

**COMPORTAMIENTO DE DOCE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE  
GRANO AMARILLO PARA EL BAJIO**

**PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ**

**T E S I S**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO**



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Diciembre de 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**COMPORTAMIENTO DE DOCE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE GRANO AMARILLO  
EN EL BAJIO MEXICANO**

TESIS POR

**PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada  
como requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EN FITOMEJORAMIENTO**

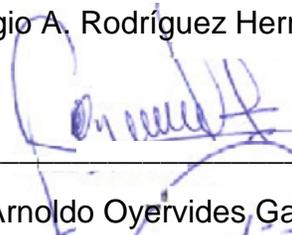
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



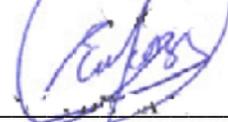
Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera

Asesor:

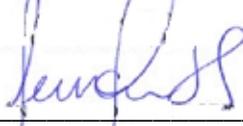


M.C. Arnoldo Oyervides García

Asesor:



Dr. Efraín De la Cruz Lázaro



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2009

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.**

Por darme la oportunidad de realizar los estudios de postgrado.

### **Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.**

Por el apoyo económico otorgado durante el transcurso de mi programa de maestría.

### **A MIS ASESORES:**

Los Doctores **Sergio A. Rodríguez Herrera, Arnoldo Oyervides García y Efraín de la Cruz Lázaro**, profesores investigadores de la UAAAN y UJAT, por compartir sus conocimientos, observaciones, enseñanzas, atinados consejos e innumerables sugerencias, paciencia, confianza y amistad recibida, de quienes he aprendido lo que significa ser un investigador.

Al departamento de Fitomejoramiento, a los profesores del departamento, así como a todo el personal administrativo del programa.

### **A la DIP:**

Dirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por el apoyo otorgado para la realización del postgrado y de la presente tesis, a través del convenio **DACA-03 UJAT-EGRESADO/2008**.

### **A mis maestros.**

Y a...

## **DEDICATORIA**

Antes que nada a Dios nuestro Señor por darme la oportunidad de vivir y poder realizar uno de mis sueños. Sé que todavía hay mucho camino por recorrer, pero con su bendición seguiré caminando en el medio de la investigación.

### **A MIS PADRES: Pedro Guillén Rojas y Guadalupe De la Cruz Martínez**

Por todo su apoyo y confianza que siempre me brindaron, por sus consejos y arraigar en mí los valores más profundos que dan consistencia a la vida, con mucho amor para ustedes.

### **A MIS HERMANOS: El Ing. Jesús Humberto Guillén De la Cruz y María Gabriela Guillén De la Cruz**

Por compartir juntos su entusiasmo dedicación y ayuda, por su confianza y apoyo que siempre me brindaron

**COMPENDIO**

**COMPORTAMIENTO DE DOCE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE GRANO AMARILLO  
EN EL BAJIO MEXICANO**

**POR**

**PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN**

**FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 2009**

**Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera-Asesor-**

**Palabras clave:** *MPLI<sub>N</sub>, MPLI<sub>B</sub>, modelos mixtos.*

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial de rendimiento y la estabilidad de 12 híbridos de maíz de endospermo amarillo en tres diferentes ambientes del bajío mexicano, mediante uso de modelos mixtos e Identificar el o los híbridos de mayor rendimiento con características agronómicas viables. El trabajo se llevo a cabo en tres ambientes; en el municipio de Celaya (2008 y 2009) y Valle de Santiago (2009), el material genético consistió de 12 híbridos de endospermo amarillo y dos testigos, el A7573Y y D2020. La variable evaluada fue rendimiento de grano y para determinar el comportamiento de los híbridos en los tres ambientes se utilizó un modelo mixto, encontrándose que los híbridos 1 y 12, resultaron ser los más estables de acuerdo al criterio de los Mejores Predictores Lineales Insegados en sentido intermedio ( $MPLI_N$ ) y sentido amplio ( $MPLI_B$ ); y los más inestables fueron los híbridos 10 y 2 respectivamente. Con respecto al híbrido experimental 10 y el testigo 13, quienes tuvieron los más altos rendimiento pero inestables, al graficarse se encontró que estos híbridos tienen un comportamiento ascendentes, es decir, en los cálculos de  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  se mueven de manera positiva, ya que estos híbridos interaccionan de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rindan mas grano.

**ABSTRACT**

**BEHAVIOR OF 12 YELLOW MAIZE HYBRIDS IN THE MEXICAN BAJIO**

**BY**

**PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ**

**MASTER OF SCIENCE IN  
PLANT BREEDING**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 2009**

**Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera -Advisor-**

**Index words:** *BLUP<sub>N</sub>, BLUP<sub>B</sub>, mixed models.*

The aim of this study was to evaluate the yield potential and stability of 12 hybrids of yellow endosperm maize into three different areas of Mexico shallow by using mixed models and identify the hybrids or more viable agronomic performance. The work was carried out in three environments: in the town of Celaya (2008 and 2009) and Valle de Santiago (2009), the genetic material consisted of 12 yellow endosperm hybrids and two witnesses, the A7573Y and D2020. The variable analyzed was grain yield and to determine the behavior of hybrids in the three environments used a mixed model, found that hybrids 1 and 12, were the most stable as determined by the best linear unbiased predictor in the sense intermediate ( $BLUP_N$ ) and wider ( $BLUP_B$ ) and the most unstable hybrids were 10 and 2 respectively. With regard to experimental hybrid 10 and the control 13, who had the highest performance but unstable, when graphed found that these hybrids have a bottom-up behavior, calculations  $BLUP_B$  and  $BLUP_N$  a positive move, since Hybrids positively interact with the environments, which is better because we expect that yield more grain.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág</b>
<b>I.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II.- OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>III.- HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
<b>IV.- REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
Antecedentes de los Híbridos de Maíz.....	<b>4</b>
Importancia en la Producción de Híbridos Amarillos de Maíz.....	<b>5</b>
Identificación de Híbridos de Maíz Amarrillo.....	<b>6</b>
Interacción Genotipo-Ambiente.....	<b>7</b>
Parámetros de Estabilidad.....	<b>7</b>
Modelos Mixtos.....	<b>9</b>

	<b>Pág</b>
<b>V.- MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
Descripción del Área de Estudio.....	11
Características edáficas y climáticas de las localidades .....	11
Material genético y manejo del cultivo.....	12
Establecimiento del Cultivo.....	14
Diseño y análisis experimental.....	14
<b>VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>VII.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>22</b>
<b>X.- LITERATURA CITADA.....</b>	<b>23</b>
<b>Xi.- ARTÍCULO CIENTIFICO.....</b>	<b>27</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Pág</b>
<b>1.- Descripción de 12 híbridos de maíz sembrados en el Bajío Mexicano.....</b>	<b>13</b>
<b>2.- Análisis de varianza combinado para la variable rendimiento de grano.....</b>	<b>16</b>
<b>3.- Mejores Predictores Lineales Insegados para rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>), y su interacción genotipo-ambiente.....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pág</b>
<b>1.- Estabilidad del rendimiento del híbrido 1, mediante los MPLI<sub>N</sub> y MPLI<sub>B</sub> en los tres ambientes.....</b>	<b>19</b>
<b>2.- Comportamiento ascendente del híbrido 10, mediante MPLI<sub>N</sub> y MPLI<sub>B</sub> en los tres ambientes.....</b>	<b>20</b>
<b>3.- Comportamiento ascendente del testigo 13, mediante MPLI<sub>N</sub> y MPLI<sub>B</sub> en los tres ambientes.....</b>	<b>21</b>

## INTRODUCCIÓN

En México se demanda 12.6 millones toneladas de maíz amarillo, de las cuales 10 millones de toneladas son demandadas por el sector pecuario y el restante por la industria del almidón y sus derivados (Ramírez *et al*, 2004), por el contrario la producción nacional es de apenas 1.6 millones de toneladas (SIAP 2009), por lo que el grano faltante se importa, ocasionando dependencia alimentaria y fuga de divisas. Asimismo, datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para el estado de Guanajuato durante el 2008 no hubo producción de grano de maíz amarillo.

En cuanto al concepto agronómico de estabilidad de un genotipo, es aquel comportamiento sobre ambientes cambiantes que debiera ser el nivel correspondiente estimado o predicho (Yue *et al.*, 1997). Sin embargo en el mejoramiento de plantas se desean materiales estables en base a su rendimiento, resistentes a factores bióticos como abióticos. Para ello existen métodos para calcular la estabilidad de los mismos, uno de los métodos más usados, son los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966), entre otros. Sin embargo existen los modelos mixtos que se realizan mediante los llamados, Mejores Predictores Lineales Insesgados en el sentido Intermedio (MPLI<sub>N</sub>) y Amplio (MPLI<sub>B</sub>). Si la inferencia es dirigida a la toda la región de

interés, se hace en sentido amplio. Si se expande solamente a los ambientes de prueba de la región de interés, la inferencia se hace en sentido intermedio. Con el modelo mixto podemos obtener la información del vector de soluciones que nos da todos los componentes de cada media del híbrido ( $MPLI_N$ ) y nos permite predecir la media donde se incluirían todas las localidades posibles ( $MPLI_B$ ), por ejemplo, si se siembran en unas tres mil localidades, los efectos Híbridos\*Localidad se cancelarían unos con otros, es decir Híbridos\*Localidad total sería cero.

## **Objetivos**

- 1.- Evaluar el potencial de rendimiento y la estabilidad de 12 híbridos de maíz de endospermo amarillo en tres diferentes ambientes del bajío mexicano, mediante uso de modelos mixtos.
- 2.- Identificar el o los híbridos de mayor rendimiento con características agronómicas viables.

## **Hipótesis**

Si los nuevos híbridos de maíz de grano amarillo presentan mayores rendimientos, tolerancia a enfermedades entonces superan a los híbridos comerciales existentes.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Antecedentes de los Híbridos de Maíz**

Para una mejora en la producción de maíz en el país se basa en la utilización de híbridos dobles o de tres líneas con los cuales se lleva a cabo una producción satisfactoria de semilla puesto que la misma se obtiene sobre un híbrido simple, donde ocurre la máxima expresión de vigor híbrido (Shull, 1909). El empleo directo de híbridos simples en la producción estuvo limitado por el bajo rendimiento de las líneas endocriadas sobre las que se obtiene este tipo de semilla, pero una vez que fueron desarrolladas líneas más vigorosas y productivas (Troyer, 1996) se obtuvo un considerable incremento en los rendimientos basada en simples.

Hasta 1956 Goodman y Bird (1977) señalaron que los híbridos más sembrados en USA eran los dobles  $(A \times B) \times (C \times D)$ , pero que para 1977 predominaban en la faja maicera los híbridos simples  $(A \times B)$ . El reto de superar el alto déficit de maíz amarillo en México implica utilizar este último tipo de híbrido, que aunque requiere de alta tecnología de producción, su alta capacidad de rendimiento puede hacer más fácil alcanzar la meta de auto abastecimiento en este renglón.

## **Importancia en la Producción de Híbridos Amarillos de Maíz**

La mayor parte del maíz cultivado en todo el mundo es amarillo, en ese sentido esta variedad de maíz destinado a alimentar a los animales triplica el maíz usado para el consumo humano directo. Desde el punto de vista biológico y genético, el maíz blanco es muy similar al amarillo, hay una diferencia en la apariencia a causas de la ausencia de los pigmentos de aceite de carotina que originan el color del grano amarillo.

En los países subdesarrollados como México es frecuente y difundida la desnutrición causada por dietas deficientes en proteína y/o calorías, desnutrición que provoca millones de muertes en mujeres y niños y puede afectar el desarrollo físico e intelectual de los que logran sobrevivir. Una fuente alimenticia importante para muchísimos seres humanos es el maíz. En el mundo se producen anualmente unos 550 millones de toneladas de maíz en casi 130 millones de hectáreas. Del grano producido, 140 millones de toneladas se consumen como alimento humano en tanto que 380 millones de toneladas se usan en alimentación animal. El resto se industrializa. El maíz aporta al mundo el 15 % de la proteína y el 19 % de las calorías derivadas de los cultivos alimenticios en las dietas mundiales, lo que representa más de 50 millones de toneladas. Para 20 países en desarrollo, principalmente de América Latina y África, el maíz es la mayor fuente de calorías para los más necesitados y es un alimento primordial en el desarrollo de los bebés (Córdoba., *te al* 2000).

## **Identificación de Híbridos de Maíz Amarillo.**

Torres *et al* (1996) Evaluaron 18 híbridos simples de maíz amarillos tropical tardío en la Estación experimental de granos el “Tomeguien” Alquizar, la habana Cuba, los resultados indican que 5 de los híbridos evaluados rindieron más que el mejor testigo local.

Guerra (1997) Realizo 2 evaluaciones, uno en la estación experimental de San Andrés y Otro en Santa Cruz Porrillo, de híbridos simples y triples amarillos, donde se evaluaron 17 tratamientos usando como testigo el híbrido H-104. Donde los resultados arrojaron que el mejor híbrido fue la crusa simple CML278 X CL00331 con 5720.2 kg.ha<sup>-1</sup>.superando al testigo en 13.9 % y los híbridos triples con mayor rendimientos fueron 1x8 y 12x3 superando en 6.1 y 2.7 % al testigo.

Fuentes y Queme (2001) Evaluaron 12 híbridos de maíz amarillos, los principales resultados indican que los híbridos de mayor rendimiento fueron CMS 933080 con 5,988 t/ha, superando en 19 % al testigo HA 48.

Zea., *et al* (2001) Evaluaron el potencial de rendimiento, características agronómicas y adaptación de híbridos convencionales de grano amarillo desarrollado a partir de reciclajes de cruza simples elites, donde evaluaron 13 tratamientos, identificando híbridos convencionales (2104 x 2108) y (2107 x 2106) con rendimientos de 4,657 y 4611 t /ha.

Fuentes y Queme (2007) Evaluaron los híbridos de maíz desarrollados por los programas Nacionales de investigación de la región Centro Americana y las

Compañías privadas productoras de semillas que operan en la región. Los resultados preliminares producto de 10 localidades indican que el mayor rendimiento de los híbridos amarillos lo obtuvo el DKB393 con 6.12 t/ha y superando al testigo HA-48 en 22 %.

### **Interacción Genotipo-Ambiente**

La interacción genotipo-ambiente es una respuesta diferencial de los genotipos a través de condiciones ambientales cambiantes y es también de gran significancia para los fitomejoradores que desarrollan cultivares comerciales. Las interacciones grandes reducen el progreso de la selección y dificultan la recomendación de genotipos (Eberhart y Russell, 1966; Kang y Magary, 1996). El fitomejorador desea cultivares estables con buen rendimiento en todas las condiciones de la región de producción de interés. La incorporación de la estabilidad en los programas de fitomejoramiento, con énfasis en la selección final de potenciales cultivares comerciales, sería benéfico para los productores.

### **Parámetros de Estabilidad**

A la estabilidad máxima, que ocurre cuando el rendimiento del genotipo en cuestión es constante a través de ambientes se le denomina estabilidad estática, mientras que la estabilidad dinámica ocurre cuando el comportamiento

del genotipo es cercano a lo predicho, basado en el potencial de los ambientes de interés, (Piepho, 1996). El concepto agronómico de estabilidad de un genotipo es aquel comportamiento sobre ambientes cambiantes que debiera ser el nivel correspondiente estimado o predicho (Yue *et al.*, 1997). Siguiendo este concepto de estabilidad, la meta del fitomejorador sería minimizar las interacciones genotipo-ambiente, lo que puede hacer con el uso de genotipos estables.

Metodologías apropiadas de estadística y de mejoramiento pueden ayudar a entender la naturaleza y las causas de las interacciones genotipo-ambiente en los ensayos de rendimiento de mejoramiento de plantas en varios ambientes. A mayor exactitud de los estimadores estadísticos, mayor será la probabilidad de éxito en la selección. Técnicas mejores de selección incrementan la velocidad y la efectividad de los programas de fitomejoramiento y aumentan la confiabilidad de las recomendaciones de variedades. La selección es particularmente difícil cuando las interacciones genotipo-ambiente son de gran dimensión porque el rendimiento relativo de los genotipos difiere de un ambiente a otro; así, ninguna simple selección o recomendación es mejor a través de toda la región de interés. Por tanto, es necesaria la prueba de genotipos en varios ambientes para obtener estimaciones de su rendimiento en toda la región de interés.

Si se detecta una interacción genotipo-ambiente significativa, se puede usar un análisis de regresión lineal para examinar la estabilidad de genotipos a través de ambientes (Chapman *et al.*, 1997). Se usa la pendiente de la línea de regresión para caracterizar la respuesta del genotipo desde condiciones

ambientales malas a buenas. (Weber *et al.*, 1996). El análisis de regresión ha sido usado extensamente por fitomejoradores para describir el comportamiento de genotipos en una serie de ambientes. Una variable estable se define como aquella que tiene una media alta, un coeficiente de regresión igual a la unidad y pequeñas desviaciones de regresión (Eberhart and Russell, 1966).

### **Modelos Mixtos**

Los métodos de modelo mixto pueden usarse para estimar interacciones genotipo-ambiente cuando se analizan datos de ensayos de rendimiento de varias localidades. Si las localidades son muestras aleatorias representativas de los ambientes de la región de interés, el método de modelo mixto provee los mejores predictores lineales insesgados (MPLI) de efectos aleatorios. MPLI se ha usado rutinariamente en mejoramiento animal para identificar reproductores superiores para cruzamientos (Gengler *et al.*, 1997), pero sólo recientemente los fitomejoradores han empezado a usar este método. Bernardo (1995) concluyó que con los procedimientos MPLI se puede predecir la respuesta de cruza simples de maíz usando datos desbalanceados de ensayos de rendimiento, y también sugirió que los métodos de modelo mixto se pueden aplicar en programas comerciales de mejoramiento de maíz, donde las líneas son cruzadas rutinariamente con diferentes líneas élite probadoras y evaluadas en diferentes ensayos de rendimiento en varias localidades y años. Los métodos de modelos mixtos se pueden usar para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (Mastache *et al.*, 1999), para identificar cruza simples de

maíz de alto rendimiento predicho y para determinar su estabilidad a través de ambientes.

En un modelo estadístico lineal mixto, si los genotipos son aleatorios, generan una interacción genotipo-ambiente aleatoria. Así, la predicción del rendimiento para un ambiente específico involucra la predicción de la interacción aleatoria de un genotipo con ese ambiente específico. La predicción de variables aleatorias se hace comúnmente con los MPLI (Henderson, 1975). Los MPLI de los efectos aditivos principales para ensayos de rendimiento han sido investigados por Hill y Rosemberg, 1985 y Stroup y Muiltze, 1991. El mejor predictor lineal insesgado de efectos aleatorios también es apropiado para detectar efectos específicos de una localidad y para estimar los efectos de la interacción genotipo-ambiente (Littell *et al.*, 1996).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del Área de Estudio**

El experimento se estableció durante el 2008 y 2009, en el bajío guanajuatense, en las localidades de: en Celaya y en Valle de Santiago. La primera localidad se localiza en la latitud: 23° 31' 49.8" y longitud: 101° 48' 16.8", mientras que en la segunda localidad se localiza en la latitud: 20° 23' 53.2" y longitud: 101° 21' 14". La siembra en Celaya se realizó en el 2008 y 2009, mientras que en Valle de Santiago la siembra sólo fue en el 2009.

### **Características edáficas y climáticas de las localidades**

Las características de altitud, pendientes y profundidad del suelo en el territorio que corresponde a Celaya la definen como la región del "Bajío Guanajuatense". El suelo que predomina en el municipio es el Vertisol Pélico el cual cubre la planicie con capas de arcilla limosa que tiene como característica que es apto para la agricultura y la ganadería. Para el municipio de Valle de Santiago sus suelos son de estructura granular con consistencia de friable a firme, textura franco arenosa a arcillosa de origen incho coluvial a aluvial.

De acuerdo a la base de datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante el 2008 en Celaya la temperatura máxima registrada fue de 26.55°C y la mínima de 9.3°C, mientras que la media anual fue de 17.5°C; en cuanto a la precipitación pluvial acumulada fue de 646.8 mm, su clima se encuentra entre semiseco y semicálido. En lo que refiere al 2009 la temperatura máxima fue de 31.07°C y la mínima de 5.8°C, con una precipitación pluvial acumulada de 422.4 mm. Sin embargo en el 2009 el municipio de Valle de Santiago la temperatura máxima registrada fue de 29.17°C, y la mínima de 9.7°C, la precipitación acumulada fue de 532 mm; es por ello que se caracteriza por su clima Semicálido subhúmedo con lluvias intensas en verano.

### **Material genético y manejo del cultivo.**

El material genético consistió de 12 híbridos de endospermo amarillo y dos testigos, el A7573Y y D2020 (cuadro 1), la siembra como labores culturales se realizó de forma manual.

**Cuadro 1.** Descripción de 12 híbridos de maíz sembrados en el Bajío Mexicano

<b>Híbrido</b>	<b>Genealogía</b>	<b>Tipo</b>
1	(NA1) (NA12)	Simple
2	(NA2) (NA13)	Simple
3	(NA3) (NA12)	Simple
4	(NA4) (NA12)	Simple
5	(NA5) (NA12)	Simple
6	(NA6 * NA7) (NA13)	Triple
7	(NA10 * NA11) (NA13)	Triple
8	(NA12) (NA13)	Simple
9	(NA14) (NA15)	Simple
10	(NA14*NA15) (NA16)	Triple
11	(NA14) (NA17)	Simple
12	(NA8*NA9) (NA18)	Triple
13	A7573Y (testigo)	
14	D2020 (testigo)	

## **Establecimiento del Cultivo**

Se establecieron en parcelas de dos surcos de cinco m a una distancia 0.16 m entre plantas y 0.76 m entre surcos, para una densidad 83 333 plantas por ha<sup>-1</sup>, la variable evaluada fué: Rendimiento de Grano (RD). Las variables agronómicas en las tres localidades se evaluaron de acuerdo con los descriptores del IBPGR (1991). La cosecha de las mazorcas se realizó cuando tenían aproximadamente un 16.5% de humedad. Las mazorcas de cada parcela se desgranaron, para obtener el peso de la semilla en kg/parcela, para luego ajustar al 15 % de humedad. Para ello se transformo a toneladas por hectárea.

## **Diseño y análisis experimental**

Se utilizó diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, a los datos se les realizó una análisis de varianza combinado, y para conocer el interacción de los híbridos en los ambientes se realizó un análisis de modelos mixtos considerando al genotipo como efecto fijo y el ambiente como aleatorio, lo que permitió separar la media de híbridos en sus componentes: media general, efecto de los ambientes, efecto de la interacción y el efecto del error. En base a este procedimiento el híbrido que presente los valores de interacción cercano o iguales a cero se considera el más estable. Todo fue analizado con el programa Statistical analysis System (SAS).

El modelo estadístico para cada localidad fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Es la observación del i-esimo tratamiento en el j-esimo bloque

$\mu$ : Es el efecto de la media

$T_i$ : es el efecto del i-esimo tratamiento

$R_j$ : es el efecto del j-esimo bloque

$E_{ij}$ : es el efecto del error experimental

El modelo estadístico combinando localidades es:

$$Y_{ijk} = \mu + L_k + R(L)_{jk} + T_i * (TL)_{ik} + e_{ijk}$$

$\mu$ : Es el efecto de la media

$L_k$ : Es el efecto de la k-esima localidad

$R(L)_{jk}$ : Es el efecto del j-esimo bloque anidado en la k-esima localidad

$T_i$ : Es el efecto del i-esimo tratamiento

$(TL)_{ik}$ : Es el efecto de la interacción del i-esimo tratamiento con la k-esima localidad

$e_{ijk}$ : Es el efecto del error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza por localidad en el que se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en la variable de estudio, lo cual era de esperarse, ya que los tratamientos interaccionan con el ambiente. Para ello también se hizo un análisis de varianza combinado (Cuadro 2), en el cual se reporta que las diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en las diversas fuentes de variación, pero con mayor interés en la interacción Amb  $\times$  Trat.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza combinado para la variable rendimiento de grano

F. V.	G. L	S. C.	C. M	F
Amb	2	4451979.17	2225989.58	19.82**
Rep (Amb)	3	2088058.04	696019.35	6.20**
Trat	13	59094680.06	4545744.62	40.47**
Amb $\times$ Trat	26	22512395.83	865861.38	7.71**
E. E.	39	4381004.46	112333.45	
Total	83	88076138.4	6219958.8	

C. V.: 3.96 %

Debido a las diferencias entre ambientes pueden cambiar con frecuencia la magnitud en el comportamiento de un genotipo a través de diferentes ambientes de prueba (Córdova 1991).

Para determinar el comportamiento de los híbridos en los tres ambientes se utilizó un modelo mixto, ya que estos son utilizados para estimar interacciones genotipo-ambiente cuando se analizan datos de ensayos de rendimiento de varias localidades o ambientes. Encontrándose que los híbridos 1 y 12 (cuadro 3), son los más estables y los más inestables fueron los híbridos 10 y 2 respectivamente. El híbrido 1, resultó ser el más estable, debido a que obtuvo muy pequeñas interacciones con el ambiente, respuesta reflejada en los valores de  $MPLI_N$  ( $8.88 \text{ t ha}^{-1}$ ) y  $MPLI_B$  ( $8.72 \text{ t ha}^{-1}$ ). Al respecto Coutiño & Vidal (2003), reportan resultados similares en su trabajo, donde comparan los parámetros de estabilidad de Eberhart & Russell (1966) y los MPLI, en donde encontraron resultado similares con ambos métodos, más sin embargo los MPLI produjeron estimaciones de valores genotípicos y de interacción genotipo ambiente, mientras que los parámetros de Eberhart & Russell se basan sólo en valores fenotípicos. Otra ventaja del método de MPLI es que se puede predecir efectos de interacción genotipo-ambiente, tanto positivos como negativos, indicando así no solo la magnitud de la respuesta del genotipo, sino también su dirección.

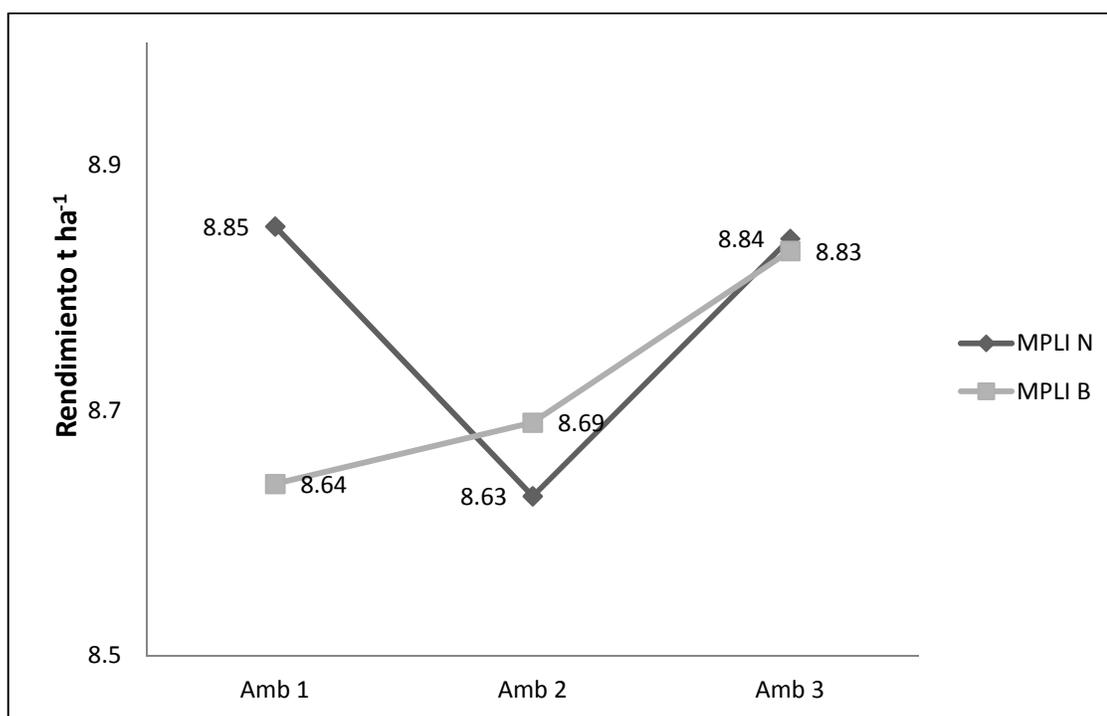
**Cuadro 3.** Mejores Predictores Lineales Insegados para rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ), y su interacción genotipo-ambiente.

Híbrido	MPLI <sub>N</sub>	MPLI <sub>B</sub>	IGA
1	8.88	8.72	159.40
2	6.855	7.46	-615.56
3	8.12	8.25	-130.68
4	7.26	7.72	-458.08
5	7.90	8.12	-213.58
6	8.18	8.29	-107.90
7	8.12	8.25	-130.68
8	7.97	8.16	-188.71
9	7.92	8.13	-205.29
10	9.96	9.39	569.67
11	7.74	8.01	-275.74
12	8.95	8.76	184.27
13	11.19	10.15	1037.96
14	9.45	9.07	374.89

Cabe mencionar que el híbrido 10 ( $9.96\ t\ ha^{-1}$ ) fue el de mayor rendimiento en comparación con los otros 11 híbridos experimentales, y superó a un testigo

(14), pero también tuvo un valor muy elevado de IGA que lo convierte en inestable.

El comportamiento del híbrido 1 (figura 1), mostró un rendimiento superior en el ambiente 1 (Celaya 2008), con respecto a los dos restantes, sin embargo este híbrido siendo el más estable tiende a tener casi el mismo  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$ .

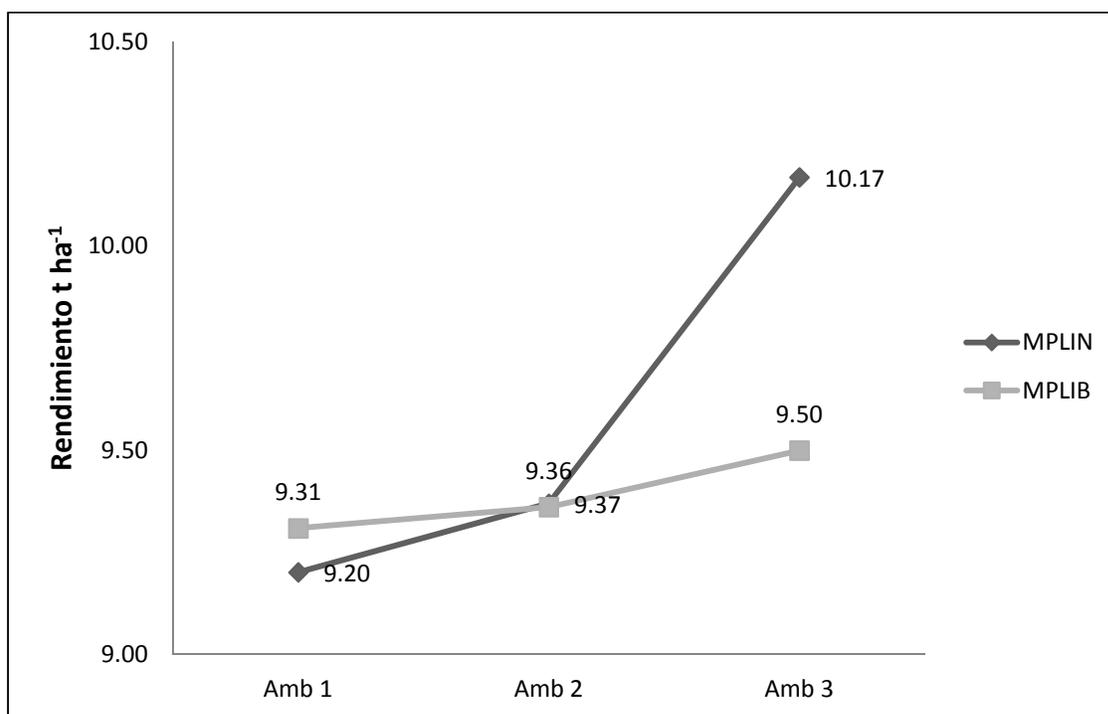


**Figura 1.** Estabilidad del rendimiento del híbrido 1, mediante los  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  en los tres ambientes.

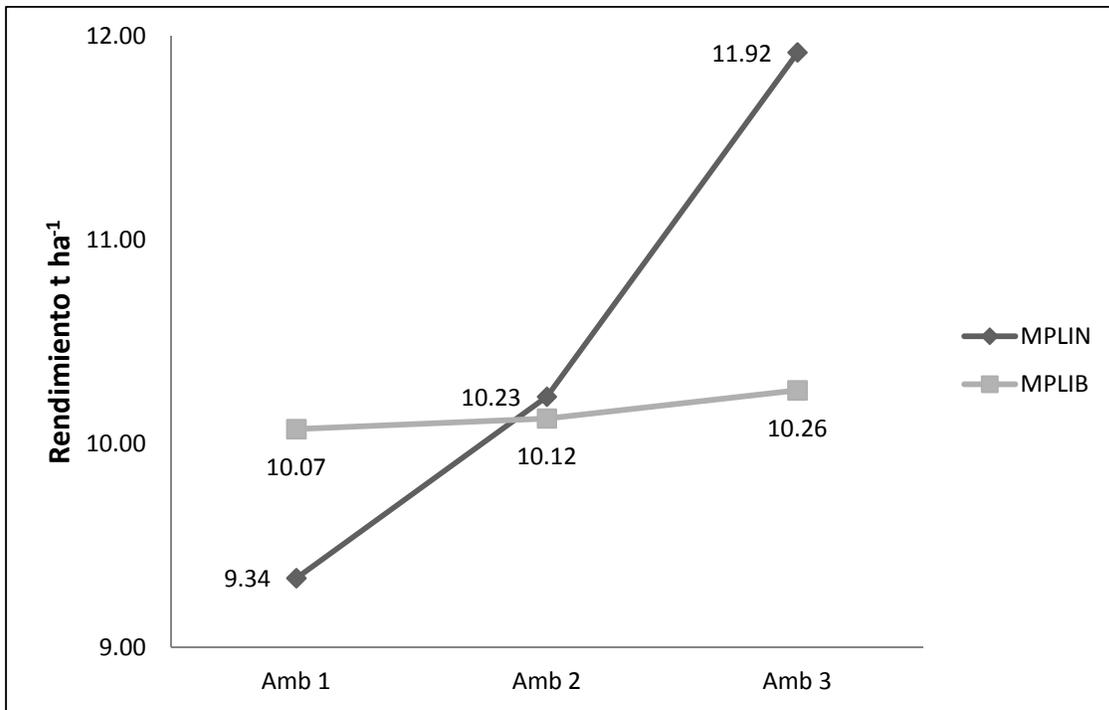
Con respecto al híbrido experimental 10 y el testigo 13, quienes tuvieron los más altos rendimientos, al graficarse (figura 2 y 3) se nota que estos híbridos tienen un comportamiento ascendente, es decir, en los cálculos de  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  se mueven de manera positiva, ya que estos híbridos interactúan de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rindan más grano. Al respecto Coutiño & Vidal (2003) mencionan que su

comportamiento ascendente se debe a los ambientes que van de mejor a peor. De aquí, la necesidad de desarrollar cultivares que interaccionen positivamente con el medio ambiente utilizando modelos que permitan la identificación de genotipos estables (Córdova 1991).

Por otra parte es necesario entender bien la interacción genotipo-ambiente para poder hacer selecciones apropiadas para una región y evitar sorpresas desagradables en el futuro (Córdova 1991).



**Figura 2.** Comportamiento ascendente del híbrido 10, mediante MPLI<sub>N</sub> y MPLI<sub>B</sub> en los tres ambientes.



**Figura 3.** Comportamiento ascendente del testigo 13, mediante MPLI<sub>N</sub> y MPLI<sub>B</sub> en los tres ambientes.

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que se logró concretar con los objetivos planteados, ya que se detectó que el híbrido más estable fue el 1, y que el híbrido más sobresaliente fue el 10, aclarando que este último interacciona de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rinda más grano.

Finalmente las ventajas agronómicas de rendimiento y características agronómicas de este híbrido, representa una alternativa de producción para los agricultores maiceros del bajío de Guanajuato.

## LITERATURA CITADA

- Bernardo, R. 1995. Genetic models for predicting maize singlecross performance in unbalanced yield trial data. *Crop Sci.* 35: 141-147.
- Chapman, S. C.; Crossa J.; and Edmeades G. O. 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance in tropical maize. *Euphytica* 95: 1-9.
- Córdoba, H.; Ávila, G.; Aguiluz, A.; Fuentes, M.; Castellanos, S.; Sierra, M.; Alvarado, G. 2000. Efectos de Aptitud Combinatoria y Comportamiento en combinaciones de híbridos sobre el rendimiento de líneas tropicales blancas de maíz con alta calidad de proteínas. Artículo Técnico del PCCMCA, San Juan Puerto Rico, Pág.7.
- Córdoba, H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de centro América, Panamá y México. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 2: 01-10.
- Eberhart, S. A. and Russell W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Espinosa, A; Tadeo, M; Piña-del Valle, A. 1995. Estabilidad del rendimiento en híbridos de maíz por diferente orden de cruza en la producción de semilla. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 6: 98-103.
- Fuentes, M.; Queme, W. 2001. Evaluación Regional de híbridos de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de México Centro América y el Caribe. Artículo Técnico del PCCMCA-2001, San José Costa Rica, Pág. 62.
- Fuentes, M.; Queme, W. 2007. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de América latina. Artículo Técnico del PCCMCA-2007, Pág. 85.

- Gengler, N.; Van Vleck L. D.; MacNeil M. D.; Misztal I.; and Pariacote F. A. 1997. Influence of dominance relationships on the estimation of dominance variance with sire-dam subclass effects. *J. Anim. Sci.* 75: 2885-2891.
- Goodman, M. and Bird, R. M. 1977. The races of maize. IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31(2):204-221.
- 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(2):189-199.
- Guerra. 1997. Evaluación de híbridos amarillos experimentales de maíz en el Salvador, Artículo Técnico del PCCMCA-1998, Nicaragua, Pág.50.
- Henderson, C. R. 1975. Best linear unbiased prediction under a selection model. *Biometrics* 31: 423-447.
- Hill, R. R.; and Rosenberger J. L. 1985. Methods for combining data from germplasm evaluation trials. *Crop Sci.* 25: 467-470.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Red nacional de estaciones estatales agroclimatológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/default.aspx?estado=11> (consultado el 25 de noviembre de 2009).
- Kang, M. S. and Magary R. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. *In*: M. S. Kang and H. G. Jr. Gauch (eds). *Genotype-by-environment interaction*. CRC. Boca Raton, FL. pp: 1-14.
- Littell, R. C.; Milliken G. A.; Stroup W. W.; and Wolfinger R. D. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 633 p.
- Mastache, L. A. A.; Martínez G A.; and Castillo M. A. 1999. The best linear unbiased Predictors (BLUP) for designs two and four of Griffing. *Agrociencia* 33:81-90.

- Morris-Lewis M. y López-Pereira, M. A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 P.
- Piepho, H. P. 1996. Analysis of genotype-by-environment interaction and phenotypic stability. *In*: M. S. Kang and H. G. Jr. Gauch (eds.). Genotype-by-environment interaction. CRC. Boca Raton, FL. pp: 152-174.
- Ramírez-Díaz, J. L.; Chuela-Bonaparte, M.; Soltero-Díaz, L.; Franco-Moreno, J.; Morfín-Valencia, A.; Vidal-Martínez, V. A.; Vallejo-Delgado. H. L.; Caballero-Hernández, F.; Delgado-Martínez, H.; Valdivia-Bernal, R. y Ron-Parra, J. 2004. Patrón heterótico de maíz amarillo para la región centro-occidente de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27 (Núm. Especial): 13-17.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP/SAGARPA). 2009. Anuario estadístico 2008. <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1> (consultado 24 de noviembre de 2009).
- Shull, G. 1909. A pure line method of com breeding. *Amer. Breed. Assoc. Rep* 5:51-59.
- Sierra-Macías M.; Palafox-Caballero, A.; Becerra-Leor, E. N.; Córdova-Orellana, H.; Espinosa-Calderón A. y Rodríguez-Montalvo, F. A. 2007. Comportamiento de híbridos de maíz con alta calidad de proteína, por su buen rendimiento y tolerancia al "achaparramiento". *Agronomía mesoamericana* 18(1): 93-101.
- Sierra-Macías, M.; Palafox-Caballero, A.; Cano-Reyes, O.; Rodríguez-Montalvo, F. A.; Espinosa-Calderón, A.; Turrent-Fernández, A.; Gómez-Montiel, N.; Córdova-Orellana, H.; Vergara-Ávila, N. y Aveldaño-Salazar, R. 2004. H-553C, Híbridos de maíz de calidad proteínica para el trópico húmedo de México. *Revista fitotecnia mexicana* 27(1): 117-119.
- Stroup, W. W. and Muiltze D. K. 1991. Nearest neighbor adjusted best linear unbiased prediction. *Am. Stat.* 45: 194-200.

- Torres, C.; Benítez. E.; Rodríguez, E. 1996. Evaluación de 18 híbridos simples de maíz amarillos tropical tardío en la Estación experimental de granos el "Tomeguien" Alquizar, la Habana Cuba, Artículo Técnico el PCCMCA-1998-Nicaragua, Pág.50.
- Troyer, A. F. 1996. Breeding widely adapted popular maize hybrids. *Euphytica* 92:163-174.
- Weber, W. E.; Wricke G.; and Westermann T. 1996. Selection of genotypes and prediction of performance by analyzing genotype by-environments interactions. *In: M. S. Kang and H. G. Jr. Gauch (eds.). Genotype-by-environment interaction. CRC. Boca Raton, FL. pp: 354-371.*
- Yue, G. L.; Roozeboom K. L.; Schapaugh Jr W. T.; and Liang G. L. 1997. Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. *Plant Breeding* 116:271- 275.
- Zea, J. L.; Fuentes, M.; Pérez, C. 2001. Desarrollo de híbridos Convencionales de maíz grano amarillo en Guatemala, Artículo Técnico del PCCMCA- San José Costa Rica, Pág. 64.

## **ARTÍCULO CIENTIFICO**

### **Behavior of 12 yellow maize hybrids in the Mexican Bajío**

(With 3 Tables & 3 Figures)

### ***Comportamiento de 12 híbridos de maíz amarillo en el Bajío Mexicano***

(Con 3 Tablas y 3 Figuras)

**Guillén-De la Cruz<sup>1</sup> P, SA Rodríguez-Herrera<sup>1</sup>, E De la Cruz-Lázaro<sup>2</sup>, A  
Oyervides-García<sup>1</sup>, C Márquez-Quiroz<sup>3</sup>, MA Ávila-Perches<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Departamento de fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Dirección: Calzada Antonio Narro No. 1923 Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila. C. P. 25315.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa a Teapa km 25, ranchería la huasteca, Centro, Tabasco.

<sup>3</sup>Departamento de Horticultura (UAAAN).

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, BAJIO) Km 6.5 Carret. Celaya-San Miguel de Allende s/n, col. Roque Celaya, Guanajuato.

**Título corto:** Comportamiento de 12 híbridos de maíz amarillo

**Autor para correspondencia:** SA Rodríguez-Herrera<sup>1</sup>, email:  
serroh90@hotmail.com; teléfono 01(844) 411 02 96.

**Resumen.** El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial de rendimiento y la estabilidad de 12 híbridos de maíz de endospermo amarillo en tres diferentes ambientes del bajío mexicano, mediante uso de modelos mixtos e Identificar el o los híbridos de mayor rendimiento con características agronómicas viables. El trabajo se llevo a cabo en tres ambientes; en el municipio de Celaya (2008 y 2009) y Valle de Santiago (2009), el material genético consistió de 12 híbridos de endospermo amarillo y dos testigos, el A7573Y y D2020. La variable evaluada fue rendimiento de grano y para determinar el comportamiento de los híbridos en los tres ambientes se utilizó un modelo mixto, encontrándose que los híbridos 1 y 12, resultaron ser los más estables de acuerdo al criterio de los Mejores Predictores Lineales Insesgados en sentido intermedio ( $MPLI_N$ ) y sentido amplio ( $MPLI_B$ ); y los más inestables fueron los híbridos 10 y 2 respectivamente. Con respecto al híbrido experimental 10 y el testigo 13, quienes tuvieron los más altos rendimiento pero inestables, al graficarse se encontró que estos híbridos tienen un comportamiento ascendentes, es decir, en los cálculos de  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  se mueven de manera positiva, ya que estos híbridos interaccionan de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rindan mas grano.

**Palabras clave:**  $MPLI_N$ ,  $MPLI_B$ , modelos mixtos.

**Abstract.** The aim of this study was to evaluate the yield potential and stability of 12 hybrids of yellow endosperm maize into three different areas of Mexico shallow by using mixed models and identify the hybrids or more viable

agronomic performance. The work was carried out in three environments: in the town of Celaya (2008 and 2009) and Valle de Santiago (2009), the genetic material consisted of 12 yellow endosperm hybrids and two witnesses, the A7573Y and D2020. The variable analyzed was grain yield and to determine the behavior of hybrids in the three environments used a mixed model, found that hybrids 1 and 12, were the most stable as determined by the best linear unbiased predictor in the sense intermediate ( $BLUP_N$ ) and wider ( $BLUP_B$ ) and the most unstable hybrids were 10 and 2 respectively. With regard to experimental hybrid 10 and the control 13, who had the highest performance but unstable, when graphed found that these hybrids have a bottom-up behavior, ie, calculations  $BLUP_B$  and  $BLUP_N$  a positive move, since Hybrids positively interact with the environments, which is better because we expect that yield more grain.

**Key words:**  $BLUP_N$ ,  $BLUP_B$ , mixed models.

## INTRODUCCIÓN

En México se demanda 12.6 millones toneladas de maíz amarillo, de las cuales 10 millones de toneladas son demandadas por el sector pecuario y el restante por la industria del almidón y sus derivados (Ramírez *et al*, 2004), por el contrario la producción nacional es de apenas 1.6 millones de toneladas (SIAP 2009), por lo que el grano faltante se importa, ocasionando dependencia alimentaria y fuga de divisas. Asimismo, datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para el estado de Guanajuato durante el 2008 no hubo producción de grano de maíz amarillo.

En cuanto al concepto agronómico de estabilidad de un genotipo, es aquel comportamiento sobre ambientes cambiantes que debiera ser el nivel correspondiente estimado o predicho (Yue *et al.*, 1997). Sin embargo en el mejoramiento de plantas se desean materiales estables en base a su rendimiento, resistentes a factores bióticos como abióticos. Para ello existen métodos para calcular la estabilidad de los mismos, uno de los métodos más usados, son los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966), entre otros. Sin embargo existen los modelos mixtos que se realizan mediante los llamados, Mejores Predictores Lineales Insesgados en el sentido Intermedio ( $MPLI_N$ ) y Amplio ( $MPLI_B$ ). Si la inferencia es dirigida a la toda la región de interés, se hace en sentido amplio. Si se expande solamente a los ambientes de prueba de la región de interés, la inferencia se hace en sentido intermedio. Con el modelo mixto podemos obtener la información del vector de soluciones que nos da todos los componentes de cada media del híbrido ( $MPLI_N$ ) y nos permite predecir la media

donde se incluirían todas las localidades posibles (MPLI<sub>B</sub>), por ejemplo, si se siembran en unas tres mil localidades, los efectos Híbridos\*Localidad se cancelarían unos con otros, es decir Híbridos\*Localidad total sería cero.

Con base a lo anterior el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de rendimiento y la estabilidad de 12 híbridos de maíz de endospermo amarillo en tres diferentes ambientes del bajío mexicano, mediante uso de modelos mixtos e Identificar el o los híbridos de mayor rendimiento con características agronómicas viables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El experimento se estableció durante el 2008 y 2009, en el bajío guanajuatense, en las localidades de: en Celaya y en Valle de Santiago. La primera localidad se localiza en la latitud: 23° 31' 49.8" y longitud: 101° 48' 16.8", mientras que en la segunda localidad se localiza en la latitud: 20° 23' 53.2" y longitud: 101° 21' 14". La siembra en Celaya se realizó en el 2008 y 2009, mientras que en Valle de Santiago la siembra sólo fue en el 2009.

**Características edáficas y climáticas de las localidades.** Las características de altitud, pendientes y profundidad del suelo en el territorio que corresponde a Celaya la definen como la región del "Bajío Guanajuatense". El suelo que predomina en el municipio es el Vertisol Pélico el cual cubre la planicie con capas de arcilla limosa que tiene como característica que es apto para la agricultura y la ganadería. Para el municipio de Valle de Santiago sus suelos son de estructura granular con consistencia de friable a firme, textura franco arenosa a arcillosa de origen incho coluvial a aluvial.

De acuerdo a la base de datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante el 2008 en Celaya la temperatura máxima registrada fue de 26.55°C y la mínima de 9.3°C, mientras que la media anual fue de 17.5°C; en cuanto a la precipitación pluvial acumulada fue de 646.8 mm, su clima se encuentra entre semiseco y semicálido. En lo que refiere al 2009 la temperatura máxima fue de 31.07°C y la mínima de 5.8°C, con una precipitación pluvial acumulada de 422.4 mm. Sin embargo en el 2009 el

municipio de Valle de Santiago la temperatura máxima registrada fue de 29.17°C, y la mínima de 9.7°C, la precipitación acumulada fue de 532 mm; es por ello que se caracteriza por su clima Semicálido subhúmedo con lluvias intensas en verano.

**Material genético y manejo del cultivo.** El material genético consistió de 12 híbridos de endospermo amarillo y dos testigos, el A7573Y y D2020 (tabla 1), la siembra como labores culturales se realizó de forma manual.

**Diseño y análisis experimental.** Se establecieron parcelas de dos surcos de cinco metros de largo a una densidad de 80 000 plantas por ha<sup>-1</sup>, la variable evaluada fue rendimiento de grano (RD) en t ha<sup>-1</sup>. Se utilizó diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, a los datos se les realizó un análisis de varianza combinado, y para conocer el interacción de los híbridos en los ambientes se realizó un análisis de modelos mixtos considerando al genotipo como efecto fijo y el ambiente como aleatorio, lo que permitió separar la media de híbridos en sus componentes: media general, efecto de los ambientes, efecto de la interacción y el efecto del error. En base a este procedimiento el híbrido que presente los valores de interacción cercano o iguales a cero se considera el más estable. Todo fue analizado con el programa Statistical analysis System (SAS).

## RESULTADOS

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza por localidad en el que se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en la variable de estudio, lo cual era de esperarse, ya que los tratamientos interactúan con el ambiente. Para ello también se hizo un análisis de varianza combinado (Tabla 2), en el cual se reporta que las diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en las diversas fuentes de variación, pero con mayor interés en la interacción Amb  $\times$  Trat.

Para determinar el comportamiento de los híbridos en los tres ambientes se utilizó un modelo mixto, ya que estos son utilizados para estimar interacciones genotipo-ambiente cuando se analizan datos de ensayos de rendimiento de varias localidades o ambientes. Encontrándose que los híbridos 1 y 12 (tabla 3), resultaron ser los más estables de acuerdo al criterio de los Mejores Predictores Lineales Insegados (MPLI), y los más inestables fueron los híbridos 10 y 2 respectivamente. Cabe mencionar que el híbrido 10 ( $9.96 \text{ t ha}^{-1}$ ) fue el de mayor rendimiento en comparación con los otros 11 híbridos experimentales, y superó a un testigo (14), pero también tuvo un valor muy elevado de IGA que lo convierte en inestable.

El comportamiento del híbrido 1 (figura 1), mostró un rendimiento superior en el ambiente 1 (Celaya 2008), con respecto a los dos restantes, sin embargo este híbrido siendo el más estable tiende a tener casi el mismo  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$ .

Con respecto al híbrido experimental 10 y el testigo 13, quienes tuvieron los más altos rendimientos, al graficarse (figura 2 y 3) se nota que estos híbridos

tienen un comportamiento ascendentes, es decir, en los cálculos de  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  se mueven de manera positiva, ya que estos híbridos interaccionan de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rindan mas grano.

## DISCUSIÓN

En base a la diferencias significativas ( $P = 0.01$ ) para la interacción Amb  $\times$  Trat, Córdova (1991) menciona que debido a las diferencias entre ambientes pueden cambiar con frecuencia la magnitud en el comportamiento de un genotipo a través de diferentes ambientes de prueba.

De los 12 híbridos experimentales evaluados se detectó que los híbridos 1 y 12 son los más estables, sobresaliendo con la mayor estabilidad el 1, mostrando muy pequeñas interacciones con el ambiente, respuesta reflejada en los valores de  $MPLI_N$  ( $8.88 \text{ t ha}^{-1}$ ) y  $MPLI_B$  ( $8.72 \text{ t ha}^{-1}$ ). Al respecto Coutiño & Vidal (2003), reportan resultados similares en su trabajo, donde comparan los parámetros de estabilidad de Eberhart & Russell (1966) y los MPLI, en donde encontraron resultado similares con ambos métodos, más sin embargo los MPLI produjeron estimaciones de valores genotípicos y de interacción genotipo ambiente, mientras que los parámetros de Eberhart & Russell se basan sólo en valores fenotípicos. Otra ventaja del método de MPLI es que se puede predecir efectos de interacción genotipo-ambiente, tanto positivos como negativos, indicando así no solo la magnitud de la respuesta del genotipo, sino también su dirección.

El híbrido experimental 10 (figura 2) tuvo una IGA muy alto, indicando inestabilidad, pero con respuesta consistente, al respecto Coutiño & Vidal (2003) mencionan que su comportamiento ascendente se debe a los ambientes que van de mejor a peor. De aquí, la necesidad de desarrollar cultivares que interaccionen

positivamente con el medio ambiente utilizando modelos que permitan la identificación de genotipos estables (Córdova 1991).

El testigo 13 obtuvo el mayor rendimiento ( $11.19 \text{ t ha}^{-1}$ ), pero inconsistente de acuerdo a los  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  (figura 3), debido que su comportamiento fue en respuesta de los ambiente. De la misma forma reportan sus testigos Mejía & Molina (2003), de acuerdo con sus parámetros de estabilidad y su correspondiente clasificación de estabilidad (Eberthart & Russell, 1966; Carballo & Márquez, 1970).

Por otra parte es necesario entender bien la interacción genotipo-ambiente para poder hacer selecciones apropiadas para una región y evitar sorpresas desagradables en el futuro (Córdova 1991).

Se concluye que se logró concretar con los objetivos planteados, ya que se detectó que el híbrido más estable fue el 1, y que el híbrido más sobresaliente fue el 10, aclarando que este ultimo interacciona de manera positiva con los ambientes, lo cual es mejor porque podemos esperar que rinda mas grano.

## REFERENCIAS

- Carballo C.A., & Márquez S.F. (1970) Comparación de variedades de maíz de el Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5(1): 129-146.
- Córdova H.S. (1991) Estimación de Parámetros de Estabilidad para Determinar la Respuesta de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) a Ambientes Contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agronomía mesoamericana* 2: 01-10.
- Coutiño E.B., & Vidal M.V.A. (2003) Grain yield stability of corn hybrids using best linear unbiased predictors. *Agrociencia* 37: 605-616.
- Eberhart S.A., & Russell W.A. (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2009) Red nacional de estaciones estatales agroclimatológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/default.aspx?estado=11> (consultado el 25 de noviembre de 2009).
- Mejía C.J.A. & Molina G.J.D. (2003) Cambio de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26 (2): 89-94.
- Ramírez D.J.L., Chuela B.M., Soltero D.L., Franco M.J., Morfín V.A., Vidal M.V.A., Vallejo D.H.L., Caballero H.F., Delgado M.H., Valdivia B.R., Ron P.J. (2004)

Patrón heterótico de maíz amarillo para la región centro-occidente de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27 (Núm. Especial): 13-17.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP/SAGARPA) (2009) Anuario estadístico 2008. <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1> (consultado 24 de noviembre de 2009).

Yue G.L., Roozeboom K.L., W.T. Schapaugh Jr W.T., and Liang G.L. (1997) Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. Plant Breeding 116:271- 275.

## **Table legend**

### **Table 1.**

Description of 12 corn hybrids planted in the Mexican shallows.

### **Tabla 1.**

Descripción de 12 híbridos de maíz sembrados en el Bajío Mexicano

### **Table 2.**

Combined analysis of variance for grain yield variable

### **Tabla 2.**

Análisis de varianza combinado para la variable rendimiento de grano

### **Table 3.**

Best linear unbiased predictors for grain yield ( $t\ ha^{-1}$ ), and genotype-environment interaction.

### **Tabla 3.**

Mejores Predictores Lineales Insesgados para rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ), y su interacción genotipo-ambiente.

<b>Híbrido</b>	<b>Genealogía</b>	<b>Tipo</b>
1	(NA1) (NA12)	Simple
2	(NA2) (NA13)	Simple
3	(NA3) (NA12)	Simple
4	(NA4) (NA12)	Simple
5	(NA5) (NA12)	Simple
6	(NA6 * NA7) (NA13)	Triple
7	(NA10 * NA11) (NA13)	Triple
8	(NA12) (NA13)	Simple
9	(NA14) (NA15)	Simple
10	(NA14*NA15) (NA16)	Triple
11	(NA14) (NA17)	Simple
12	(NA8*NA9) (NA18)	Triple
13	A7573Y (testigo)	
14	D2020 (testigo)	

<b>F. V.</b>	<b>G. L</b>	<b>S. C.</b>	<b>C. M</b>	<b>F</b>
Amb	2	4451979.17	2225989.58	19.82**
Rep (Amb)	3	2088058.04	696019.35	6.20**
Trat	13	59094680.06	4545744.62	40.47**
Amb x Trat	26	22512395.83	865861.38	7.71**
E. E.	39	4381004.46	112333.45	
Total	83	88076138.4	6219958.8	

C. V.: 3.96 %

---

<b>Híbrido</b>	<b>MPLI<sub>N</sub></b>	<b>MPLI<sub>B</sub></b>	<b>IGA</b>
1	8.88	8.72	159.40
2	6.855	7.46	-615.56
3	8.12	8.25	-130.68
4	7.26	7.72	-458.08
5	7.90	8.12	-213.58
6	8.18	8.29	-107.90
7	8.12	8.25	-130.68
8	7.97	8.16	-188.71
9	7.92	8.13	-205.29
10	9.96	9.39	569.67
11	7.74	8.01	-275.74
12	8.95	8.76	184.27
13	11.19	10.15	1037.96
14	9.45	9.07	374.89

---

## Figure legends

**Fig. 1.** Yield stability of hybrid 1, through  $BLUP_B$  and  $BLUP_N$  in the three environments.

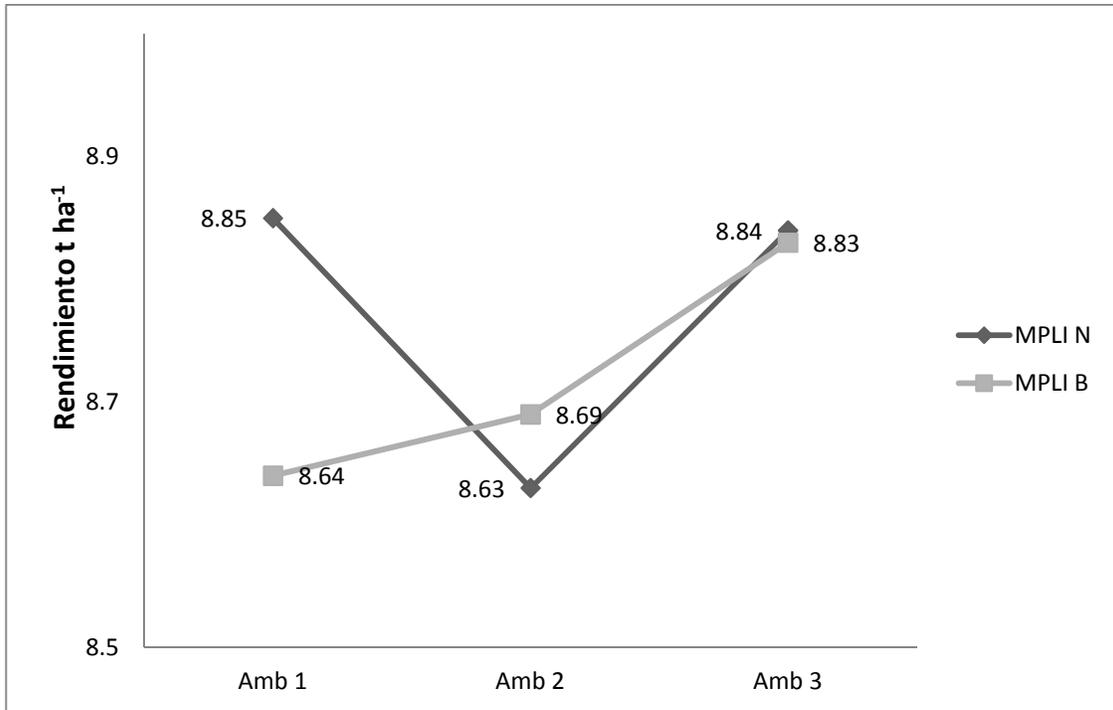
**Fig. 1.** Estabilidad del rendimiento del híbrido 1, mediante los  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  en los tres ambientes.

**Fig. 2.** Ascending behavior of the hybrid 10 by  $BLUP_N$  and  $BLUP_B$  in the three environments.

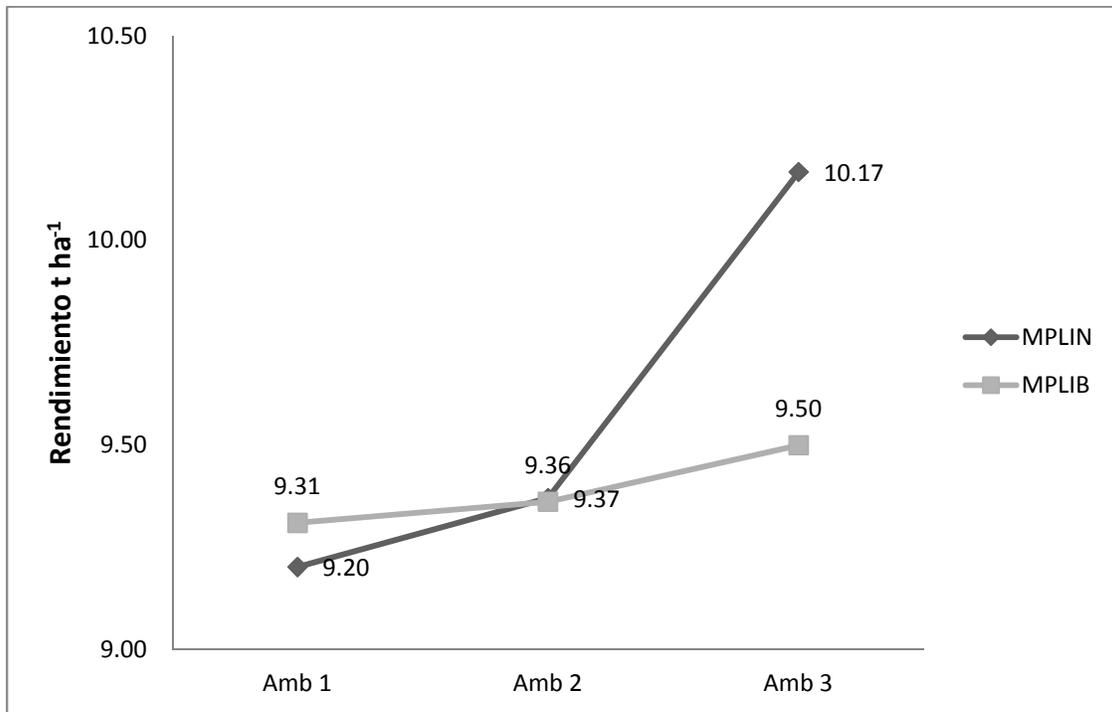
**Fig. 2.** Comportamiento ascendente del híbrido 10, mediante  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  en los tres ambientes.

**Fig. 3.** Ascending behavior control 13  $BLUP_N$  and  $BLUP_B$  in the three environments.

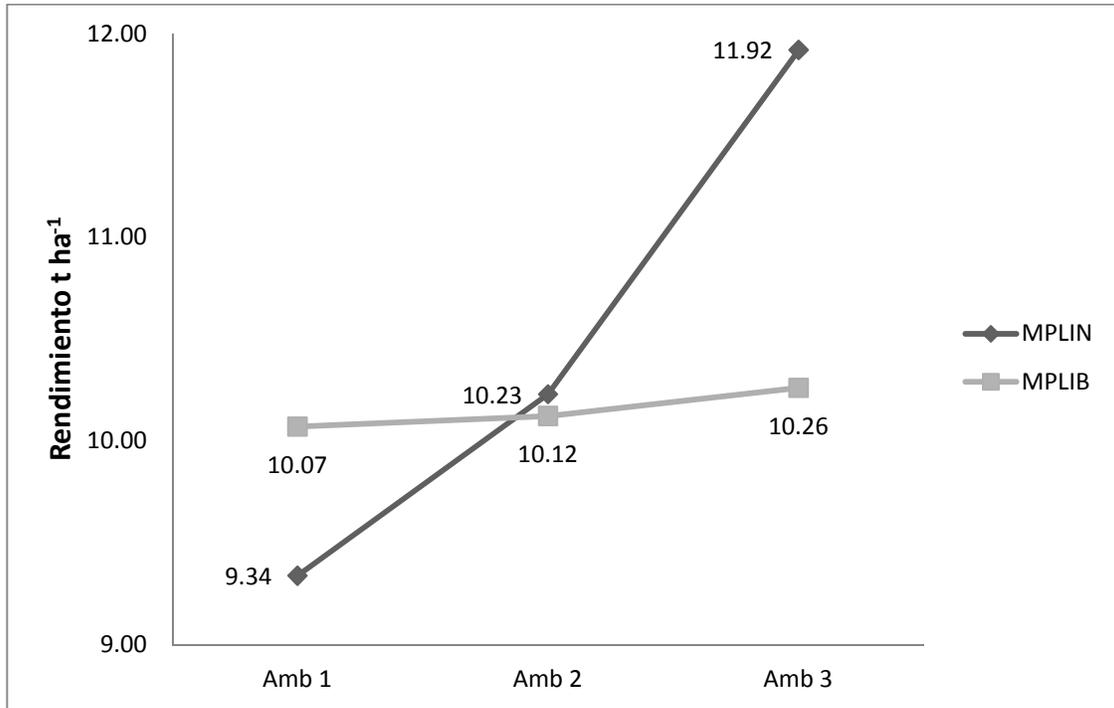
**Fig. 3.** Comportamiento ascendente del testigo 13, mediante  $MPLI_N$  y  $MPLI_B$  en los tres ambientes.



**Fig. 1.** Guillén *et al* 2010



**Fig. 2.** Guillén *et al* 2010



**Fig. 3.** Guillén *et al* 2010