

Valoración Agronómica y Genética de Híbridos Triples de Maíz a través de Ambientes

Agronomic and Genetic Assessment of Corn Hybrids there-way through Environments

Daniel Sámano Garduño^{a*}, Humberto De León Castillo^a, Gustavo A. Burciaga Vera^a, María Elena González Guajardo^a, Alfredo De la Rosa Loera^a y Martha Jaramillo Sánchez^a

^a Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México

Resumen

Cuando se desea explotar el vigor híbrido se debe contar con líneas con buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria estimada por el diseño línea x probador. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento agronómico y genético de una serie de cruzas triples de maíz, considerando la interacción genotipo-ambiente para la identificación y selección del material con excelente potencial de rendimiento y adaptabilidad. Se evaluaron 60 híbridos triples formados entre el cruzamiento de 15 líneas con cuatro cruzas simples. La evaluación fue en el 2008 en tres localidades. La variable estudiada fue rendimiento de mazorca. Se hizo un análisis de varianza en forma combinada a través de localidades y el modelo línea x probador. Las interacciones genotipo x ambiente y línea x probador se analizaron siguiendo el modelo multiplicativo "análisis de regresión de los sitios" (sreg) originando el gráfico biplot gge. Se estimó la acg de líneas y probadores. Los resultados indicaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para localidades, híbridos, líneas, probadores y en línea x probador. La diferencia en las líneas indicó que la población de origen presentó una amplia variabilidad genética. Mientras que en los probadores se debió a que representan a una población tropical y una población exótica. Contribuyendo a la variación de los híbridos los efectos genéticos aditivos y de dominancia en proporciones similares. Existió interacción híbridos x localidad. La gráfica biplot gge mostró que las localidades representaron a un mismo mega-ambiente, existiendo mayor relación entre n.l. y gto. Mientras que hgo. Tuvo el mayor poder de discriminación. Los híbridos de mejor potencial de rendimiento y estabilidad fueron el 37, 3, 22 y 43. Los probadores no presentaron interacción cruzada, siendo el probador 3 el de mayor poder de discriminación. Las mejores líneas en acg fueron la 13, 7, 11 y 3.

Palabras clave: biplot gge, estabilidad, línea x probador.

Abstract

When you want to exploit the hybrid force must be lined with good agronomic performance and excellent combining ability estimated by the line x tester design. The objective of this research was to study the genetic and agronomic performance of a series of triple crosses of maize, considering the genotype-environment interaction for identification and selection of material with excellent yield potential and adaptability. 60 triple hybrids were evaluated formed between the crossings of 15 lines with four simple crosses. The evaluation was in 2008 at three locations. The studied variable was performance cob. It was an analysis of variance combined across locations and the line x tester model. Genotype x environment interactions and line x tester were analyzed following the model multiplicative regression analysis of sites "(sreg) causing the gge biplot graph. It was estimated gca of lines and testers. The results indicated significant differences ($p \leq 0.01$) for locations, hybrids, lines, testers and line x tester. The difference in the lines indicated that the source population presented a wide genetic variability. While testers were due to a population representing a population of tropical and exotic. Contributing to the variation of the hybrid additive genetic effects and dominance in similar proportions. There was interaction hybrid x location. The gge biplot graphically showed that the localities represented the same mega-environment a greater relationship between nl and guanajuato. While hidalgo. Had the highest discriminatory power. The best hybrid yield potential and stability were the 37, 3, 22 and 43. The testers did not have interaction cross, where the tester 3, the greater power of discrimination. The best lines in gca were 13, 7, 11 and 3.

Keyword: gge biplot, stability, line x tester.

Introducción

Uno de los elementos más importantes dentro de un programa de mejoramiento genético de plantas, es contar con líneas con buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria para lograr resultados satisfactorios en la formación de híbridos sobresalientes (Fan *et al.*, 2003) ya que de esta manera se explota el vigor híbrido (De León *et al.*, 2005).

Sin embargo, la evaluación de líneas a través de híbridos, es la fase más cara y crítica en el mejoramiento del maíz, debido a que el número de líneas se incrementa en cada generación de endogamia y su evaluación en todas las combinaciones posibles no es factible (Castañón *et al.*, 2002). En tal caso, se puede hacer uso del diseño línea x probador propuesto por Singh y Chaudhary (1985), en donde la elección de un probador deseable está basada en la simplicidad en su uso, habilidad para clasificar el merito relativo de las líneas, maximizar la ganancia genética, e incrementar la media de rendimiento (Russell *et al.*, 1992).

La elección apropiada de probadores es muy importante debido a que se desea incrementar la información sobre las líneas evaluadas. Por lo general, el mejorador considera varias alternativas en la elección de un probador: a) presencia de grupos heteróticos; b) amplia vs reducida base genética; c) alta vs baja frecuencia génica; d) aptitud combinatoria general vs específica; e) alto rendimiento vs bajo y; f) varios probadores vs uno solo (Hallauer, 1975).

Es importante considerar además que se tengan clasificados los probadores en grupos heteróticos, ya que el incremento en la divergencia entre estos materiales, aumenta la probabilidad de seleccionar alelos complementarios favorables en diferentes loci (Betrán y Menz, 2004).

Cuando se utilizan probadores divergentes en la evaluación de líneas, estas diferencias pueden reflejarse en la existencia de interacciones línea x probador, la cual es indicadora de la existencia de efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las líneas con los probadores y que ponen en evidencia la presencia de dominancia y/o efectos epistáticos que involucran dominancia en el control del carácter en cuestión (Palacios y Ángeles, 1990)

No obstante, nunca se debe de olvidar que la evaluación del material genético de interés debe realizarse en diferentes localidades que formen un mega-ambiente, ya que la exploración de la interacción genotipo x ambiente en ensayos multi-regionales es elemental sobre todo en las etapas finales del mejoramiento por ser uno de los factores que deben determinar la selección y recomendación de genotipos superiores, porque 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 (Cossa *et al.*, 2006).

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento agronómico y genético de una serie de cruzas triples de maíz, considerando la interacción genotipo-ambiente para la identificación y selección del material con excelente potencial de rendimiento y adaptabilidad.

Materiales y Métodos

En esta investigación se utilizaron 15 líneas endogámicas de maíz (S_5) derivadas de una población enana y 4 cruzas simples representativas de las poblaciones tropical (Probador

1 y 3) y exótico (Probador 2 y 4), todos ellos formados en el Programa Bajío del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Cada una de las líneas fue cruzada con los cuatro probadores en Tepalcingo, Mor. durante la ciclo otoño – invierno (O-I) 2007-2008, originando 60 híbridos triples, que fueron evaluados en la Primavera del 2008 en El Prado, Galeana, N.L. (localidad 1), Tlahuelilpan, Hgo. (localidad 2) y, Celaya, Gto. (localidad 3) con altitudes de 1697, 2040 y 1754 msnm, respectivamente.

El diseño de siembra fue bajo un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa-latice con dos repeticiones por localidad, en donde la parcela experimental consistió en un surco de 4 m con 30 plantas por surco, con una distancia de 0.80 m entre surcos en las localidades 2 y 3, y de 0.92 m en la localidad 1. La variable estudiada fue rendimiento de mazorca al 15.5 % de humedad. Los resultados fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2004) en forma combinada a través de localidades, fraccionando la fuente de variación híbridos en línea, probador y línea x probador, siguiendo el modelo línea x probador descrito por Singh y Chaudhary (1985).

La aptitud combinatoria general (ACG) de líneas y probadores se estimó de la siguiente manera: $g_i = \mu_i - \mu$; $g_j = \mu_j - \mu$; donde g_i y g_j son los efectos de ACG de la cruza $i \times j$; μ_i , μ_j y μ son la media de las cruzas donde interviene el progenitor i , j y la media general, respectivamente. En las pruebas de hipótesis de las fuentes de variación localidades, bloques, tratamientos y los componentes de la descomposición de este último se utilizó el cuadrado medio de la interacción híbridos x localidad para calcular el error estándar que refleje la respuesta a través de ambientes.

La interacción genotipo x ambiente se analizó siguiendo el modelo multiplicativo “análisis de regresión de los sitios” (SREG) originando el gráfico biplot GGE. El gráfico generado adquirió un término adicional al considerar los eigenvalores correspondientes a las coordenadas del promedio ambiental (CPA) llamado probador virtual (P), originando una rotación de los ejes y, de esta manera, identificar a los genotipos más cercanos a la abscisa como los más estables. Bajo este mismo principio se modeló también la interacción de línea x probador y la ACG de las líneas y probadores x localidad.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza (Cuadro 1) detectó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para la fuente localidades, indicando que las localidades utilizadas en esta investigación presentaron condiciones climáticas, edáficas y de manejo diferente. El involucrar germoplasma diferente (enano, tropical y exótico) para la formación de los híbridos bajo estudio, origina que éstos presentaran diferencias significativas ($P \leq 0.01$). También se debe considerar la variación genética de las líneas y de los probadores. La importancia de estos resultados reside en que la cruza que sea superior a las demás, puede ser considerada como un patrón heterótico de importancia, que sirva para la clasificación de nuevas líneas en grupos heteróticos.

Al encontrar estos resultados, fue necesario particionar la variación presente en los híbridos en los componentes que lo integraron, como fue: línea, probador y la interacción línea x probador. Los resultados (Cuadro 1) indicaron que los tres componentes de descomposición presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$). Las líneas, aún y cuando fueron derivadas de una misma población (enana) se diferenciaron entre sí, indicativo de que la población de origen presentó una amplia variabilidad genética. La diferencia entre los

probadores era de esperarse debido a que dos de ellos pertenecen a una población tropical y los otros dos a una población exótica.

La contribución que tuvieron las líneas a la suma de cuadrados de híbridos fue de 43.31 %, mientras que el efecto de los probadores fue de 11.04 % y, el resto (45.65 %) fue causada por la interacción de los dos componentes antes mencionados. Si se considera que la variación presente en líneas y probadores es debida a efectos genéticos aditivos y que la interacción de línea x probador es atribuida a efectos genéticos de dominancia o no aditivos, entonces la variación de los híbridos fue causada por ambos efectos genéticos, aunque ligeramente superior la contribución de los aditivos (54.43 %).

Cuadro 1. Análisis de varianza de 60 híbridos triples de maíz evaluados en tres localidades durante la primavera del 2008

| F.V. | G.L. | SC | CM | |
|-------------------|----------|----------|---------|----|
| Localidades (Loc) | 2 | 185.435 | 92.718 | ** |
| Bloques/Loc | 3 | 36.709 | 12.236 | |
| Híbridos (Hib) | 59 | 3272.581 | 55.467 | ** |
| Línea (Lin) | 14 | 1417.297 | 101.236 | ** |
| Probador (Prob) | 3 | 361.203 | 120.401 | ** |
| Lin x Prob | 42 | 1494.081 | 35.573 | ** |
| Loc x Hib | 118 | 1391.233 | 11.790 | ** |
| Loc x Lin | 28 | 334.064 | 11.931 | |
| Loc x Prob | 6 | 275.234 | 45.872 | ** |
| Loc x Lin x Prob | 84 | 781.935 | 9.309 | |
| Error | 177 | 1407.213 | 7.950 | |
| Total | 359 | 6293.172 | | |
| C.V. | 25.779 % | | | |
| Media | 10.938 | | | |

* y ** = estadísticamente significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; F.V. = fuentes de variación; G.L. = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrados medios; C.V. = coeficiente de variación

La selección de los mejores híbridos no debe realizarse considerando solo las medias generales obtenidas a través de localidades ya que la interacción híbridos x localidad presento diferencias significativas ($P \leq 0.01$). Según Gordon *et al.* (2006) la interacción genotipo ambiente (IGA) ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente. Esta interacción merece gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción, es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes.

En estos casos se puede utilizar el modelo de regresión de sitios (SREG). Este modelo, que incluye en el termino bilineal $G + GE$, proporciona un análisis grafico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos denominado biplot GGE. Este grafico permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta (Ibañez *et al.*, 2006).

En la Figura 1 se aprecia que las tres localidades involucradas en el estudio son representativas del mega-ambiente de altitudes intermedias, ya que entre los vectores que representan a las localidades no existe un ángulo mayor a 90° , tal y como lo mencionan Crossa (1990); Crossa *et al.* (1990); y Gauch (1992). Sin embargo, entre las localidades de N.L. y Gto. existió un comportamiento similar en cuanto a la clasificación de los tratamientos, ya que sus vectores se encuentran cercanos. La localidad de Hgo. fue la que tuvo el mayor poder de discriminación de los híbridos, debido a que logró tener el vector de mayor longitud.

Para esta última localidad, se encontró que los híbridos 11, 7 y 32 fueron los que presentaron el mayor rendimiento del total del material evaluado, ya que se encuentran en el vértice donde pasa el vector de la localidad de Hgo. Para las localidades de N.L. y Gto. los tratamientos 31, 41, 43, 22, 13, 2, 3 y 37 fueron los de mejor desempeño, mientras que los genotipos que fueron más estables por estar muy cercanos al probador virtual fueron: 37, 3, 22 y 43. Estos resultados son alentadores para el programa de mejoramiento genético del cual se derivó el germoplasma, ya que se han logrado formar híbridos con un buen potencial de rendimiento y una excelente estabilidad.

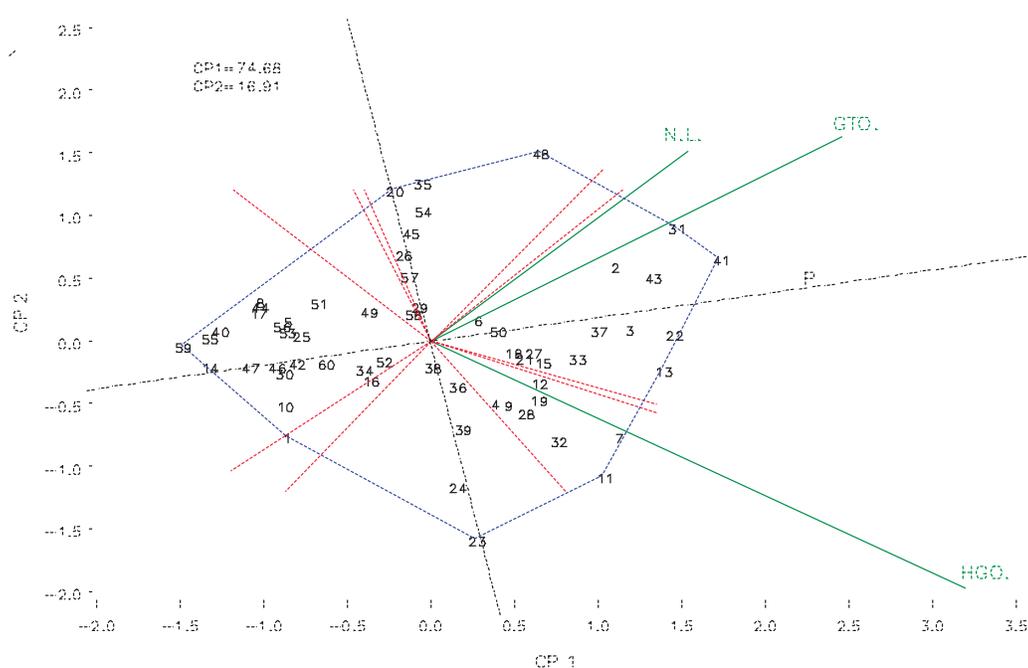


Figura 1. Biplot SREG del comportamiento de 60 híbridos triples de maíz evaluados en tres localidades durante la primavera del 2008

Para esta última localidad, se encontró que los híbridos 11, 7 y 32 fueron los que presentaron el mayor rendimiento del total del material evaluado, ya que se encuentran en el vértice donde pasa el vector de la localidad de Hgo. Para las localidades de N.L. y Gto. los tratamientos 31, 41, 43, 22, 13, 2, 3 y 37 fueron los de mejor desempeño, mientras que los genotipos que fueron más estables por estar muy cercanos al probador virtual fueron: 37, 3, 22 y 43. Estos resultados son alentadores para el programa de mejoramiento genético del cual se derivó el germoplasma, ya que se han logrado formar híbridos con un buen potencial de rendimiento y una excelente estabilidad.

Siguiendo los principios básicos que tiene la gráfica biplot GGE para analizar la interacción genotipo x ambiente, y teniendo en consideración que la interacción línea x probador fue de relevancia, en este trabajo de investigación también se modeló dicha interacción, cuyos resultados fueron concentrados en la Figura 2. Se encontró que las cruza simples formadas entre líneas de la población exótica (probadores 2 y 4) están relacionadas genéticamente, por presentar vectores muy cercanos y de la misma longitud, es decir, las líneas tuvieron un comportamiento muy similar al ser cruzadas con estos dos probadores. También el probador 1 (tropical) guardó cierta relación con los probadores anteriores ya que se encontró en el mismo vértice, aunque hace una clasificación algo diferente.

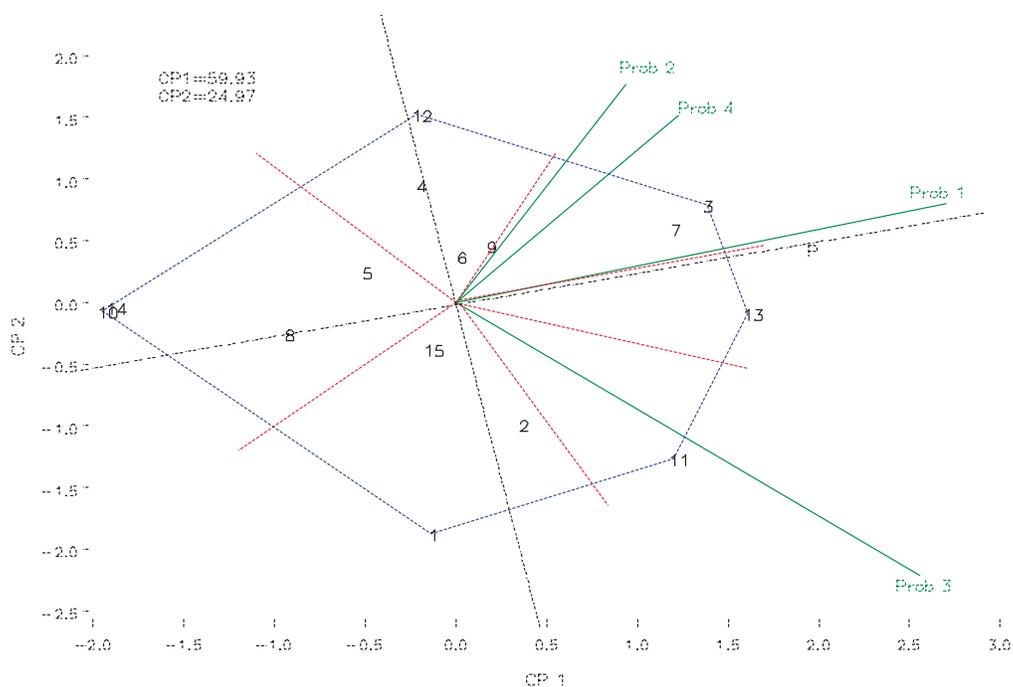


Figura 2. Biplot SREG del comportamiento 15 líneas endogámicas apareadas con cuatro cruza simples utilizadas como probador (Prob) evaluadas en tres localidades durante la primavera del 2008.

El probador 3 (tropical) fue el que más se alejó del resto, el ángulo que formó su vector con el vector del probador 2 estuvo muy cercano a los 90° , lo que indica que probador 3 no está correlacionado con los otros tres probadores, por lo tanto, ordena de manera diferente a los genotipos, pero sin llegar a presentar interacción cruzada (Figura 2). Los probadores que tuvieron el mayor poder discriminatorio fueron los tropicales (prob 1 y 3) debido a que presentaron los vectores más largos. Siendo el Probador 1 el que puede considerarse como representativo, por su cercanía al probador virtual.

En cuanto a las líneas se refiere, se aprecia (Figura 2) la amplia variabilidad que existe entre ellas, confirmando lo antes dicho, pudiendo identificar al menos dos grupos de contraste: uno conformado por las líneas 10, 14 y 8 y el otro formado por las líneas 3, 7, 13 y 11. La razón de esta clasificación está basada en lo descrito por Bernardo (2001); Soengas *et al.* (2003); y Hoxha *et al.* (2004) que establecieron que se puede estimar la distancia genética de un conjunto de líneas a través del uso de probadores divergentes, para clasificarlas en grupos heteróticos.

De tal manera que se puede asumir, en base a estos resultados, que los grupos antes mencionados son grupos heteróticos complementarios, al existir una brecha amplia entre ellos. En otras palabras, existe la posibilidad de formar un patrón heterótico dentro de la población de maíz enano. La gran diversidad genética que presentó dicha población ha sido descrita anteriormente, obteniendo resultados sobresalientes (De León *et al.*, 2005; Sámano *et al.*, 2009).

Ante esta variabilidad presente fue conveniente hacer una selección de las mejores líneas y probadores en base a su aptitud combinatoria general (ACG). Sin embargo, como los probadores presentaron una interacción significativa con el ambiente (Cuadro 1) fue necesario modelar dicha interacción con una grafica biplot GGE, considerando la ACG tanto de los probadores como de las líneas a través de los ambientes de prueba. Cuyos resultados fueron concentrados en la Figura 3.

En este caso, no fue necesaria la rotación de los ejes debido a que los valores promedio de los eigenvalores fueron cercanos a cero, por lo que el componente principal 1 (CP1) se utilizó en forma directa para medir la estabilidad de los genotipos (Figura 3). Estos resultados reflejan que aunque las líneas no hayan presentado interacción significativa con los ambientes (Cuadro 1) al menos cuatro líneas fueron inestables es su comportamiento de ACG a través de los ambientes (líneas 5, 8, 9 y 3) ya que se encontraron retirados del eje del CP1. Caso contrario sucedió con los probadores, que fueron un poco más estables que la mayoría de las líneas.

Para el valor de la ACG modelada a través de los ambientes de prueba (Figura 3) se encontró que las localidades presentaron un comportamiento similar al obtenido en el biplot de la interacción de híbridos x localidad (Figura 1) las localidades que realizaron una clasificación similar fueron Guanajuato y Nuevo León, pero esta ultima tuvo un poder discriminatorio menor, por tener el vector más corto. La localidad de Hidalgo, fue la que presento el vector más largo, lo que indica que tuvo mayor poder para discriminar a las líneas y probadores en cuanto a su ACG.

También se puede apreciar (Figura 3) que las líneas 13, 7, 11 y 3 son las que fueron las mejores en cuanto a su aptitud combinatoria general (ACG) y a excepción de la ultima, tuvieron una buena estabilidad. La superioridad de estas líneas se vio reflejada en el buen comportamiento agronómico que tuvieron sus descendientes, por lo que es de suponer que para obtener híbridos sobresalientes es necesario que al menos uno de sus progenitores tenga un valor alto en el estimado de ACG.

Las líneas 10 y 14 fueron las que tuvieron el valor de ACG más bajo, ya que ninguna de ellas logro combinar bien con los probadores utilizados en esta investigación. Ante estos resultados es posible asumir que estas líneas pertenecen al mismo grupo heterótico a aquel que forman los probadores. Sin embargo, es necesario hacer otro estudio enfocado a evaluar el comportamiento de cruza formadas entre estas líneas para establecer la conformación de un patrón heterótico o concluir que las líneas 10 y 14 son malas en ACG y sea necesario desecharlas.

En cuanto a los probadores, se encontró que aquellos de origen tropical (probador 1 y 3) fueron mejores en su estimado de ACG que los de origen exótico (probadores 2 y 4) por lo que pueden ser usados para la formación de híbridos de potencial agronómico superior. El probador 2 fue el más estable por encontrarse muy cerca al CP1 (Figura 3).

El único probador que presentó una ACG negativa fue el 4, además como no es bueno para clasificar líneas, es necesario ya no considerarlo como probador en evaluaciones posteriores. Es necesario remarcar que el probador 1, tuvo un mejor desempeño en la localidad de Hidalgo, mientras que el probador 3 lo fue en Guanajuato.

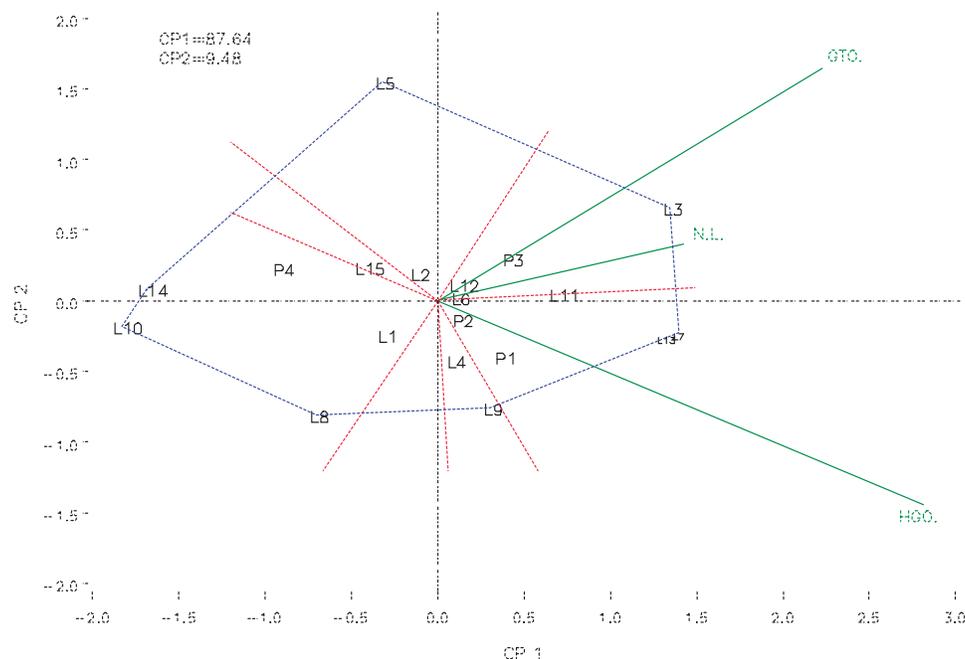


Figura 3. Biplot SREG del comportamiento de aptitud combinatoria general (ACG) de 15 líneas endogámicas (L) y cuatro cruces simples utilizadas como probador (P).

Conclusiones

El comportamiento de los híbridos triples estuvo gobernado tanto por efectos aditivos como por efectos de dominancia, debido a la variación presente en las 15 líneas de la población enana, a los cuatro probadores, la contribución de las líneas fue de 43.31 %, mientras que el efecto de los probadores fue de 11.04 % y, el resto (45.65 %) fue causada por la interacción línea x probador. La localidad de Hidalgo presentó el mayor poder de discriminación de los híbridos, siendo los mejores y los más estables los híbridos 37, 3, 22 y 43. Los probadores no presentaron interacción cruzada siendo el probador 3 el mejor. Las líneas de mejor comportamiento en ACG fueron 3, 7, 13 y 11.

Literatura Citada

- Bernardo R., 2001.** Breeding potential of intra and interheterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41: 68-71.
- Betrán E. J. and M. Menz., 2004.** Corn breeding. *In: Inorganic, History, Technology and Production.* C. Wayne Smith (Ed). Pp. 305-379.
- Castañón N. G., H. Montenegro T., F. Rincón S., N.A. Ruíz T. y H. De León C., 2002.** Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2): 135-142.
- Crossa J., 1990.** Statistical analyses of multilocation trials. *Adv. Agron.* 45: 55-85.

- Crossa, J., H. Gauch y R. Zobel., 1990.** Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- 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.
- De León C. H., F. Rincón S., D. Sámano G., G. Martínez Z., R. Cavazos C. y J.D. Figueroa C., 2005.** Potencial de rendimiento y estabilidad de patrones heteróticos de maíz formados entre cinco grupos germoplásmicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Fan X. M., J. Tan H., M. Chen and J. Y. Yanes., 2003.** Heterotic grouping for tropical and temperature maize inbreds by analyzing combining ability and SRR markers. *Maydica* 48: 251-257.
- Gordon M. R., I. Camargo, J. Franco y A. Gonzalez., 2006.** Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17(2):189-199.
- Gauch H. G., 1992.** Statistical analysis of genional yield trial: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam.
- Hallauer A. R., 1975.** Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. *Proc. Annu. Corn Sorghum. Ind. Res. Conf.* 30: 150-165.
- Hoxha S., M.R. Shariflou and P. Sharp., 2004.** Evaluation of genetic diversity in Albanian maize using SRR markers. *Maydica* 49: 97-103.
- Ibañez, M.A, M.M Cavanagh, N.C Bonamico, 2006.** Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. *RIA.* 35(3):83-93 INTA Argentina.
- Palacios V., O. y A.H. Ángeles H., 1990.** Comparación de probadores para evaluar líneas S1 de maíz (*Zea mays* L.) *Agrociencia serie Fitotecnia* Vol. 1, Num. 1. Pp 123-141.
- Rusell W. A., D. J. Blackburn and K. R. Lamkey., 1992.** Evaluation of modified reciprocal recurrent selection procedure for maize improvement. *Maydica* 37: 61-67.
- SAS Institute., 2004.** SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS INstitute Inc. USA 5121 p.
- Sámano G. D., F. Rincón S., N.A. Ruíz T., J. Espinoza V. y H. De León C., 2009.** Efectos genéticos en cruza directas y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos germoplásmicos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(1): 67-74.
- Singh R. K., B. D. Chaudhary., 1985.** Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Rev. Ed. Kalyani Publishers. New Delhi-Ludhiana. 318 p.
- Soengas P., B. Ordás, R.A. Malvar, P. Revilla and A. Ordás., 2003.** Performance of Flint maize in crosses with testers from different heterotic group. *Maydica* 48: 85-91.