genética para recuperar la longitud de mazorca y buen rendimiento de grano en la raza Jala mediante selección recurrente. Por otro lado, podría afirmarse que la longitud de mazorca característica de la raza Jala se ha perdido en las poblaciones evaluadas, pues ninguna de ellas tuvo su promedio general mayor de 30 cm, pero en contraparte, se identificaron poblaciones y localidades con alta capacidad de rendimiento de grano, lo cual es de utilidad para el mejoramiento genético por selección recurrente de la base poblacional de la raza Jala, tanto para tamaño de mazorca como para rendimiento.

2.5 LITERATURA CITADA

- Aguilar-Castillo J. A, A. Carballo-Carballo, F. Castillo-González, A. Santacruz-Varela, J. A. Mejía-Contreras, J. Crossa-Hiriarte, G. Baca-Castillo (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México*. 32:57-66.
- Aguilar-Castillo J. A, Carballo-Carballo A (2007). Recuperación conservación y aprovechamiento de la raza Jala de maíz: una alternativa para las razas en peligro de extinción. *Colegio de Postgraduados-Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos, RED MAIZ*. pp. 3-27.
- Brown, W. L. and Goodman. M. M. 1977. Races of corn. In: Sprague, G. F. (ed.), *Corn and Corn Improvement*. Number 18. Series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, U. S. A. pp. 49-88.

- CIMMYT. Orgullo y pragmatismo sostiene el maíz gigante de México (2007). <http://www.cimmyt.org/es/que-hacemos/investigacion-sobre-maiz/item/pride-and-pragmatism-sustain-a-giant-mexican-maize>. Consultado 17/06/2013.
- Gordón-Mendoza R, Camargo-Buitrago I, Franco-Barrera J, González-Saavedra A. (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17:189-199.
- LAMP (Proyecto Latinoamericano de Maíz). 1991. ARS-USDA, CIMMYT, Pioneer Hi-Bred International Inc., Universidad Agraria La Molina (Perú).
- López-González Pedro (2002). El Ceboruco Maravillas y Leyendas del Volcán. Amate pp.35-48.
- Muñoz-Orozco Abel (2003). Centli-Maíz: Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario Centli-maíz. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 19-31.
- Ortega, R. A.; Sánchez, G. F.; Castillo, G. y Hernández, J. M. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. In Ortega P., R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., y M. Livera M. (eds.). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C., Chapingo, México. pp. 161-185.
- Rice, E. B, M. E. Smith, S. E. Mitchell, S Kresovich (2006). Conservation and change: a comparison of in situ an ex situ conservation of Jala maize germplasm. *Crop Science*. 46:428-436.
- Rueda-Restrepo, J. A, Cotes-Torres, J. M, (2009). Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípica a través de validación cruzada. *Facultad Nacional de Agronomía- Medellín* 62:5111-5123.
- Sánchez G. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54(1):43-59.
- SAS, Statistical Analysis System Institute, 2002. *The SAS System for Windows*. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Valdivia-Bernal R, F. de Jesús Caro-Velarde, R. Medina-Torres, M. Ortiz-Catón, A. Espinosa-Calderón, Víctor A. Vidal-Martínez, A. Ortega-Corona (2010). Contribución genética del criollo Jala en variedades eloteras de maíz. *Fitotecnia Mexicana* 33:63-67.
- Wellhausen, E. J.; M. Roberts y E. Hernández X. (en colaboración con P. C. Mangelsdorf). 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto

Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería.
México, D. F.

III. ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE MAÍZ DE LA RAZA JALA

RESUMEN

La obtención de genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente es uno de los principales objetivos en los programas de mejoramiento genético. Así, el objetivo de este trabajo fue estudiar la interacción G x A y evaluar la estabilidad del rendimiento de grano por planta y longitud de mazorca, así como la adaptabilidad de maíz (*Zea mays* L.) de la raza Jala por los métodos multivariados AMMI y SREG. Se evaluaron 14 poblaciones, de las cuales cinco fueron colectas de la región de Jala, siete fueron poblaciones semimejoradas, y dos fueron híbridos varietales con 50 % de germoplasma de Jala. El experimento se estableció bajo condiciones de temporal o secano en cinco localidades: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, y Xalisco, Nayarit, y Colegio de Postgraduados, Estado de México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron rendimiento de grano por planta (RGp, g) y longitud de mazorca (LMZ, cm). Para estimar la interacción genotipo x ambiente y la adaptabilidad y estabilidad de las poblaciones se usaron el modelo AMMI y la técnica GGE Biplot-SREG. El análisis de varianza detectó significancia entre poblaciones, entre localidades y en la interacción población x localidad para (RGp). Tanto para RGp y LMZ, la población que presentó menor interacción fue P3 y la que contribuyó más a la misma fue la P5. El modelo Biplot GGE-SREG identificó a la población UAN-2010 como la de mayor adaptación para RGp, y a la población P3 para LMZ. No se encontró una población que tuviera alta capacidad de adaptación tanto para RGp como para LMZ.

Palabras clave: *Zea mays* L., AMMI, longitud de mazorca, raza Jala, rendimiento de grano, SREG.

ADAPTABILITY AND STABILITY OF MAIZE OF THE JALA RACE

SUMMARY

The obtainment of genotypes that interact as little as possible with the environment is one of the main objectives in any plant breeding program. Thus, the objectives of this work were to study the genotype x environment interaction, to evaluate the stability of yield and ear length, and to evaluate the adaptability of the Jala race of maize (*Zea mays* L.) by means of the AMMI and SREG multivariate methods. We evaluated 14 populations, from which five populations were collections from the Jala region, seven populations were semi-improved populations, and two populations were intervarietal hybrids containing 50% of Jala germplasm. The experiment was carried out under rainfall conditions at five locations: San José de Mojarras, Ixtlán de Río, Jala, and Xalisco, State of Nayarit, and the Colegio de Postgraduados, State of México. A randomized complete block design with three blocks was used in each location. Traits analyzed were grain yield per plant (RGp, g) and ear length (LMZ, cm). In order to estimate the genotype x environment interaction as well as the adaptability and stability of all populations, the AMMI model and the GGE Biplot-SREG technique were used. Results showed significance among populations and among locations for RGp and LMZ. The Population x Location interaction was significant only for RGp. Population P3 had the smallest contribution to the interaction for RGP and LMZ, whereas population P5 had the largest one. The Biplot GGE-SREG identified to population UAN-2010 as the one having the largest adaptation for RGp and to population P3 as the one having the largest adaptation for LMZ. No population was found to have a high capacity of adaptation for both RGp and LMZ.

Index words: *Zea mays* L. AMMI, ear length, Jala race, grain yield, SREG.

3.1 INTRODUCCIÓN

La adaptación de los organismos puede ser medida por la capacidad de éstos para desarrollarse y reproducirse. Al respecto, Fuentes *et al.* (2005) señalan que cuando un genotipo es evaluado en distintas condiciones ambientales (años, localidades, y/o épocas de siembra), puede presentar dos tipos de adaptación: general o específica. Un genotipo tiene adaptación general cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en la mayoría de los ambientes en los que es evaluado. Por el contrario, un genotipo presenta adaptación específica cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en un determinado ambiente.

En relación con el mejoramiento genético, Wong *et al.* (2006) mencionan que durante el proceso de la selección es importante considerar no solo los efectos lineales del genotipo y el ambiente, sino también la interacción genotipo x ambiente, ya que a través de esta se detecta la eficacia de la selección de genotipos a través de ambientes, lo cual evita la necesidad de desarrollar programas específicos para cada ambiente.

La selección de genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente es uno de los principales objetivos en los programas de mejoramiento genético. La evaluación de genotipos a través de distintos ambientes, principalmente en ambientes contrastantes, es una de las prácticas más usuales para detectar y recomendar nuevos materiales a los productores de una región o zona específica (Gordón-Mendoza *et al.*, 2006).

Márquez (1976) menciona que la interacción genotipo ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientes. Este autor menciona que frecuentemente los fitomejoradores enfrentan un problema de gran magnitud cuando seleccionan en presencia del fenómeno de interacción genotipo ambiente. Por su parte,

Espinoza *et al.* (2002) explican que la variabilidad ambiental acentuada por diferentes factores bióticos y abióticos (clima, humedad, tipo de suelo, vientos, manejo agronómico del cultivo, enfermedades, plagas, malezas, etc.) es la razón principal para utilizar metodologías de evaluación que permitan determinar el grado de la interacción genotipo ambiente y conocer la respuesta diferencial de los cultivos a través de los ambientes de prueba.

Las pruebas multiambientes son importantes en el mejoramiento de plantas como lo indican Crossa *et al.* (2006), porque en los genotipos que son evaluados en diferentes condiciones ambientales, su respuesta es comparada, su estabilidad y adaptabilidad general es evaluada, la interacción genotipo x ambiente (GE) es estudiada, y los mejores genotipos en ambientes específicos y a través de ambientes son seleccionados para la realización de nuevos ensayos o para su recomendación de uso comercial.

Algunos de los modelos para estimar la interacción genotipo ambiente (IGA) mencionados por Salas *et al.* (2009) son: 1) El análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) propuesta por Mandel (1971), el cual se basa en un modelo estadístico lineal-bilineal; 2) El modelo técnica de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS), propuesto por Herman Wold (1975), la cual generaliza y combina características del Análisis de Componentes Principales y Análisis de Regresión Múltiple; 3) El modelo de análisis de regresión en los sitios (SREG), propuesto por Yant *et al.* (2000), también conocido como gráfica GGE.

Particularmente, el método AMMI no sólo permite estimar estabilidad, sino también evaluar localidades, y, como consecuencia, clasificar los ambientes (Crossa *et al.*, 1990). El procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (ACP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite

estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes, y los análisis de CP permiten estudiar la interacción $G \times A$, la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación (Gauch, 1992). Así mismo, el AMMI unido al uso del “biplot”, una técnica de representación gráfica, es una herramienta útil para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, de los ambientes, y de la interacción $G \times A$ (Kempton, 1984; Yan *et al.*, 2000). Este método ha sido utilizado en muchos cultivos como cereales, oleaginosas, forrajeras, entre otros (Crossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002).

Por otro lado, el modelo SREG, también conocido como gráfica GGE, fue propuesto para explorar la respuesta de los genotipos a ambientes específicos; es prácticamente el mismo que el modelo AMMI, sólo que los efectos principales de los genotipos, se envían al residual para modelarlo de forma multivariada junto con la interacción (Salas *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2000). Yan *et al.* (2000) desarrollaron la metodología GGE biplot para el análisis gráfico de los datos de pruebas multiambientales (MET). En MET, el ambiente (E) representa 80 % de la variación, mientras que el genotipo (G) y la interacción genotipo ambiente (GE) representan 10 % cada uno (Yan y Kang, 2003). El GGE biplot es una gráfica que muestra los genotipos y los ambientes de los datos MET (Yan, 2001). El biplot GGE se construye a partir de los primeros dos componentes principales (CP) del modelo SREG.

Yan *et al.* (2002) mencionan que el componente 1 (CP1) se encuentra altamente correlacionado con el efecto principal del genotipo, y representa la proporción del rendimiento que se debe solo a las características del genotipo. El segundo componente, (CP2), representa la parte del rendimiento debido a la interacción genotipo x ambiente.

Uno de los méritos del modelo GGE biplot es que puede mostrar gráficamente “quien (que cultivar)-ganó-dónde (en qué localidad) en un conjunto de datos (Yan *et al.*, 2000). Esto es, el utilizar la metodología GGE Biplot permite trazar una línea entre los marcadores de los genotipos más alejados del punto de origen (0,0) formando un polígono de forma tal que contenga a los marcadores de los genotipos restantes. El polígono puede ser luego dividido en diferentes sectores trazando líneas perpendiculares a sus lados hasta el punto de origen del gráfico. De esta forma, el genotipo ubicado en el vértice de cada sector es el que representa el mejor comportamiento productivo en los sitios de ese sector particular. De esta forma, también es posible la identificación en forma gráfica de grupos de ambientes que son capaces de discriminar esos genotipos superiores (Yan *et al.*, 2000; Yan y Kang, 2003). Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivos: estudiar la interacción G x A y evaluar la adaptabilidad y estabilidad del rendimiento de grano por planta y longitud de mazorca de 14 poblaciones de maíz de la raza Jala por los métodos AMMI y SREG.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 14 poblaciones de maíz de la raza Jala, de las cuales cinco fueron colectas de la región de Jala, Nayarit, a las que se les denominó P1, P2, P3, P4 y P5; siete fueron poblaciones mejoradas individualmente a partir del compuesto de selección Montecillo 2007 denominado Jala recuperado (Aguilar y Carballo, 2007): Montecillo-2007, UAN-2008, UAN-2009A, UAN-2009B, UAN2009C, UAN-2010, y UAN-2011 y dos fueron los híbridos varietales 13 XT y 8 XT, que tienen 50 % de germoplasma de Jala.

Las poblaciones se sembraron en el año 2012 en cinco localidades (Cuadro 6), tres de las cuales (L1, L2, y L3) se establecieron en parcelas de agricultores cooperantes del Estado de Nayarit. La

localidad L4 se estableció en las instalaciones de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, en Xalisco, Nayarit, y la L5 en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Cuadro 6. Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades donde se evaluaron las 14 poblaciones de maíz de la raza Jala. 2012.

Localidad	Nombre	Textura del suelo	pH	PP (mm)	Altitud (m)	Temp. (°C)	Lat. N	Long. O
L1	San José de Mojarras	Arcillosa	5.8	1113	912	24.3	21°25'	104°36'
L2	Ixtlán del Río	Franco	6.5	859.8	1038	23	21° 02'	104°33'
L3	Jala	Arena	5.6	837.4	1016	23.2	21°05'	104°31'
L4	Xalisco	Franco arenoso	4.7	1232.4	984	23	21°22'	104°24'
L5	Montecillo	Arcillosa	8.4	655.6	2250	16.3	19°30'	98°52'

PP: Precipitación pluvial media; Temp: Temperatura media anual; pH: pH del suelo.

El establecimiento de los ensayos en las localidades L1, L2, L3 y L4 coincidió con el inicio de la temporada de lluvias; en la L5 se sembró el día 10 de mayo, donde se aplicaron riegos de auxilio hasta el establecimiento del periodo normal de lluvias. En cada localidad la evaluación se hizo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. En todos los casos la unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m entre surcos, se depositaron dos semillas por golpe cada 0.35 m. Es importante mencionar que en estos cinco experimentos se utilizó la misma densidad de población (70 000 plantas ha⁻¹), pero el agricultor tradicionalmente siembra a una densidad menor (de 30 mil a 40 000 plantas por ha⁻¹). La fertilización y labores de cultivo se realizaron de acuerdo con las prácticas tradicionales de cada localidad.

3.2.1 Caracteres agronómicos

De cada parcela se seleccionaron al azar cinco plantas con competencia completa (cc), a las que se le midieron las siguientes variables:

Carácter de la mazorca: las mazorcas se secaron a temperatura ambiente y cuando llegaron a humedad constante se midió: la longitud (LMZ, cm).

Caracteres de grano: se estimó el rendimiento de grano por planta (RGp), mediante el cociente del peso de mazorcas a humedad constante por parcela entre el número de plantas cosechadas por parcela.

El análisis con el modelo AMMI se basa en un modelo estadístico lineal-bilineal (Crossa y Cornelius, 2000), en el que los efectos principales de genotipos y de ambientes, considerados términos lineales, se explican mediante un análisis de varianza convencional; el componente bilineal (no aditivo) se atribuye a la interacción genotipo x ambiente, y se analiza mediante la técnica de componentes principales. Si los dos primeros componentes principales explican una parte importante de la variabilidad de la matriz IGA (60 %) (Gauch y Zobel, 1988), es posible hacer una representación gráfica (biplot) de la variabilidad de las observaciones, donde se consideran ambientes y genotipos (Kempton, 1984; Crossa, 1990).

El modelo AMMI es: $Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + e_{ij}$; donde: Y_{ij} es el rendimiento medio observado del genotipo i en el ambiente j ; μ es la media general; G_i es efecto de genotipo; E_j es efecto ambiental; λ_k es valor singular del k eje en el análisis de componentes principales; α_{ik} es vector propio del genotipo i para el eje k ; γ_{jk} es vector propio del ambiente j para el eje k ; n es número de componentes principales en el modelo; e_{ij} es valor del error.

El modelo de regresión de sitios (SREG) se basa en un modelo similar al AMMI, pero los términos lineales de genotipos no se consideran individualmente, adicionándose al término multiplicativo de la IGA. El SREG es útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta, es decir, ordenamiento sin cambio de genotipos en ambientes que conforman un grupo (Cornelius y Crossa, 1999; Yan *et al.*, 2000). Además permite la representación simultánea de la variabilidad de genotipos y ambientes, basada en el análisis de componentes principales (Yan *et al.*, 2000). El modelo de regresión en los sitios SREG es el siguiente: $Y_{ij} - \bar{Y}_i = \lambda_1 \epsilon_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \epsilon_{i2} \eta_{j2} + e_{ij}$; donde: Y_{ij} = es el rendimiento medio observado del genotipo i en el ambiente j ; \bar{Y}_i = es la media de los genotipos en el ambiente j ; λ_1 = valor propio del componente principal 1 (CP1); λ_2 = valor propio del componente principal 2 (CP2); ϵ_{i1} = score del genotipo i sobre CP1; ϵ_{i2} = score del genotipo j sobre el CP2; η_{j1} = score del ambiente i sobre CP1; η_{j2} = score del ambiente j sobre CP2; e_{ij} = residual.

Los análisis estadísticos del AMMI y SREG así como las gráficas biplot se realizaron con el programa SAS (SAS Institute, 2002) de acuerdo con los procedimientos establecidos por Vargas y Crossa (2000).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado detectó significancia ($p \leq 0.01$) entre poblaciones y entre localidades para longitud de mazorca y rendimiento de grano por planta. La interacción Loc x Pob resultó significativa solamente para rendimiento de grano por planta (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para longitud de mazorca (LMZ) y rendimiento de grano por planta (RGp) en 14 poblaciones de maíz de la raza Jala evaluados en cinco localidades.

F.V.	Variables		
	g.l.	(LMZ, cm)	(RGp, g)
Población	13	17.1 ^{**}	0.004 ^{**}
Localidad	4	74.7 ^{**}	0.068 ^{**}
Rep(Loc)	10	3.1 ^{ns}	0.002 ^{ns}
LocxPob	52	3.5 ^{ns}	0.003 ^{**}
Error	130	2.5	0.001
C.V. %		8	38
Media		19.3	104

F.V.: fuente de variación; g.l.: grados de libertad; *, **, ns: Diferencia significativa $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$, no significativa, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variación; Pob.: Población; Loc: Localidad; Rep (Loc): Repeticiones dentro de localidades; LocxPob: Interacción Localidad por Poblaciones; Rep.: Repetición; g: gramos; cm: centímetros.

3.3.1 Rendimiento de Grano por Planta (RGp, g)

El análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano por planta (Cuadro 8) detectó diferencias altamente significativas entre localidades y entre poblaciones, y significancia en la interacción (p x l). Estos resultados indican que las poblaciones tuvieron un promedio de rendimiento diferente entre ellas, pero también que hubo un comportamiento desigual de las mismas a través de los ambientes de evaluación. En el análisis AMMI para rendimiento de grano se encontró que el 37.9 % de la suma de cuadrados totales fue atribuible a los efectos de localidades, mientras que los efectos de población y de la interacción (p x l) representaron 7.2 y 22.9 %, respectivamente.

En el análisis AMMI se incluyeron los dos primeros ejes principales (CP1 y CP2) en el modelo, debido a que éstos resultaron altamente significativos. El primer eje CP1 del análisis de componentes de la interacción explicó el 51 % y el segundo eje CP2 explicó el 36 % de la suma total de cuadrados de la interacción, respectivamente (Cubero y Flores, 1995).

Cuadro 8. Análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano por planta de 14 poblaciones de maíz raza Jala evaluadas en 5 ambientes durante el periodo 2012.

F.V.	g.l	SC	CM
Localidad (l)	4	274844.7	68711.1**
Poblaciones (p)	13	52526.9	4040.5**
Interacción (p x l)	52	166530.8	3202**
CP1	16	85196.7	5324.8**
CP2	14	60599.5	4328.5**
Error	138	223972.4	1622.9
Total Corregido	209	725053.9	
CV (%)	38.7		
Promedio	104		

F.V.: fuente de variación; g.l.: grados de libertad; *, **, ns: significativo ($p \leq 0.05$, 0.01) y no significativo; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; CV: Coeficiente de variación; CP: Componente principal.

En el Cuadro 9 se muestran los rendimientos promedios por planta para cada población en cada localidad, las medias poblacionales y ambientales, ambas promediadas por filas y columnas, y las coordenadas sobre el CP1 para poblaciones y ambientes. Las poblaciones que presentaron un menor efecto de interacción, fueron: UAN-2009B y P3, con valores de CP1 de -0.12 y 0.13, respectivamente (Cuadro 9), que fueron los más cercanos a cero y por ende pueden ser considerados como los más estables a través de localidades (Medina *et al.*, 2002). En contraparte, las poblaciones P5, UAN-2011, Montecillo 2007 y UAN-2009A, contribuyeron más a los efectos de interacción, con valores de CP1 de 8.82, 4.55, -4.34, y -5.33, respectivamente (Crossa *et al.*, 1990).

La población P5 y la localidad L4 (Xalisco) tuvieron los mejores rendimientos a través de poblaciones y localidades; sin embargo, fueron los que más aportaron al primer eje de la interacción, con 8.82 y 6.15, respectivamente, siendo más inestables (Gleenys *et al.*, 2006).

Cuadro 9. Rendimiento medio de peso de grano por planta y valores de CP de 14 poblaciones evaluados en 5 ambientes durante el periodo de 2012.

Poblaciones	Localidades					Promedio	CP1 [¶]
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	73ab [†]	159a	71ab	167bc	121abc	118a...d	-2.30
P2	47b	129ab	35ab	167bc	90bc	93b...e	-0.87
P3	80ab	123ab	28b	136bc	83c	90cde	0.13
P4	48b	134ab	47ab	127c	84c	88de	-2.60
P5	157a	107ab	27b	267a	96bc	131a	8.82
Montecillo 2007	40b	142ab	55ab	99c	75c	82e	-4.34
UAN-2008	28b	112ab	27b	188abc	148a	101a...e	-1.40
UAN-2009A	29b	114ab	72ab	107c	135ab	91cde	-5.33
UAN-2009B	100ab	119ab	41ab	122c	105abc	97c...e	-0.12
UAN-2009C	131ab	100b	36ab	122c	109abc	100a...e	1.98
UAN-2010	75ab	98b	33ab	157bc	101abc	93b...e	0.98
UAN-2011	178a	99b	74ab	158bc	108abc	124abc	4.55
13 xt	75ab	120ab	61ab	232ab	139ab	125ab	1.39
8 xt	113ab	139ab	80a	150bc	133ab	123abc	-0.89
Promedio	83c	121b	49d	157a	108b		
CP1	7.89	-5.79	-4.67	6.15	-3.58		

[¶] Componente principal; [§] Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la Figura 1, correspondiente al gráfico generado por el modelo AMMI con un componente principal y el rendimiento, puede apreciarse que las poblaciones que tuvieron rendimiento por encima de la media con interacción positiva fueron P12 y P13, teniendo un rendimiento muy parecido entre ellas. Las poblaciones más inestables, pero con buen rendimiento, fueron P5, con

interacción positiva, y P1, con interacción negativa, mientras que la localidad L4 presentó mayor contribución a la interacción genotipo por ambiente.

Por otro lado, las poblaciones P9 y P3 contribuyeron con un menor grado a la interacción, mientras que las P5 y P8 y las localidades L1 y L4 contribuyeron en un mayor grado a la interacción genotipo por ambiente.

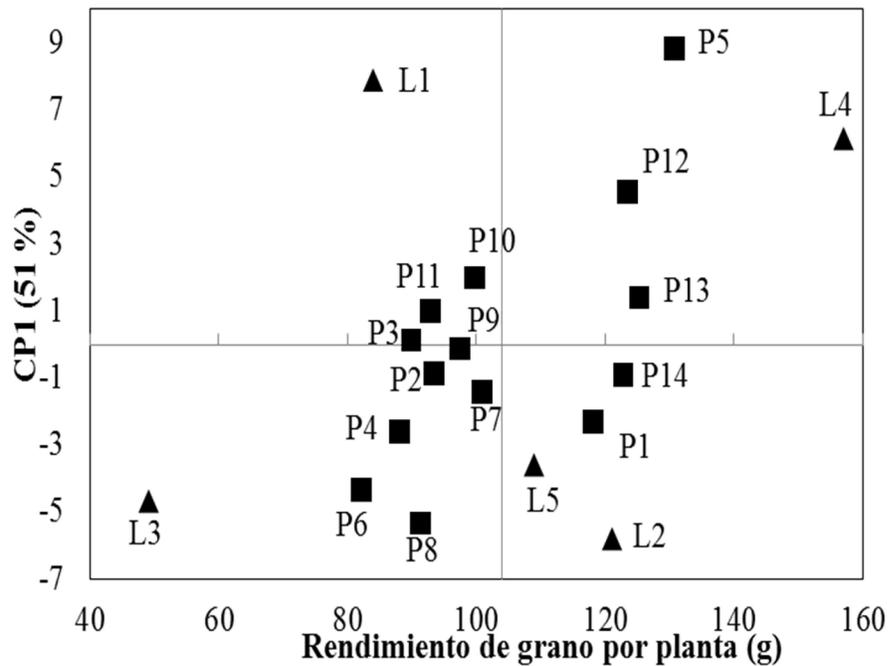


Figura 1. Representación gráfica del CPI en función del rendimiento de grano por planta (g) promedio de 14 poblaciones evaluadas en cinco localidades; L1: San José de Mojarras; L2: Ixtlán del Río; L3: Jala; L4: Xalisco; L5: Montecillos; P1aP5: población; P6: Montecillos 2007; P7: UAN-2008; P8: UAN-2009A; P9: UAN-2009B; P10: UAN-2009C; P11: UAN-2010; P12: UAN-2011; P13: 13 xt; P14: 8 xt.

En la Figura 2 se presenta el biplot en el que se consideran los efectos de los primeros dos componentes principales, los cuales explicaron el 87 % de la variación de la interacción genotipo ambiente. En relación con los ambientes, Yan *et al.*, (2000) señalan que aquellos que exhiben entre ellos un ángulo menor a los 90° tienen la cualidad de clasificar a los genotipos de una manera semejante, caso que se presentó en las localidades L2, L3 y L5, por lo que se

podrían descartar algunas de estas localidades sin perder precisión en los resultados, en tanto que las localidades L1 y L4 tendieron a ordenar de manera inversa las poblaciones, dificultando con ello la selección, por ser tan contrastantes (Yan *et al.*, 2000).

En el gráfico, los genotipos más cercanos al origen tienen menor interacción con el ambiente y son los más estables, por el contrario los más alejados muestran una mayor variación en su comportamiento (Yan *et al.*, 2000). Como se puede observar, las poblaciones con menor interacción o más estables resultaron la P3 y la P11, mientras que P8 presentó mayor interacción y fue más inestable.

Por la longitud de los vectores, las localidades que mejor discriminaron a las poblaciones evaluadas fueron las localidades L1 y L4, correspondientes a San José de Mojarras y Xalisco, respectivamente, esto de acuerdo por lo explicado por Kempton (1984) y Yan *et al.*, (2000) en el sentido de que los que están más retirados discriminan mejor a los genotipos; los más cercanos al origen de la gráfica son los menos sensitivos o los que más se parecen al promedio.

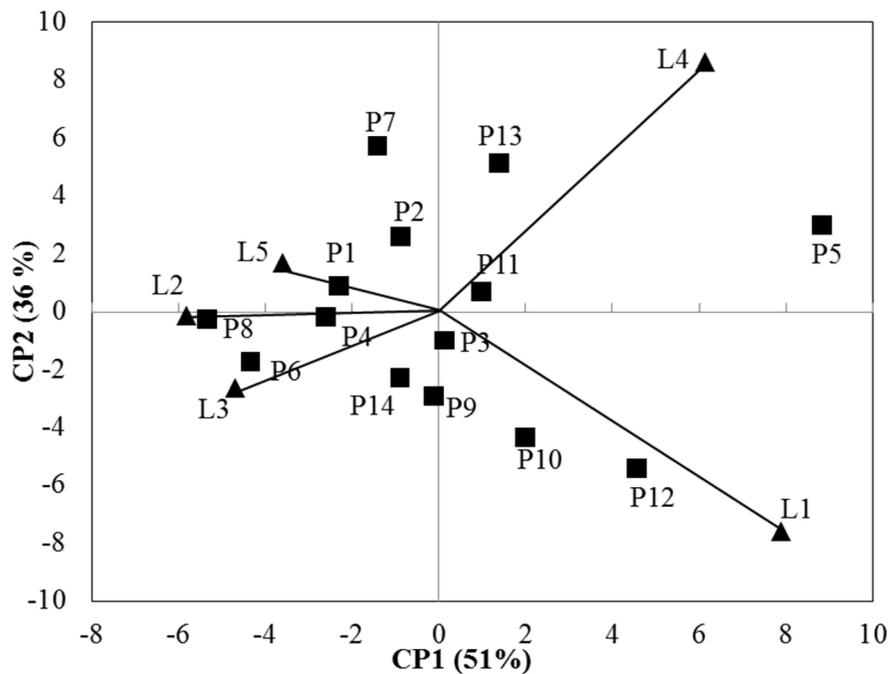


Figura 2. Biplot AMMI para 14 poblaciones. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores las localidades.

Para identificar el conjunto de ambientes donde las variedades muestran una adaptación similar, se empleó la técnica de regresión en los sitios (biplot). Al respecto, Yan *et al.* (2000) describen que se debe formar un polígono al unir los puntos de los vectores de las variedades más alejadas del origen; posteriormente, se traza una línea perpendicular por cada lado del polígono en relación con el origen, ocasionando que los ambientes y grupos sean separados en subgrupos, donde el grupo germoplásmico que está en el vértice de cada sector es el que tiene mejor desempeño en los ambientes incluidos. Procediendo así, el modelo GGE biplot explicó 81 % de los efectos combinados de poblaciones y de la interacción población localidad, el CP1 y el CP2 explicaron 53 % y 28 % de la variabilidad total, respectivamente (Figura 3). Estos resultados permiten una interpretación confiable del comportamiento de la IGA, ya que un valor aceptable

para ésta es una proporción mayor a 75 % (Crossa, 1990; Rodríguez *et al.*, 2005). Todas las localidades de evaluación fueron distintas en sus efectos, ya que cada una se ubicó en megaambientes diferentes.

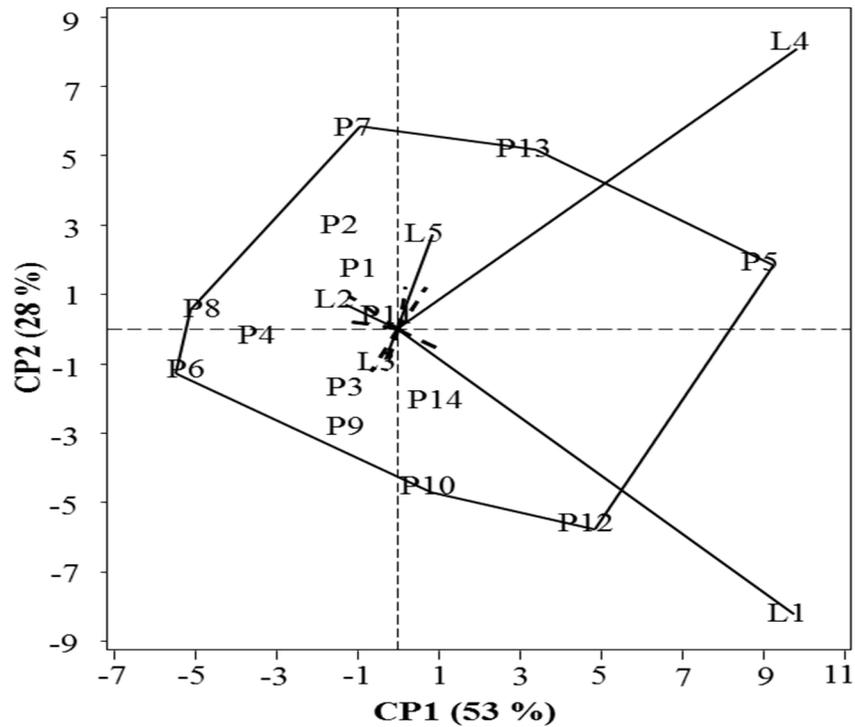


Figura 3. Biplot SREG para 14 poblaciones de maíz. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores a las localidades.

Los puntos marcadores de las poblaciones más alejados en el espacio bidimensional (P5, P12, P10, P6, P8, P7 y P13), conectados mediante líneas rectas, configuraron los vértices de un polígono. Estas poblaciones fueron las que más aportaron a la interacción, es decir, fueron las de más alto y bajo rendimiento (Figura 3). Se puede observar que en un sector formado en el polígono quedaron los ambientes L4 y L5, y en la esquina de ese sector se observa a la población P13 correspondiente al híbrido 13 XT, lo que indica que esta población tuvo mejor

desempeño en esas localidades, por otro lado, la población P5 tuvo mejor desempeño en las localidades 4 y 1.

En la Figura 3 también se puede observar que las poblaciones 8 y 6 fueron las que presentaron bajo rendimiento y baja capacidad de adaptación a las localidades de evaluación. Al respecto, Yan *et al.*, (2000) mencionan que existe una alta correlación entre rendimiento y adaptabilidad. Así, la población P11, correspondiente a UAN-2010, fue la que presentó mayor estabilidad y tuvo un rendimiento ligeramente inferior a la media general.

3.3.2 Longitud de Mazorca (LMZ, cm)

El análisis de varianza para longitud de mazorca detectó significancia ($P \leq 0.01$) entre localidades y entre poblaciones, mientras que la interacción de ambos factores no mostró significancia (Cuadro 10). Por otro lado, en el análisis AMMI, el 28 % de la suma de cuadrados total se atribuyó a efectos de localidades, mientras que los efectos de población e interacción localidades por población representaron 21 y 17 %, respectivamente. Los efectos de localidades tuvieron gran importancia, ya que provocaron variaciones en la expresión de longitud de mazorca.

Cuadro 10. Análisis de varianza AMMI para longitud de mazorca de 14 poblaciones de maíz raza Jala evaluadas en 5 ambientes durante el periodo 2012.

F.V.	g.l.	SC	CM
Localidad (l)	4	298.81	74.70**
Poblaciones (p)	13	221.34	17.02**
Interacción (pxl)	52	179.6	3.45 ^{ns}
CP1	16	98.53	6.15**
CP2	14	41.39	2.95 ^{ns}
Error	138	342.75	2.48
Total Corregido	209	1056.3	
CV (%)	8.13		
Promedio	19.36		

F.V.: fuente de variación; g.l.: grados de libertad; *, **, ns: significativo ($p \leq 0.05$, 0.01) y no significativo; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; CV: Coeficiente de variación; CP: Componente principal.

En el Cuadro 11 puede observarse que las poblaciones que tuvieron un menor efecto de interacción fueron P1, P8, y P12, con interacción positiva, y las poblaciones P3, P4 y P2 tuvieron interacción negativa, todas con valores cercanos a cero, las cuales pueden considerarse como las más estables (Medina *et al.*, 2002). Por el contrario, las poblaciones que contribuyeron más a los efectos de interacción, fueron P5, UAN-2009C, y los híbridos 13XT y 8XT, con valores de CP1 de -0.82, -0.70, 1.27, y 1.32, respectivamente (Gauch y Zobel, 1988; Crossa *et al.*, 1990).

Cuadro 11. Longitud de mazorca en promedio de poblaciones y de ambientes y valores de CP de las 14 poblaciones evaluadas en 5 ambientes durante el periodo de 2012.

Poblaciones	Localidades					Promedio	CP1
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	18.5a [†]	19.8ab	16.7a	18.6bcd	17.1a	18.1c...e	0.20
P2	17.9a	20.4ab	16.4a	18.7bcd	15.8a	17.8de	-0.24
P3	20.7a	20.7ab	17.6a	20.8a...d	18.5a	19.6a...d	-0.10
P4	21.1a	20.6ab	17.1a	19.9a...d	18.2a	19.4a...d	-0.14
P5	21.1a	22.9a	18.7a	22.6a	17.7a	20.6a	-0.82
Montecillo 2007	21.5a	20.2ab	18.8a	19.6a...d	16.7a	19.2a...d	-0.26
UAN-2008	22.0a	21.1ab	17.3a	21.2abc	18.9a	20.1ab	-0.32
UAN-2009A	18.8a	22.3ab	19.1a	20.6a...d	18.9a	19.9a...c	0.35
UAN-2009B	20.0a	21.3ab	18.4a	21.6ab	17.8a	19.8a...c	-0.30
UAN-2009C	21.4a	21.8ab	17.4a	21.3abc	17.6a	19.9a...c	-0.70
UAN-2010	20.4a	21.4ab	16.9a	22.0ab	17.7a	19.7a...d	-0.67
UAN-2011	21.9a	19.9ab	20.8a	21.8ab	19.8a	20.8a	0.43
13 xt	18.2a	19.2ab	17.6a	17.6cd	19.5a	18.4b...e	1.27
8 xt	16.0a	17.9b	15.9a	17.4d	18.6a	17.1e	1.32
Promedio	19.9a	20.7a	17.7b	20.2a	18.0b		
CP1	-0.88	-0.61	0.72	-0.98	1.75		

CP; componente principal: † Medias con letra iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la localidad L5 (Montecillo), las poblaciones presentaron una mayor interacción o fueron más inestables, debido posiblemente a su inadaptación a esta localidad, y su longitud de mazorca fue de 18.0 cm. Por otro lado, las localidades L2 (Ixtlán del Río) y L3 (Jala) presentaron la menor interacción, pero en esta última localidad la longitud de mazorca fue ligeramente inferior a la media general (Cuadro 11).

Las poblaciones P5, P10 (UAN-2009C), P11 (UAN-2010), P13 (13XT) y P14 (8XT) presentaron valores absolutos superiores a 0.60 sobre el CP1 (Figura 4), y por esto se infiere que contribuyeron en mayor grado a la interacción poblaciones por localidades.

Con respecto al análisis AMMI, se identificaron dos poblaciones (P3 y P4) con CP de valor menor al valor absoluto 0.20; es decir, estas poblaciones presentaron efectos pequeños de interacción población x localidad (Crossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002); además, estas poblaciones mostraron longitudes de mazorca de 19.4 a 19.6 cm, valores ligeramente superiores al de la media general (Figura 4).

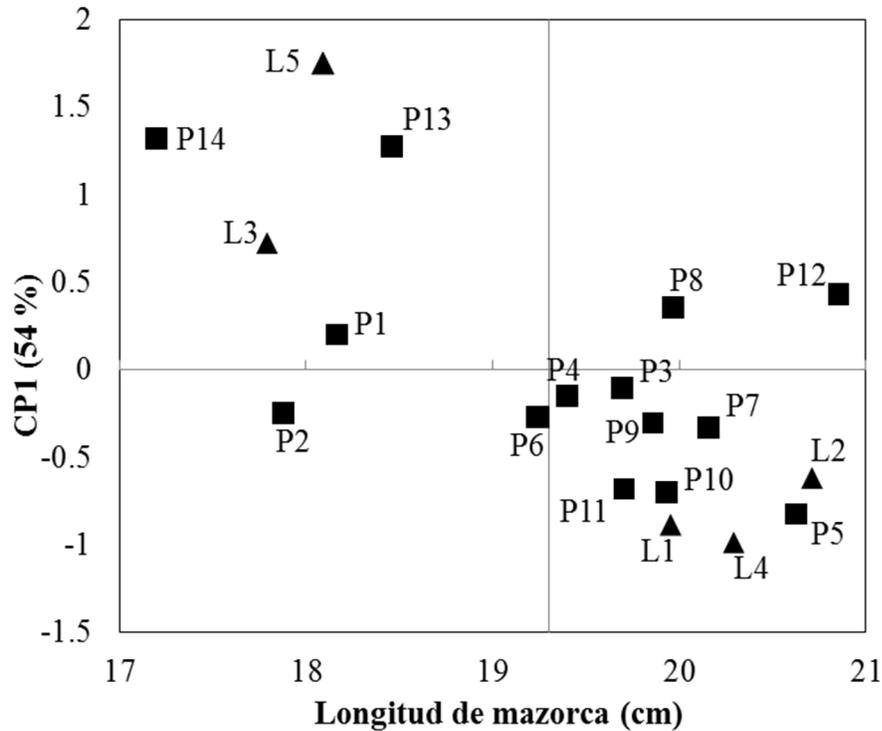


Figura 4. Representación gráfica del CP1 en función de la longitud de mazorca promedio de 14 poblaciones evaluadas en cinco localidades.

En la Figura 5 se observa el comportamiento de las poblaciones en LMZ y las de mayor interacción con las localidades en función de las coordenadas del CP1 y CP2. Las poblaciones P12 (UAN-2011), P14 (8XT), P10 (UAN-2009C), P5 y P13 (13XT), junto con las localidades L1 (San José de Mojarras), L2 (Ixtlán del Río) y L5 (Montecillo) influyeron más en la interacción poblaciones x localidad, reforzando el hecho de que las poblaciones fueron sensibles a los cambios ambientales de los sitios de evaluación para LMZ.

Con base en la mayor longitud de los vectores de cada ambiente, las localidades que mejor discriminaron a las poblaciones (Figura 5) fueron; San José de Mojarra, Ixtlán del Río, y Montecillo (L1, L2 y L5), de acuerdo con los criterios aplicados por Kempton (1984) y Yan *et*

al. (2000). Tales criterios indican que los que están más retirados del origen discriminan mejor a los genotipos; los que están más cercanos al origen de la gráfica son los menos sensitivos o los que más se parecen al promedio.

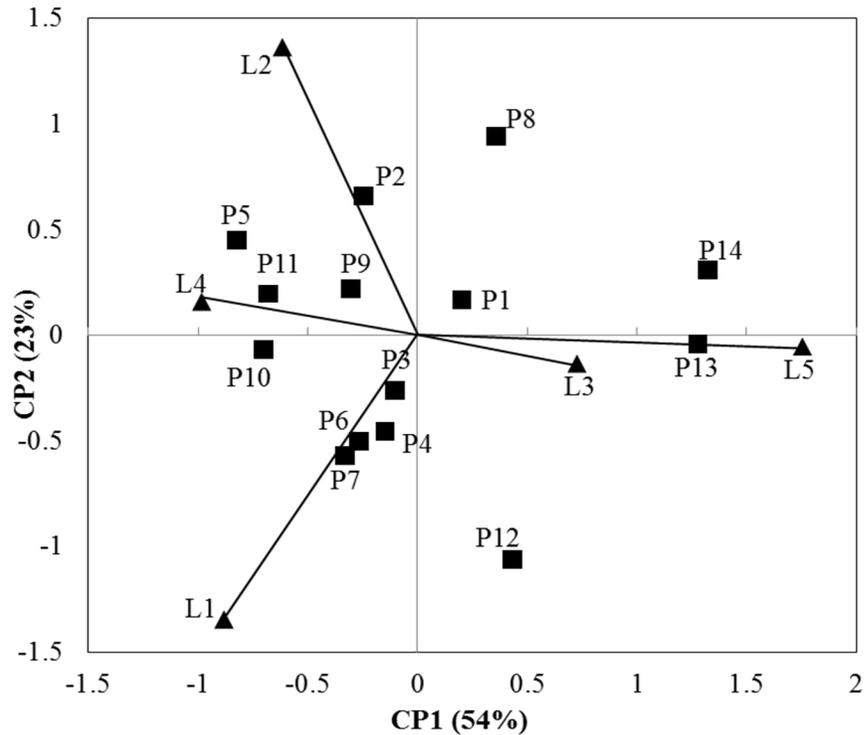


Figura 5. Biplot AMMI para 14 poblaciones. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores las localidades.

Tres poblaciones mostraron una tendencia cercana a cero, y, en un sentido más estricto, las poblaciones (P3, P4 y P1), fueron las más estables en las localidades donde fueron evaluadas (Figura 5).

En el gráfico biplot GGE de la Figura 6 se pueden apreciar las respuestas de las poblaciones a las localidades involucradas en el experimento. Según Yan y Rajcan (2002), sitios dentro del mismo sector comparten el mismo genotipo ganador, y sitios en diferentes sectores tienen

diferentes genotipos ganadores; esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que como se puede apreciar, el polígono se encuentra dividido en cinco sectores, y en el sector donde se ubicaron las localidades L5, L1, y L3, la población P12 (UAN-2011) tuvo el mejor desempeño. Por otro lado, Yant *et al.* (2000) señalan que el grupo germoplásmico que está en el vértice de cada sector es el que tiene mejor desempeño en los ambientes incluidos. En el sector donde se ubicaron las localidades L4 y L2, la población que tuvo un mejor desempeño fue la P5.

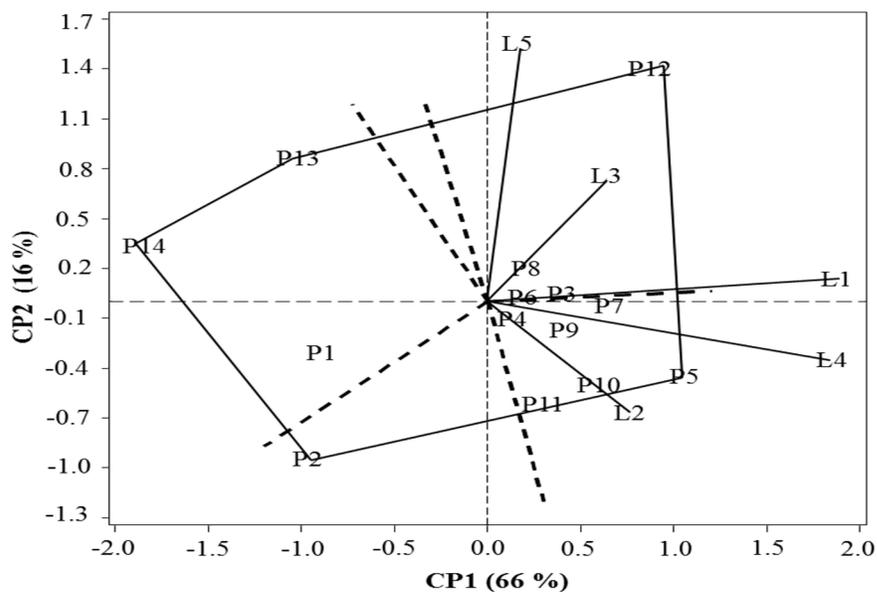


Figura 6. Biplot SREG para 14 poblaciones de maíz. Los puntos (P) representan a las poblaciones y los vectores a las localidades.

De acuerdo con Yan y Rajcan (2002), los genotipos ideales deben tener alta capacidad de rendimiento (CP1) y una pequeña puntuación para (CP2) (alta estabilidad). Las poblaciones que se acercaron a estas características fueron: P6 (Montecillo 2007), P3, y P7 (UAN-2008), pues presentaron una longitud aceptable y mayor estabilidad.

Según Yan *et al.* (2001), los cultivares ideales deben tener una gran puntuación de CP1 (alta media de rendimiento) y una puntuación para CP2 cercana a cero (más estabilidad). De manera similar, los ambientes ideales de prueba deben tener gran puntuación CP1 (mas discriminación de los cultivares) y puntuaciones CP2 cercana a cero (más representativas de un promedio de ambientes). En este caso la localidad más representativa fue L1 (San José de Mojarras).

Las localidades que mejor discriminaron a las poblaciones en los diferentes sectores fueron: L1, L4, y L5, por presentar el vector más largo. Como indican Yant *et al.*, (2007), ambientes de prueba con vectores largos son los más discriminativos de los genotipos, si los marcadores de los ambientes de prueba se ubican cerca del origen del biplot; es decir, si el ambiente de prueba tiene un vector muy corto significa que todos los genotipos se comportan de manera similar y por lo tanto provee poca o nula información acerca de las diferencias de los genotipos.

3.4 CONCLUSIONES

3.4.1 Rendimiento de Grano por Planta (RGp, g)

Las poblaciones UAN-2009B y P3 presentaron la menor interacción población x localidad, mientras que P5 y UAN-2009A tuvieron la mayor. Por otro lado, la población P5 y la localidad Xalisco, tuvieron los mayores rendimientos de grano por planta, y fueron menos inestables.

El modelo Biplot GGE-SREG identificó a la población UAN-2010 como la de mayor adaptación a través de las localidades; sin embargo, su rendimiento de grano por planta estuvo ligeramente por debajo de la media general.

Las poblaciones UAN-2009A y Montecillo 2007 tuvieron bajos rendimientos y baja capacidad de adaptación en las localidades de prueba.

3.4.2 Longitud de Mazorca (LMZ, cm)

Las poblaciones P1, P3 y P4 fueron las que presentaron una baja interacción población x localidad, en tanto que P5, UAN-2009C, y los híbridos varietales 13XT y 8XT presentaron valores altos de interacción. Por otro lado, la localidad que mejor discriminó a los genotipos fue San José de Mojarras, con un valor de 19.9, el cual resultó ligeramente arriba de la media general.

En el modelo Biplot GGE-SREG identificó a la población P3 como la de mayor capacidad de adaptación en las localidades de prueba, con un valor promedio de 19.6 cm.

En general, pudo observarse que tanto para rendimiento de grano por planta como para longitud de mazorca, la población que presentó menor interacción fue P3, y la que contribuyó más a la misma fue P5.

No se encontró una población que tuviera alta capacidad de adaptación para rendimiento de grano por planta y para longitud de mazorca.

Tanto para rendimiento de grano por planta como para longitud de mazorca, la mayor variación fue atribuible a los efectos de localidad.

3.5 LITERATURA CITADA

Aguilar-Castillo J. A, Carballo-Carballo A (2007). Recuperación conservación y aprovechamiento de la raza Jala de maíz: una alternativa para las razas en peligro de extinción. Colegio de Postgraduados-Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos, RED MAIZ. pp. 3-27.

Cornelius, P. L., and J. Crossa. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multienvironment cultivar trials. *Crop Science*. 99: 998-1009.

Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trial. *Adv. Agron.* 44:55-85.

- Crossa, I., H. Gauch and R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30:493-500.
- Crossa, J., y P. L. Cornelius. 2000. Modelos lineales bilineales para el análisis de ensayos de genotipos en ambientes múltiples. In: *Simposium: Interacción Genotipo x Ambiente. XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C.* 15-20 de octubre. Irapuato, México. pp: 61-88.
- Crossa J., J. Burgueño, P. L. Cornelius, G. McLaren, R. Trethowan, And A. Krishnamachari. 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Science* 46:1722-1733.
- Cubero, J., L. y F. Flores. 1995. Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. 12/94, monografías, Junta de Andalucía. 176 p.
- Espinoza, A. Ortega, D. y R. Urbina. 2002. Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes Contrastantes de Nicaragua. En: *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. Volumen 6.* Pp.32-38.
- Fuentes, L. M. R. y W. Quemé. 2005. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de México y Centro América. Informe del PCCMA Guatemala Abril 2005.
- Gauch, H. G. 1992. *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI Analysis of Factorial Designs.* Elsevier Science Publishers, USA. 278p.
- Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76:1-10.
- Gleenys, A. P. Monasterio, R. Rea. (2006). Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical.* 56(3):369-384.
- Gordón-Mendoza R, I. Camargo-Buitrago, J. Franco-Barrera, A. González-Saavedra (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17:189-199.
- Kempton, B. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science* 103:123-135.
- Márquez, S. F. 1976. El problema de la interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. Ed. PATENA, A.C. universidad Autónoma, Chapingo, México. 113p.

- 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 Tropical* 52(3):255-275.
- Rodríguez, P., J. E., J. Sahagún, H. E. Villaseñor, J. D. Molina y A. Martínez. 2005. La interacción genotipo x ambiente en la caracterización de áreas temporeras de producción de trigo. *Agrociencia* 39: 51-64.
- Salas, E., H. Juárez., D. Giraldo., W. Amorós., R. Simón. Y M. Bonierbale. 2009. Modelos de análisis de estabilidad y definición de ambientes basados en GIS. Centro internacional de la Papa apartado 1558, Lima 12, Perú.
- Vargas, M. and J. Crossa, 2000. The AMMI Analysis and Graphing the Biplot. *Biometrics and Statistical Unit, CIMMYT. México.* 42 p.
- Wong, R. R., E. Gutiérrez del Río., S. A. Rodríguez, H., A. Palomo G. H. Córdova O., A. Espinosa B. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la comarca lagunera. *Universidad y ciencia.* Vol. 22, núm. 002 pp. 141-151.
- Yan, W. 2001. GGE-biplot- a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agro. J.* 93:1111-1118.
- Yan, W.; A. Hunt; Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science.* 40: 597-605.
- Yan W., P. L. Cornelius, J. Crossa, and L. A. Hunt. 2001. Two types of GGE biplots for analysing multi-environment trial data. *Crop Science* 41:656-663.
- Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science.* 42:11-20.
- Yan, W. and M. S. Kang. 2003. *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists.* CRC Press, Boca Raton, Fl. 271 p.
- Yan W., M. S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P. L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science* 47:643-655.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

Se define a la interacción genotipo x ambiente como un cambio en el comportamiento relativo de un carácter de dos o más genotipos medidos en dos o más ambientes (Bowman, 1972), y los factores ambientales causantes de tal interacción pueden ser de dos tipos: predecibles y no predecibles. Los predecibles ocurren en forma sistemática o bajo el control humano, e incluyen: tipo de suelo, fecha de siembra, espaciamiento entre surcos, densidad de siembra, frecuencia de riegos, dosis de fertilización, etc. Por otro lado, los no predecibles fluctúan de manera aleatoria, y son por ejemplo: lluvias o sequías, temperatura (calor o heladas), humedad relativa, vientos, granizadas, plagas y enfermedades, entre otros. Así, para el carácter longitud de mazorca, con respecto a los factores ambientales, pudo observarse que éste tuvo los mejores valores en las localidades L2 y L4, Ixtlán del Río y Xalisco, Nayarit, respectivamente (Cuadro 1), las cuales tuvieron las siguientes características ambientales: suelos de textura franco con un pH entre 4.7 y 6.5, temperatura media anual de 23°C y una precipitación pluvial media entre 850 y 1200 mm. Por otro lado, el caso contrario para el carácter se presentó en la localidad L3 (Jala), la cual tiene prácticamente las mismas condiciones ambientales que L2 y L3, pero en lo que sí resultó muy diferente fue en que el lote de evaluación ahí tuvo una textura de suelo arenosa, la que seguramente influyó de manera no favorable para que la longitud de mazorca se pudiera expresar mejor, como ocurrió en L2 y L4, pues el suelo arenoso tiene una baja capacidad de retención de humedad y en general es un suelo pobre, que cuando llueve se seca rápido. En este punto podría decirse que la siembra de “húmedo”, como se le conoce localmente en Jala, Nay., es un factor decisivo en la expresión de la mazorca larga; esto cuando el maíz Jala se siembra en buenos suelos y en densidades de poblaciones menores a las 40 mil plantas por hectárea, pero también podría especularse que en los últimos años ha habido un cambio ambiental,

principalmente en el temporal, que junto con otros factores ambientales predecibles, han hecho que la siembra de húmedo se reduzca en tiempo y espacio, afectando esto a la raza Jala.

Con respecto a otros factores que están influyendo en la baja expresión del tamaño grande de mazorca, se encuentra la desaparición de los agricultores tradicionales. Fueron ellos quienes ciclo tras ciclo de cultivo seleccionaban sus mazorcas tomando en cuenta solamente la longitud de las mismas (Selección Visual), pero en años recientes sus descendientes no han continuado la tradición y/o costumbre de cultivar y/o conservar las semillas típicas (mazorcas largas). Aunado a lo anterior, la introducción de nuevos cultivos, entre ellos los híbridos, y nuevas vías de comunicación han degradado los suelos, haciéndolos más pobres, y también han ocasionado que se reduzca la superficie de siembra de esta raza, originando con ello pérdidas importantes de la semilla típica, incluida la contaminación de la misma por flujo genético, lo que se conoce como erosión genética.

Por otro lado, cuando se analizó la interacción genotipo x ambiente usando los modelos AMMI y SREG, se encontraron diferencias entre los resultados arrojados por ambos, tanto para RGp y LMZ. Con relación a la longitud de mazorca, el modelo AMMI explicó 77% de los efectos combinados de poblaciones y de la interacción genotipo x ambiente; es decir, el CP1 explicó el 54% de la variación entre poblaciones, y el CP2 explicó el 23% de la varianza de la interacción genotipo x ambiente. Por su parte, el modelo SREG explicó el 84 % de la variabilidad de efectos combinados; así, el CP1 explicó el 66 % correspondiente a la variabilidad entre poblaciones, mientras que el CP2 explicó el 16 % de la variabilidad atribuible a la interacción genotipo x ambiente. En ambos modelos, los efectos de localidades tuvieron gran importancia, ya que provocaron la mayor variación en la expresión de longitud de mazorca, la cual representó el 28

% de la variabilidad total. De acuerdo con los resultados obtenidos, el modelo que mejor ayudó a interpretar la interacción genotipo por ambiente fue el modelo SREG.

V. CONCLUSIONES GENERALES

La población P5 presentó un promedio de longitud de mazorca, de 20.6 cm, y un promedio de rendimiento de grano por planta de 131 g, por lo que representa una buena base genética para recuperar la longitud de mazorca y buen rendimiento de grano en la raza Jala mediante selección recurrente.

La población que presentó menor interacción fue P3, y la que contribuyó más a la misma fue P5.

Para rendimiento de grano por planta, el modelo Biplot GGE-SREG identificó a la población UAN-2010 como la de mayor adaptación.

En el modelo Biplot GGE-SREG se identificó a la población P3 como la de mayor capacidad de adaptación para longitud de mazorca.

La localidad que mejor discriminó a los genotipos fue San José de Mojarras.

No se encontró una población que tuviera alta capacidad de adaptación tanto para rendimiento de grano por planta y longitud de mazorca.

En general, las poblaciones tuvieron un buen rendimiento, comparado con el de los híbridos testigo, pero ninguna de ellas tuvo mazorcas mayores a 35 cm, con lo que se comprueba que la raza Jala ha sufrido de erosión genética grave para longitud de mazorca.

VI. LITERATURA CITADA GENERAL

- Aguilar-Castillo J. A, A. Carballo-Carballo, F. Castillo-González, A. Santacruz-Varela, J. A. Mejía-Contreras, J. Crossa-Hiriarte, G. Baca-Castillo (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México*. 32:57-66.
- Anderson E. and H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their Recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69-86.
- Arellano Hernández A, C Arriaga-Jordán (2001). Why improved maize (*Zea mays*) varieties are utopias in the highlands of central Mexico. *Convergencia* 8:255-276.
- Babic V, M. Babic and N. Delic. 2006. Stability parameters of commercial maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Genetika*. Vol. 38, No.3, pp. 235-240.
- Bellon M R (1996). The dynamics of crop infraspecific diversity: A conceptual framework at the farmer level. *Econ. Bot.* 50:26-39.
- Bellon M, D Hodson, D Bergvinson, D Beck, E Martínez Romero, Y Montoya (2005) Targeting agricultural research to benefit poor farmers: Relating poverty mapping to maize environments in Mexico. *Food Policy* 30:476-492.
- Bommer, D. F. R. 1991. The historical development of international collaboration in plant genetic resources. *In: Searching for New Concepts for Collaborative Genetic Resources Management* van Hintun Th. J. L., L. Frese, and P. M. Perrin (eds). Papers of the EUCARPIA/IBPGR Symposium. International Board for Plant Genetic Resources. Roma, Italia. pp: 3-12.
- Bowman, J. C. 1972. Genotype x environment interactions. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 4(I), 117-123.
- Brown, W. L. and Goodman. M. M. 1977. Races of corn. *In: Sprague, G. F. (ed.), Corn and Corn Improvement*. Number 18. Series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, U. S. A. pp. 49-88.
- Cecarelli S (1994) Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77:205-219.
- CIMMYT. Orgullo y pragmatismo sostiene el maíz gigante de México (2007). <http://www.cimmyt.org/es/que-hacemos/investigacion-sobre-maiz/item/pride-and-pragmatism-sustain-a-giant-mexican-maize>. Consultado 17/06/2013.

- Coutiño E. B. y Vidal M. V. 2003. Estabilidad del rendimiento de grano de Híbridos de Maíz usando mejores predictores lineales insesgados. *Agrociencia* Vol. 37: 605-616.
- Dobzhansky, T. 1982. *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press. Series: The Columbia Classics in Evolution. New York. 364 p.
- Espinoza C., A. 1997. Comportamiento *per se* y ACG de caracteres relacionados con la producción de semillas en líneas de maíz (*Zea mays* L.) y sus cruza. Tesis de Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados.
- Figuroa J D C, R A Mauricio, S Taba, E Morales, A Mendoza-Gaytán, F Rincón-Sánchez, L M Reyes, J J Véles (2005). Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and Shouth and Central America. *In: Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, in situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding*. S Taba (ed). Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, April 7-10, 2003. México, D.F.: CIMMYT. 71 p.
- Hernández X., E. 1972. Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8: 46-51.
- Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences to growers. *Agron. J.* 85:754-757.
- LAMP (Proyecto Latinoamericano de Maíz). 1991. ARS-USDA, CIMMYT, Pioneer Hi-Bred International Inc., Universidad Agraria La Molina (Perú).
- Livera M., M. 1979. Adaptación y adaptabilidad de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes al frío. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Muñoz O. A., V. A. González H., M. Livera M., A. López H. y J. Ron P. 1976. Mejoramiento de maíz en el CIAMEC. II. Ampliación de la base germoplásmica y su aprovechamiento considerando caracteres agronómicos y rendimiento. En: Memoria del Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. Monterrey, N.L. pp. 113-123.
- Ortega, R. A.; Sánchez, G. F.; Castillo, G. y Hernández, J. M. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. In Ortega P., R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., y M. Livera M. (eds.). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Soc. Mex. de Fitogenética, A. C., Chapingo, México. pp. 161-185.
- Perales H R, S B Brush, C O Qualset (2003). Dynamic management of maize landraces in central Mexico. *Econ. Bot.* 57:21-34.

- Pham H. N, S. R. Waddington and J. Crossa. 1989. Yield stability of CIMMYT maize gerplasm in international and on-farm trials. En Variability in grain yields implications for agricultural research and policy in developing countries (pp 185-205). USA: IFPRI by Johns Hopkins University Press. USA.
- Rice, E. B, M. E. Smith, S. E. Mitchell, S Kresovich (2006). Conservation and change: a comparison of in situ an ex situ conservation of Jala maize germplasm. Crop Science. 46:428-436.
- Rueda, R. J. A., J. M. Cotes T. 2009. Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípica a través de validación cruzada. Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellin.62: 5111-5123.
- Sánchez G. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Econ. Bot. 54(1):43-59.
- Vidal-Martínez V. A, F. Herrera-Cedano, B. Coutiño-Estrada, J. J. Sánchez- González, J. Ron-Parra, A. Ortega-Corona y M. de J. Guerrero-Herrera (2010). Identificación y localización de una nueva especie de *tripsacum* spp. en Nayarit, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 33 (4):27.30.