

## COMBINACIONES DE GERMOPLASMA DE MAIZ (*Zea mays* L.) PROPIOS PARA EL BAJIO Y TROPICO. DOSIS OPTIMA PARA RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD

Alberto Morales Loredó<sup>1</sup>  
José Espinoza Velázquez<sup>2</sup>

### RESUMEN

Mediante una serie de cruza y retrocruza entre las líneas de maíz (*Zea mays* L.) de los híbridos triples AN-360 y AN-461, propios para la región de El Bajío y Trópico, respectivamente, se obtuvieron grupos de materiales con dosis de germoplasma de Bajío, que oscilaron de 0.0 a 1.0 con intervalos de 0.25. Las evaluaciones de las dosis en ambientes y probadores del Bajío y Trópico, indican que existe una dependencia del rendimiento con respecto a las dosis de germoplasma, al cruzar materiales de las zonas ecológicas contrastantes, y ésta está en función de la dosis, del ambiente y probador utilizados; así las dosis óptimas oscilan entre 38.78% a 70.74% de germoplasma de Bajío.

La respuesta del rendimiento en relación a la dosis de germoplasma, es de tipo lineal con pendiente negativa, cuando éstas se evalúan en un probador de Bajío, y de tipo cuadrático en el probador de Trópico.

La mayor estabilidad del rendimiento se encontró condicionada por una menor dosis de germoplasma de Bajío, la cual fue de 0.00, cuando éstas se

---

1 Investigador adjunto, encargado del programa de maíz, Campo Agrícola Experimental Campeche, CIAPY, INIFAP

2 Maestro Investigador del Depto de Fitomejoramiento, Div. de Agronomía, UAAAN

evalúan en un fondo genético del mismo ambiente, y dosis de 0.50 y 0.75, cuando las dosis son evaluadas en el probador de Trópico. Se observó cierta asociación entre la dosis que optimiza el rendimiento, con la dosis de germoplasma que produce la mayor estabilidad.

## INTRODUCCION

El éxito de cualquier programa de mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) está determinado principalmente por la variabilidad genética presente en las poblaciones con las que se inicia la selección. Para los sistemas de mejoramiento por pedigree es necesario, además de considerar la divergencia genética de los progenitores, la dosis de germoplasma a incorporar, que maximice la expresión del carácter deseado.

La variabilidad existente en maíz ha sido agrupada en un gran número de razas (Wellhausen *et al.* 1951). En México, estas razas han sido evaluadas en ambientes contrastantes, en donde los resultados han mostrado algunas respuestas heteróticas al confrontar a través de cruzamiento de ejemplares representativos de los diferentes ambientes. Por otra parte, se han determinado magníficas combinaciones entre líneas de maíz adaptadas al Trópico y Bajío, como lo señalan los estudios de Espinoza (1977), Varela (1977), Alvarez (1979) y otros, donde al realizar cruzamientos y evaluaciones entre materiales de estas 2 zonas ecológicas, indican que la mayoría de las cruzas en las que se involucra un 50% de germoplasma de ejemplares de El Bajío, con un 50% del Trópico, presentan el mayor vigor híbrido y un amplio rango de adaptación.

En la presente investigación se exploran un mayor número de combinaciones de dosis de germoplasma, derivadas de una serie de cruzas y retrocruzas entre las líneas progenitoras de los híbridos triples AN-360 y AN-461, desarrolladas para Bajío y el Trópico, respectivamente, por el Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Los objetivos de esta investigación son:

1. Medir la respuesta de diferentes dosis de germoplasma obtenida de cruzamientos entre líneas, a través de ambientes, y probadores de El Bajío y Trópico.
2. Identificar las dosis de germoplasma que induzcan a una mayor estabilidad en los cruzamientos, involucrando germoplasma adaptado a Bajío y Trópico.

## REVISION DE LITERATURA

De la inmensa riqueza de recursos genéticos germoplasmáticos vegetales disponibles, destaca por su importancia económica y social el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). La diversidad genética existente en maíz, fue ordenada en grupos con características similares denominados razas, las cuales han sido descritas y estudiadas en cruza interracial por: Bucio (1954), Barrientos (1963), Castro (1964) y Molina (1964), en donde estos investigadores muestran la utilidad potencial para incrementar los rendimientos, en base a la buena heterosis que se logra entre estas cruza, puesto que los rendimientos obtenidos han superado a los de sus progenitores, e incluso a híbridos comerciales utilizados como testigos en las regiones de prueba.

El grado de diversidad genética ha tenido impacto en la expresión de la heterosis, y se ha llegado a afirmar que, en términos generales, las cruza entre materiales ampliamente divergentes, en cuanto a sus relaciones ancestrales y orígenes geográficos, producen un incremento en heterosis a causa del aumento en la diversidad genética entre las poblaciones o líneas parentales (Lonquist y Gardner, 1961; Moll *et al.*, 1962, y Paterniani y Lonquist, 1963). Sin embargo, estudios posteriores conducidos por Moll *et al.* (1965), muestran que la heterosis se incrementa con la divergencia genética dentro de un rango restringido de divergencia, puesto que en cruza extremadamente divergentes la heterosis disminuye. Asimismo, Cress (1966) indica que la respuesta heterótica no puede relacionarse, en general, con una divergencia genética paternal y considera que las contribuciones heteróticas negativas en ciertos *loci*, anula la respuesta positiva en otros *loci*; por lo tanto, la respuesta neta en el híbrido, puede ser una desviación pequeña o no de la media de los padres.

En la utilización del germoplasma exótico, o extraño, hay que considerar el mejor procedimiento para la incorporación de germoplasma, de manera tal que la divergencia genética del material paternal sea maximizada, mientras que, al mismo tiempo, se minimice la divergencia fenotípica de los niveles, o caracteres agronómicos deseados. En consideración a esto, Castro *et al.* (1968) estimaron que el más alto rendimiento predicho para Bajío, es un compuesto de 3 razas (8 277 ton/ha) que incluye germoplasma en proporciones de 1/4 Pepitilla, 1/4 Celaya y 1/2 Comiteco. Además, este compuesto presentó buenas características de precocidad y altura de planta, en comparación al compuesto que incluye 1/2 Pepitilla y 1/2 Comiteco.

Con el fin de estudiar la respuesta resultante en las cruza de maíces del Trópico (raza tuxpeño), con los de la Mesa Central (raza chalqueño) en México, Sánchez *et al.* (1973) realizaron cruza y retrocruza en base a 3 niveles de variabilidad genética (líneas, variedades y compuestos) obteniendo combinaciones con dosis de germoplasma exótico que variaron de 0 a 100%.

Estas dosis tuvieron una respuesta de tipo cuadrática en relación al rendimiento. La dosis óptima de germoplasma exótico, varía con el tipo de material usado y con el ambiente en que se prueba el material de cruza; por ejemplo: en Tepalcingo, Mor. tuvieron éxito las dosis de germoplasma exótico en porcentajes de 43.40, 28.63 y 22.03 para líneas, variedades y compuestos, respectivamente; en Cotaxtla, Ver., para líneas, el porcentaje resultó 11.90 y para variedades y compuestos se encuentra entre 0.0 y 12.5% de germoplasma exótico. En general, se encontró que a mayor amplitud germoplasmática corresponde una menor dosis de germoplasma exótico para maximizar el rendimiento.

Crossa y Gardner (1984) obtuvieron resultados similares a los anteriores, en cuanto al tipo de respuesta de la dosis de germoplasma en relación al rendimiento, al evaluar 90 líneas  $S_1$  de maíz, derivadas de poblaciones con 50, 75 y 100% de germoplasma adaptado a la Faja Maicera de Estados Unidos. Las evaluaciones muestran que las medias de rendimiento en grano, de las familias  $S_1$  con 100, 75 y 50% de germoplasma adaptado, fueron: 4.13, 4.12 y 3.49 ton/ha, respectivamente.

En los programas de Mejoramiento Genético de Maíz, es necesario contar con las estimaciones más precisas de las contribuciones de los valores genotípicos, para utilizarse en las predicciones y consecuciones de las ganancias genéticas. Se puede indagar el valor genotípico de los individuos, en base a las mediciones hechas sobre su fenotipo y por ahora la única forma de hacerlo, el cual refleja las influencias genéticas o no genéticas (ambientales) durante el desarrollo de la planta. Las respuestas diferenciales de los efectos genotípicos y ambientales en el desarrollo de los organismos, requiere de estudios para su manejo y utilización; fenómenos que dieron origen a un importante grupo de parámetros, conocidos con el nombre de interacciones genotipo-ambiente, como los señalados por Robinson y Cockerham (1965).

Debido a que los efectos genotípicos no son, en general, independientes de los efectos ambientales, se ha observado que la relación entre la producción de diferentes genotipos en varios ambientes y alguna medida de estos ambientes, es a menudo lineal, o casi lineal (Moll y Stuber, 1974). A causa de este tipo de relación, varios investigadores han utilizado la técnica de regresión, para caracterizar la respuesta de los genotipos en varias condiciones ambientales. Una aplicación de esta técnica es en la metodología desarrollada por Eberhart y Russell (1966), en la cual proponen el modelo  $Y_{ij} = M_i + B_{ij} + S_{ij}$ , que define los parámetros de estabilidad, que pueden ser utilizados para describir el comportamiento de una variedad sobre una serie de ambientes. En este modelo,  $Y_{ij}$  es la media varietal de la variedad  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $M_i$  es la media de la variedad  $i$  en todos los ambientes;  $B_j$  es el coeficien-

te de regresión que mide la respuesta de la variedad  $i$  sobre ambientes;  $I_j$  es el índice del ambiente  $j$ ;  $S_{ij}$  es la desviación de la regresión de la variedad  $i$  en el ambiente  $j$ , en donde los parámetros para medir la estabilidad son el coeficiente de regresión y el cuadrado medio de las desviaciones de regresión.

Los valores que pueden resultar de los parámetros de estabilidad, propuestos por Eberhart y Russell (1966), fueron definidos por Carballo y Márquez (1970) en 6 situaciones posibles (Cuadro 1), en que se puede encontrar el comportamiento de un genotipo en un conjunto de ambientes.

**Cuadro 1. Situaciones posibles en la caracterización de genotipos (Carballo y Márquez, 1970).**

Situación	Coefficientes de regresión	Desviaciones de la regresión	Descripción
a	$b_i = 1.0$	$S^2 d_i = 0$	variedad estable
b	$b_i = 1.0$	$S^2 d_i > 0$	buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistente.
c	$b_i < 1.0$	$S^2 d_i = 0$	respuesta mejor en ambientes favorables y consistente.
d	$b_i < 1.0$	$S^2 d_i > 0$	respuesta mejor en ambientes desfavorables e inconsistente.
e	$b_i > 1.0$	$S^2 d_i = 0$	respuesta mejor en buenos ambientes y consistente.
f	$b_i > 1.0$	$S^2 d_i > 0$	respuesta mejor en buenos ambientes e inconsistente.

## MATERIALES Y METODOS

La fase experimental de esta investigación se desarrolló en 2 regiones geográficas que son: Bajío, representado por Irapuato, Gto. y Trópico, por Apatzingán, Mich., y la localidad de Torreón, Coah., considerada como un ambiente intermedio entre Bajío y Trópico, principalmente en cuanto a altitud. Además, se utilizó la localidad de Tepalcingo, Mor., como apoyo para la formación de los materiales de prueba.

El material básico de la presente investigación, lo constituyeron los híbridos triples: AN-360 con genealogía (AN-232 x AN-255) x AN-76, y el AN-461 con (AN<sub>1</sub> x AN<sub>2</sub>) x ANH-85, los cuales fueron desarrollados por el Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para la región de El Bajío Mexicano y el Norte de México, respectivamente.

Se utilizaron, además, las líneas AN-32 y AN-119-1, formadas a partir de la combinación de los progenitores macho de los 2 híbridos triples AN-360 y AN-461, seleccionadas en base a evaluaciones realizadas en ambientes, de Bajío y Trópico durante 2 años.

Dado el propósito de este trabajo, se ideó la forma de combinar a líneas y material básico, para obtener grupos de maíces con diferentes dosis de germoplasma, identificados como Bajío y Trópico, en donde las líneas AN-32 y AN-119-1 se retrocruzaron hacia los progenitores macho de los 2 híbridos triples para, posteriormente, en la generación segregante (RC<sub>1</sub> F<sub>2</sub> denominadas como A, B, C y D) se derivaron una serie de líneas, las que representan la dosis 0.75/0.25. Las dosis de germoplasmas obtenidas se muestran en los Cuadros 2 y 3, en donde la primera indica las dosis obtenidas para la línea AN-32, y la segunda utilizando la línea AN-119-1. Las dosis se evaluaron utilizando como probadores las hembras de los 2 híbridos triples.

Las dotaciones nucleares obtenidas, considerando la línea AN-32 y AN-119-1, se evaluaron en 3 localidades, bajo un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas con 3 repeticiones, en donde las parcelas grandes estuvieron constituidas por las cruza simples (AN-232 x AN-255) y (AN<sub>1</sub> x AN<sub>2</sub>), utilizadas como probadores, y las parcelas chicas las formaron los grupos con las constituciones nucleares; además, éstas fueron bloqueadas para eliminar el efecto de porte de planta alto con enano. Las localidades de prueba fueron: Irapuato, Gto., Apatzingán, Mich., y Torreón, Coah.

Para analizar estadísticamente los resultados obtenidos de las evaluaciones de campo, se transformaron las variables medidas en porcentajes, por la transformación de Arc sen. Además, se realizó análisis de covarianza para las variables rendimiento y mazorcas por 100 plantas, en donde la covariable que está afectando a estas variables, es el número de plantas cosechadas. Posteriormente se procedió al análisis de varianza individual para cada una de las 3 localidades, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkn} = M + R_i + P_j + N_{ij} + D_k(j) + L_n(kj) + F_{ijkn}$$

**Cuadro 2. Dotaciones germoplásmicas Bajío/Trópico incluidas en los ensayos de rendimiento, considerando la línea AN-32 N.**

Porte	Genealogía	Dosis	No. de líneas
(E)	Probador (AN-232 x AN-255)		
Probador			
	Grupo		
(E)	AN-76	1.00/0.00	1
(N)	(A) F <sub>2</sub> —	0.75/0.25	10
(N)	AN-32	0.50/0.50	1
(N)	(B) F <sub>2</sub> —	0.25/0.75	10
(N)	ANH-85	0.00/1.00	1
(N)	Probador (AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )		
	Grupo		
(N)	AN-76	1.00/0.00	1
(N)	(A) F <sub>2</sub> —	0.75/0.25	10
(N)	AN-32	0.50/0.50	1
(N)	(B) F <sub>2</sub> —	0.25/0.75	10
(N)	ANH-85	0.00/1.00	1
			<b>Total</b>
			<b>46</b>

(E) = enano  
(N) = normal

**Cuadro 3. Dotaciones germoplásmicas Bajío/Trópico incluidas en los ensayos de rendimiento, considerando AN-119-1 E**

Porte	Genealogía	Dosis	No. de líneas
	<b>Probador</b>		
(E)	(AN-232 x AN-255)		
	<b>Grupo</b>		
(E)	AN-76	1.00/0.00	1
(E)	(C) F <sub>2</sub> —	0.75/0.25	6
(E)	AN-119-1	0.50/0.50	1
(E)	(D) F <sub>2</sub> —	0.25/0.75	10
(N)	ANH-85	0.00/1.00	1
	<b>Probador</b>		
(N)	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )		
	<b>Grupo</b>		
(N)	AN-76	1.00/0.00	1
(N)	(C) F <sub>2</sub> —	0.75/0.25	6
(N)	AN-119-1	0.50/0.50	1
(N)	(D) F <sub>2</sub> —	0.25/0.75	10
(N)	ANH-85	0.00/1.00	1

Total = 38

(E)=enano

(N)=normal

donde:

- $Y_{ijkn}$  = Valor observado en la i-ésima repetición en el j-ésimo probador de la k-ésima dosis, en la n-ésima línea.  
 $M$  = Media general.  
 $R_i$  = Efecto de la i-ésima repetición.  
 $P_j$  = Efecto del j-ésimo probador.  
 $D_k(j)$  = Efecto de la k-ésima dosis, dentro del j-ésimo probador.  
 $L_n(j)$  = Efecto de la n-ésima línea, dentro del j-ésimo probador.  
 $L_n(kj)$  = Efecto de la n-ésima línea, dentro de la k-ésima dosis y del j-ésimo probador.  
 $N_{ij}$  = Efecto aleatorio intrabloque o repetición.  
 $E_{ijkn}$  = Efecto aleatorio conjunto.

Para lo cual se asume que los efectos de probadores, líneas y grupos, se consideran fijos, y los errores se consideran como:

$$\begin{aligned}
 N_{ij} &\sim NI(0, \sigma^2/n) \\
 E_{ijkn} &\sim NI(0, \sigma^2/e), \text{ además,} \\
 R_i &\sim NI(0, \sigma^2/r)
 \end{aligned}$$

La suposición de homogeneidad de varianza, entre los experimentos involucrados en un análisis combinado, se probó mediante la técnica desarrollada por Bartlett (1935).

Una vez identificado que los errores experimentales se distribuyen normal e independientemente con una varianza común, se procedió al análisis de varianza combinado.

Para determinar el tipo de modelo que pudiera describir adecuadamente la dispersión de los datos identificados en las dosis de germoplasma, se realizó un análisis de regresión lineal y cuadrático de éstas, con respecto al rendimiento. Además, en donde existió un modelo de respuesta cuadrática, se calculó la dosis de germoplasma que maximiza el rendimiento a través de los puntos críticos, para lo cual se igualó a cero la primera derivada de la ecuación de regresión cuadrática.

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$$

donde:

$$\begin{aligned}
 b_0, b_1 \text{ y } b_2 &= \text{parámetros de la regresión.} \\
 x &= \text{dosis de germoplasma.}
 \end{aligned}$$

Finalmente se estimó la estabilidad de las dosis de germoplasma, aplicando la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966), para lo cual se utilizó como parámetro a medir, la media de rendimiento expresada en kilogramos por hectárea. Para la interpretación de estos parámetros se consideró la clasificación propuesta por Carballo y Márquez (1970).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Variación de las dosis de germoplasma

Para analizar la variación existente entre las dosis de germoplasma, se enfocará la discusión sobre los resultados obtenidos en el análisis combinado de los 3 ambientes de prueba, representados por: Irapuato para Bajío, Apatzingán para Trópico y, por último, se consideró la localidad de Torreón como un ambiente intermedio en cuanto a su altitud principalmente, entre Bajío y Trópico. Esto es con el fin de evitar las desviaciones producidas por la interacción de dosis con ambiente.

El análisis de varianza combinado de las 3 localidades, para 6 variables de la línea AN-32, se presenta en el Cuadro 4. Estos resultados indican que las dosis de germoplasma, en el probador de Bajío, presentan variación significativa para la mayoría de los caracteres, excepto para días a floración masculina y femenina.

Por otra parte, en el fondo genético de Trópico, los días a floración muestran diferencias altamente significativas, pero el porcentaje de mala cobertura sólo es significativo, aunque esta variable tiene mayor variación que en el fondo del Bajío. Así, los resultados indican que las diferencias entre dosis manifiestan en forma diferente, según el carácter y el probador a considerar.

Al considerar el rendimiento, se observan diferencias altamente significativas para las dosis dentro del fondo genético o probador de El Bajío, y diferencias no significativas en el fondo genético de Trópico; sin embargo, su interacción con el ambiente las vuelve no significativas y altamente significativas, respectivamente. Esto parece indicar que el efecto de dosis sobre el rendimiento está más influido por el ambiente, cuando estas dosis se evalúan en el fondo genético Trópico, y no así en el de Bajío.

El análisis de varianza combinado (Cuadro 5) de la línea AN-119-1, indica que el efecto de dosis de germoplasma, dentro del fondo genético del Trópico, presenta diferencias altamente significativas para todas las variables. Sin embargo, al interaccionar las dosis con localidades disminuye la variación

**Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado para 6 características agronómicas de maíz AN-32.**

Fuentes de variación	g.l.	Mazorcas x 100 plantas	Días a flor masculina	Días a flor femenina	% de mazorcas podridas	% de mala cobertura	Hendimiento mazorca ton/ha <sup>1</sup>
Localidades (A)	2	20394.62**	15632.53**	13321.98**	9403.40**	5458.31*	1434.50**
Probadores (P)	1	653.14	274.32**	356.17**	2724.28**	5982.16**	0.082
P x A	2	878.67	4.42	21.48	683.00*	2713.88**	56.87**
Dosis/P (D/P)	8	460.99*	35.69**	44.05**	370.78**	719.56**	30.49**
D/P <sub>1</sub>	4	749.11**	5.76	6.34	721.19**	275.68*	56.63**
D/P <sub>2</sub>	4	172.86	65.61**	81.75**	20.36	1163.45*	4.35
D x A/P	16	335.07*	7.08**	6.81*	127.38*	305.91**	6.19**
D x A/P <sub>1</sub>	8	458.42*	5.55	6.40	12.79	287.32**	4.75
D x A/P <sub>2</sub>	8	211.71	8.61**	7.21	241.98	324.51**	7.62**
Error	264	186.50	3.32	3.87	66.87	98.01	2.45
C.V. (%o)		14.2	2.8	2.9	37.0	43.0	17.1

1 Al 15.5 %o de humedad

\*\*\* Significancia al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

**Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado para 6 características agronómicas de maíz AN-119-1.**

Fuentes de variación	g.l.	Mazorcas x 100 plantas	Días a flor masculina	Días a flor femenina	% de mazorcas podridas	% de mala cobertura	Rendimiento mazorca ton/ha <sup>1</sup>
Localidades (A)	2	20645.09**	13635.90**	12188.20**	5567.22**	5274.21**	946.09**
Probadores (P)	1	5448.03*	696.33**	907.16**	1351.15*	10434.42**	70.38*
P x A	2	509.40	3.69	0.49	741.22	3381.05	56.30*
Dosis/P (D/P)	8	1475.69**	25.58**	31.13**	691.31**	1050.19**	37.43**
D/P <sub>1</sub>	4	874.78**	2.36	2.78	1118.36**	423.38**	52.96**
D/P <sub>2</sub>	4	2076.60**	48.80**	59.48**	264.26**	1677.00**	21.91**
D x A/P	16	530.59**	7.16**	8.38*	92.70	187.63*	2.89
D x A/P <sub>1</sub>	8	208.57	6.11	7.87	113.71	124.77	1.63
D x A/P <sub>2</sub>	8	852.61**	8.12*	8.89*	71.68	250.50**	4.15
Error	216	218.14	3.35	4.05	57.80	94.30	2.21
C.V. (%o)		14.2	2.8	2.9	37.9	43.7	16.1

1 Al 15.5 %o de humedad.

\*\* Significancia al nivel de probabilidad del 0.05 y 0.01, respectivamente.

y así el rendimiento y el porcentaje de mazorcas podridas, no presentan diferencias significativas. El efecto de dosis, en el probador de Bajío, es similar, con excepción de los días a floración masculina y femenina, ya que el resto de las variables son altamente significativas pero, al interaccionar con localidades, no hay significancia en ninguna de las variables estudiadas.

Los resultados conjuntos de las 2 líneas, parecen indicar que el efecto de la dosis sobre el rendimiento está influido por el ambiente y por el probador o fondo genético, utilizado para evaluar las dosis. Además, y no obstante que las líneas AN-32 y AN-119-1 tienen el mismo origen y constitución genética, con variación sólo en el porte, la primera normal y la otra enana, podría considerarse que la existencia de variaciones, en cuanto al tipo de respuesta, se deba al muy probable muestreo de gametos paternos, que estarían provocando que algunas de las líneas hayan acumulado más genes de uno u otro ambiente (Bajío o Trópico).

Las dosis de germoplasma, en esta investigación, se obtuvieron a partir de las combinaciones entre un grupo de líneas básicas. Este procedimiento pudo haber provocado la presencia de efectos epistáticos en las combinaciones de las líneas que condujeron a las dosis en estudio. Si esto se presentó, se estará encarando el fenómeno tal como lo indican los estudios de Sprague y Thomas (1967) y Sprague *et al.* (1962), al encontrar que los efectos epistáticos son detectados, tanto en cruzas entre líneas élite de maíz, como en cruzamiento entre líneas no seleccionadas.

Una medida útil de la importancia relativa de la epistasis, lo indicaron Eberhart *et al.* (1964), y Moreno y Dudley (1981), como la desviación entre la producción observada en cruzas dobles y triples, y la producción predicha, cuando las medias de rendimiento de las cruzas simples y triples son utilizadas en las ecuaciones de predicción.

En base a lo anterior y a la característica genética del material, se pueden predecir ciertas dotaciones germoplásmicas a partir de los rendimientos (Cuadro 6) de las cruzas, que involucren a las líneas incluidas en estas dosis; i.e., la dosis 0.75 de Bajío, considerando la línea AN-32, está constituida por (AN-76 x AN-32)F<sub>2</sub>, indicada como (A)F<sub>2</sub> (Cuadro 2); esta dosis puede ser estimada a partir de la dosis 1.0+0.50 de Bajío/2, lo que equivale al promedio de las cruzas AN-76+AN-32; además, si se tiene que AN-76+ANH-85 es igual a 1.0+0.0 de Bajío, se esperaría que el promedio de estas cruzas equivalga a (AN-76 x ANH-85), indicada como AN-32, lo que presenta a un 0.50 de dosis de Bajío; por último, se tiene que (AN-32 y ANH-85) corresponde a 0.25 de dosis de Bajío; así, el valor predicho estuviera en base a 0.50 +0.00 de Bajío/2=0.25, lo que corresponde al promedio de AN-32+ANH-

14 Cuadro 6. Rendimiento promedio de las dosis de germoplasma (Bajío/Trópico) considerando las líneas AN-32 y AN-119-1.

Localidades	Probador Bajío y Trópico	Dosis (Bajío)					$\bar{x}$
		1.0	0.75	0.50	0.25	0.00	
Irapuato	(AN-232 x AN-255)	8.87	10.56	13.22	11.75	13.25	11.24
		9.17	10.22	10.85	11.38	13.25	10.97
	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	9.82	10.61	11.74	9.01	7.88	9.81
		9.61	10.08	12.07	10.46	8.11	10.26
Torreón	(AN-232 x AN-255)	7.23	10.21	11.61	12.36	14.71	11.28
		6.77	9.35	11.89	10.68	13.93	10.29
	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	11.20	11.94	11.19	11.70	11.84	11.77
		10.62	10.76	13.98	12.96	10.98	12.09
Apatzingán	(AN-232 x AN-255)	2.34	4.78	4.85	5.21	7.86	5.00
		2.22	4.09	6.09	5.65	7.93	5.12
	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	5.04	5.95	4.33	6.35	5.93	6.01
		4.96	6.42	6.75	7.20	6.08	6.75
Combinado de 3 localidades	(AN-232 x AN-255)	6.15	8.52	9.89	9.77	11.94	9.17
		6.05	7.89	9.61	9.24	11.70	8.79
	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	8.69	9.50	9.08	9.02	8.55	9.20
		8.39	9.09	10.93	10.21	8.39	9.70

AN-32 = hilera superior

AN-119-1 = hilera inferior

85. Todas estas consideraciones son hechas bajo la suposición de efectos aditivos de los genes.

En este mismo sentido, y utilizando las medias de rendimiento, se pueden determinar las desviaciones existentes entre los rendimientos observados y las producciones predichas, las cuales serían una medida de los efectos epistáticos; para esto, sólo se considerarán las medias obtenidas del promedio de las 3 localidades, tomando en consideración las investigaciones de Darrah y Hallauer (1972), Otsuka *et al.* (1972), y Stuber y Moll (1974), en donde indican que es necesario que las cruzas que se utilizan en la predicción, sean probadas en ensayos en varias localidades, puesto que la contribución de la epistasis podría ser igual a la contribución de la interacción genotipo por ambiente.

Así, mediante el incremento de las localidades de prueba, la contribución de la interacción es más pequeña. Los resultados indican que los valores de producción predichos para las dosis, no tuvieron respuesta similar para las 2 líneas en la investigación.

Esta discrepancia pudiera deberse a que, de acuerdo con Eberhart *et al.* (1964), mediante el procedimiento de selección, fueron fijadas en algunas de las líneas, combinaciones de *loci*, las cuales tienen efectos epistáticos favorables y, a causa de la recombinación al azar en los cruzamientos, es muy probable la pérdida de algunas de estas combinaciones epistáticas favorables.

Al considerar las 2 líneas AN-32 y AN-119-1 y los 2 probadores (Bajío y Trópico), las desviaciones de los valores predichos y los valores observados fueron en un 75% de los casos, mayores los rendimientos observados que la producción predicha. Estas desviaciones pueden deberse entonces, a una contribución de la epistasis a la heterosis.

### **Efecto de la dosis sobre el rendimiento**

Los resultados del análisis de regresión de la dosis de germoplasma de Bajío con respecto a rendimiento, considerando a las 2 líneas, en las 3 localidades, se presentan en los Cuadros 7 y 8. Se observa una marcada tendencia de respuesta lineal de las dosis, para las 2 líneas, en cada una de las 3 localidades de prueba, considerando el probador de El Bajío. Al evaluar las dosis en el probador de Trópico, la respuesta de la dosis presenta un efecto cuadrático significativo para la línea AN-119-1, en los ambientes del Trópico e Intermedio (Apatzingán y Torreón), y un efecto altamente significativo para el ambiente de Bajío (Irapuato). Por otra parte, las dosis de la línea AN-32 presentan un efecto cuadrático significativo en el ambiente de Bajío, pero sin ningún tipo de respuesta en los ambientes Intermedio y de Trópico.

**Cuadro 7. Cuadrados medios y significancia para el análisis de regresión de la dosis de germoplasma. Considerando AN-32.**

Fuentes de variación	g.l.	Localidades		
		Irapuato (Bajío)	Torreón (Intermedio)	Apatzingán (Trópico)
Efecto lineal	1	45.48**	142.18**	24.97**
		42.32**	0.15	3.59
Efecto cuadrático	1	1.55	0.77	0.10
		9.84*	0.14	0.37
Error total	66	3.37	4.65	2.50
		3.55	4.30	2.08
R <sup>2</sup> total (O/o)		17.46	32.76	13.19
		18.19	0.10	2.80

Probador de Bajío (AN-232 x AN-255)= hilera superior.

Probador de trópico (AN<sub>1</sub> x AN<sub>2</sub>)= hilera inferior.

\*, \*\* Significancia al nivel de probabilidad del 0,05 y 0,01, respectivamente.

**Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia para el análisis de regresión de la dosis de germoplasma. Considerando AN-119-1.**

Fuentes de variación	g.l.	Localidades		
		Irapuato (Bajío)	Torreón (Intermedio)	Apatzingán (Trópico)
Efecto lineal	1	36.52**	73.56**	67.98**
		0.01	39.04**	9.72*
Efecto cuadrático	1	0.92	0.01	0.01
		17.67**	13.38*	8.33*
Error total	54	2.48	6.01	1.47
		2.22	4.81	2.11
R <sup>2</sup> total (O/o)		21,87	18.49	46.17
		12.83	16.80	13.67

Probador de Bajío (AN-232 x AN-255)= hilera superior.

Probador de Trópico (AN<sub>1</sub> x AN<sub>2</sub>)= hilera inferior.

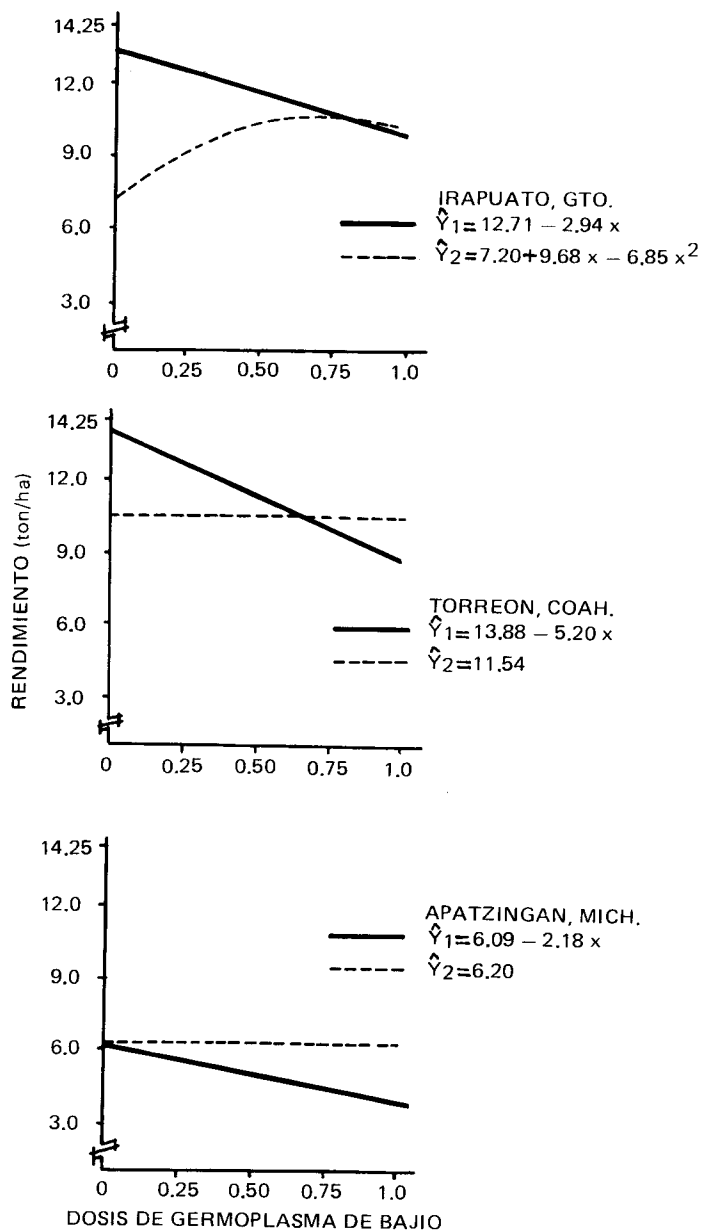
\*, \*\* Significancia al nivel de probabilidad del 0,05 y 0,01, respectivamente.

De manera concluyente, los resultados muestran que independientemente del ambiente de prueba, cuando las dosis se evaluaron en el probador de Bajío, existió una respuesta lineal; sin embargo, esta situación varía cuando las dosis de germoplasma se evaluaron en el probador de Trópico, debido a que en el ambiente de Bajío la respuesta cuadrática es más consistente y en los ambientes Intermedio y de Trópico, la respuesta cuadrática sólo es significativa. Es importante considerar que, aunque los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) son bajos, menores del 50%, sí existe un efecto debido a la regresión de la dosis de germoplasma sobre el rendimiento.

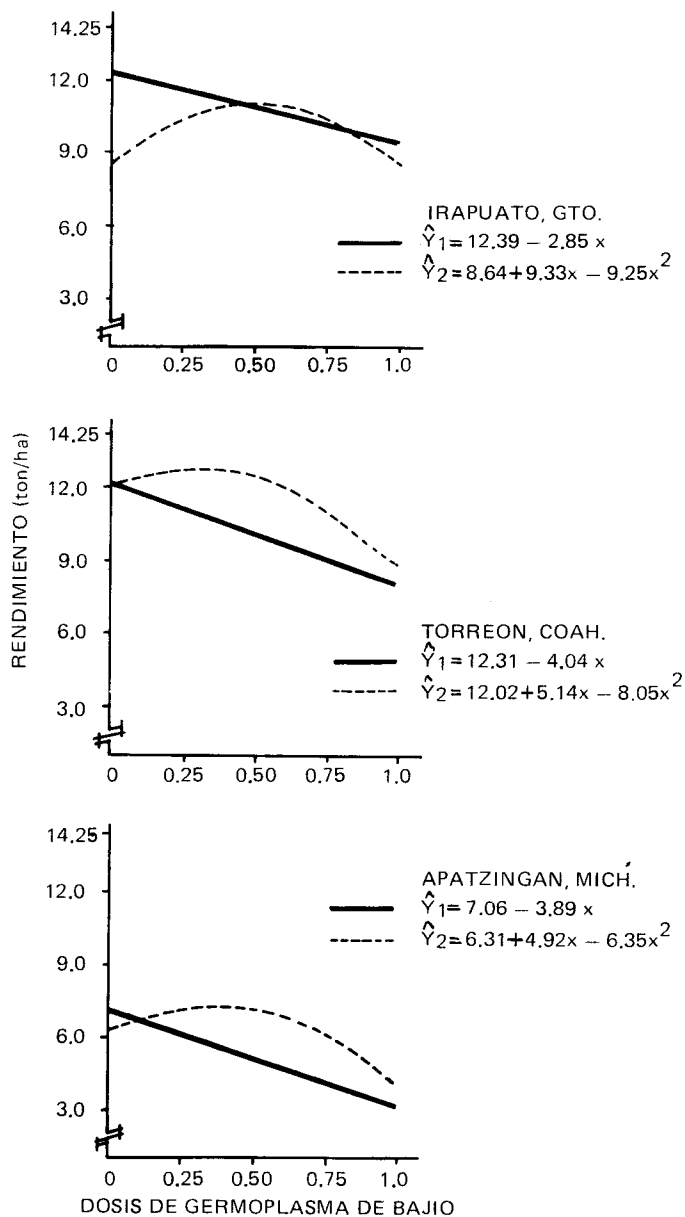
La tendencia de las dosis de germoplasma (Figuras 1 a 6) considerando las respuestas lineales, muestra que éstas tienen una pendiente negativa, lo que indica que a medida que aumenta la dosis de Bajío en el probador de Bajío, el rendimiento se reduce; así, los mayores rendimientos se obtienen cuando la dosis de germoplasma de Bajío es de 0.00; esto muestra que la mayor heterosis se obtiene cuando en la cruce se involucra a las líneas más divergentes, lo cual coincide con los resultados de Lonquist y Gardner (1961), Moll *et al.* (1962), y Parterniani y Lonquist (1963). Es importante hacer notar que, aunque existe el mismo tipo de respuesta lineal, la reducción del rendimiento por el aumento de la dosis de germoplasma de El Bajío, es mucho más marcada en el ambiente intermedio (Figuras 2 y 5) que en el de Bajío y Trópico; esto indica que la endogamia resultante, al aumentar la dosis de Bajío a un probador de Bajío, afecta el rendimiento, más en un ambiente intermedio y en el de Trópico, aunque este último en una menor proporción.

Analizando la tendencia de las dosis en el probador de Trópico, la respuesta es de tipo cuadrática, mostrando que a medida que aumenta la dosis de Bajío, se incrementa el rendimiento, al parecer a causa de una mayor heterosis, pero este incremento en el rendimiento se reduce al aumentar la divergencia genética de los materiales paternos; resultados similares fueron obtenidos por Moll *et al.* (1965), en donde indican que la heterosis se incrementa dentro de un rango restringido de divergencia.

Considerando los 2 tipos de respuesta (lineal y cuadrática) observados, en el caso lineal la heterosis es mayor cuando existe la mayor divergencia genética; pero, en la respuesta cuadrática, obtenida en el fondo genético de Trópico, la mayor heterosis se encuentra dentro de un rango restringido de divergencia, que oscila de 0.30 a 0.70; estas condiciones parecen compartir la idea de que la heterosis no se relaciona en general con la divergencia paterna. Cress (1966) indica que la mayor heterosis se manifiesta en base a las contribuciones heteróticas positivas en ciertos *loci* y, además, éstas pueden ser anuladas por las respuestas negativas en otros *loci*. Entonces, la respuesta



**Figuras 1,2,3. Regresión del rendimiento sobre la dosis de germoplasma de Bajío en el probador de Bajío (—) y Trópico (- -), línea AN-32.**



Figuras 4,5,6. Regresión del rendimiento sobre la dosis de germoplasma de Bajío en el probador de Bajío (—) y Trópico (- - -), línea AN-119-1.

híbrida estará condicionada a la mayor acumulación de respuestas positivas presentes en el material paternal, y no necesariamente a la mayor divergencia paternal.

Obtener mayor producción es un objetivo básico y de suma importancia, por lo que siempre se impondrá determinar la dosis de germoplasma que maximice el rendimiento, como lo señalan Griffing y Lindstrom (1954), Eberhart (1971) y Hallauer y Sears (1972), al incorporar germoplasma exótico a la Faja Maicera de Estados Unidos.

Para esta investigación, se determinaron las dosis de germoplasma que maximizan el rendimiento en los casos de respuesta cuadrática; así se tiene que, para la línea AN-32 se obtuvo una sola estimación (Cuadro 9), la cual fue para el ambiente de Bajío, con un valor de 70.74%, y un rendimiento predicho de 10.63 ton/ha. Para la línea AN-119-1, de las dosis óptimas, sólo una superó ligeramente el 50% de germoplasma de Bajío, con un rendimiento de 10.99 ton/ha; ésta se presentó en el ambiente de Bajío. En el ambiente Intermedio, la dosis que maximiza el rendimiento es menor que la del ambiente de Bajío y de Trópico, con un valor de 31.94% y un rendimiento de 12.84 ton/ha.

**Cuadro 9. Valores óptimos de dosis de germoplasma de Bajío y sus rendimientos predichos.**

Localidad	Línea	Fondo genético o probador	Dosis óptima Bajío (%o)	Rendimiento (ton/ha)
1. Bajío	AN-32N	trópico	70.74	10.63
1. Bajío	AN-119-1	trópico	50.45	10.99
2. Intermedio	AN-119-1	trópico	31.94	12.84
3. Trópico	AN-119-1	trópico	38.78	7.26

Por lo tanto, se puede indicar que una dosis de 0.50 de germoplasma de Bajío, no precisamente produce los mayores rendimientos, sino que ésta varía de acuerdo al probador utilizado, debido a que en el fondo genético de Bajío la dosis que maximiza el rendimiento es de 0.00 de germoplasma de Bajío; esta dosis coincide con los resultados obtenidos por: Espinoza (1977), Varela (1977), Alvarez (1979), Parga (1981) y López (1981), en donde observaron que los mayores rendimientos se obtienen con materiales que involucren germoplasma de Bajío y trópico, en una proporción de 50% respectivamente; pero, cuando las dosis se evalúan en el probador de Trópico, éstas fluctúan entre 0.32 y 0.72. Además, cuando las dosis de germoplasma de Bajío se evalúan en el probador de Trópico, la dosis óptima está en

función del ambiente de prueba. Así, los resultados indican que en Bajío, la dosis que optimiza el rendimiento es mayor que la del ambiente intermedio.

### **Estabilidad de las dosis**

Al considerar el comportamiento de las dosis en relación al ambiente, los resultados indican que para la línea AN-32, las medias de rendimiento son mayores al disminuir la dosis de Bajío, cuando éstas son evaluadas en el probador de Bajío (Cuadro 10); además, a medida que disminuye la dosis de Bajío, los materiales son más estables; o sea que, los materiales menos endogámicos presentan más estabilidad; esta tendencia es coincidente con la afirmación de Falconer (1981), que indica que los caracteres son más afectados por el ambiente en individuos endogámicos que los individuos resultantes de cruzamientos, los cuales son menos sensitivos. Las dosis, en el fondo genético de Trópico, muestran buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistente cuando éstas son menores de 0.25; las medias de rendimiento mayores se obtienen cuando las dosis de germoplasma fluctúan de 0.50 a 0.75; además, éstas se comportan estables. Es importante notar que la dosis óptima estimada para la línea AN-32, se encuentra dentro del rango de dosis que presentan la mayor estabilidad, lo que parece indicar que existe cierta asociación entre el efecto de dosis que optimiza el rendimiento, con la dosis que produce la mayor estabilidad.

Considerando la línea AN-119-1 (Cuadro 11) se tiene que en el probador de Bajío, la dosis que produce la media de rendimiento más alta, es la de 0.00 de germoplasma de Bajío, lo cual apoya los resultados obtenidos con la línea AN-32; además, esta dosis se sitúa con una respuesta mejor en ambientes desfavorables y consistentes; así, este resultado es de importancia de acuerdo con Scott (1967), que considera que la estabilidad del rendimiento es de importancia en híbridos de maíz, especialmente para aquéllos que se desarrollan en áreas con problemas de producción. Al evaluar la dosis en el probador de Trópico, éstas tienden a ser más estables, a excepción de la dosis 0.25 de Bajío, la cual presenta buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistente.

### **CONCLUSIONES**

1. Existe cierto grado de dependencia del rendimiento, con respecto a la dosis de germoplasma a considerar, en los cruzamientos entre materiales de zonas ecológicas contrastantes (Bajío y Trópico).
2. El efecto de la dosis de germoplasma de Bajío sobre el rendimiento, al parecer está en función de las diferencias entre dosis del am-

**Cuadro 10. Estadísticos de parámetros de estabilidad y descripción de la situación de las dosis de germoplasma de Bajío. AN-32.**

Genealogía	Dosis de Bajío	Probador	x	b <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> di	Descrip.
AN-76	1.0	(AN-232 x AN-255)	6.148	0.971	2.640*	b
(AN-76 x AN-32)F <sub>2</sub> —	0.75	(AN-232 x AN-255)	8.520	0.984	1.437	a
AN-32	0.50	(AN-232 x AN-255)	9.893	1.299	3.471*	b
(AN-32 x ANH-85)F <sub>2</sub> —	0.25	(AN-232 x AN-255)	9.772	1.226	- 0.0136	a
ANH-85	0.00	(AN-232 x AN-255)	11.939	1.118	- 0.767	a
AN-76	1.0	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	8.688	1.001	- 0.754	a
(AN-76 x AN-32)F <sub>2</sub> —	0.75	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	9.502	0.875	1.819	a
AN-32	0.50	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	9.078	1.247	0.771	a
(AN-32 x ANH-85)F <sub>2</sub> —	0.25	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	9.021	0.773	1.594**	b
ANH-85	0.00	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	8.550	0.790	4.305**	b

\* Significativo al nivel de probabilidad del 0,05

\*\* Significativo al nivel de probabilidad del 0,01

**Cuadro 11. Estadísticos de parámetros de estabilidad y descripción de la situación de las dosis de germoplasma de Bajío. AN-119-1.**

Genealogía	Dosis de Bajío	Probador	x	pj	S <sup>2</sup> dj	Descrip.
AN-76	1.0	(AN-232 x AN-255)	6.054	1.104	3.904**	b
(AN-76 x AN-119-1)F <sub>2</sub>	0.75	(AN-232 x AN-255)	7.888	1.121	4.848	a
AN-119-1	0.50	(AN-232 x AN-255)	9.610	1.070	0.689	a
(AN-119-1 x ANH-85)F <sub>2</sub>	0.25	(AN-232 x AN-255)	9.238	1.061	19.275**	b
ANH-85	0.00	(AN-232 x AN-255)	11.704	1.139*	0.777	e
AN-76	1.0	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	8.393	1.045	0.694	a
(AN-76 x AN-119-1)F <sub>2</sub>	0.75	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	9.089	0.809	4.931	a
AN-119-1	0.50	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	10.934	1.284	0.089	a
(AN-119-1 x ANH-85)F <sub>2</sub>	0.25	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	10.205	0.943	21.113**	b
ANH-85	0.00	(AN <sub>1</sub> x AN <sub>2</sub> )	8.391	0.740	2.219	a

\* Significativo al nivel de probabilidad del 0.05

\*\* Significativo al nivel de probabilidad del 0.01

biente y probador utilizados en la evaluación. Así, las dosis óptimas oscilan entre 38.78% a 70.74% de germoplasma de Bajío, siendo las dosis mayores para el ambiente de Bajío que para el de Trópico y, ésta a su vez, mayor que la del ambiente Intermedio entre Trópico y Bajío.

3. La respuesta del rendimiento en relación a la dosis de germoplasma es de tipo lineal con pendiente negativa, por lo que el rendimiento se reduce con el aumento de la dosis de Bajío, en un fondo genético del mismo ambiente.
4. En el probador o fondo genético de Trópico, la respuesta en general es de tipo cuadrático; así, el rendimiento tiende a aumentar en relación directa con el aumento de la dosis de Bajío, dentro de un rango de 0.30 a 0.70, debido a que un aumento superior en la dosis, el rendimiento disminuye.
5. La respuesta heterótica en cruzamientos entre materiales de zonas ecológicas de El Bajío y Trópico, específicamente entre líneas, al parecer no se encuentra, en general, asociada con la divergencia paternal, sino más bien, se podría suponer que está asociada con la presencia de ciertas combinaciones de genes favorables para el rendimiento. Estas contribuciones probablemente sean debidas a efectos epistáticos positivos, los cuales contribuyen a la expresión de la heterosis.
6. La mayor estabilidad del rendimiento permite suponer que está condicionada por una mínima dosis de germoplasma de Bajío como 0.00, cuando éstas se evalúan en un fondo genético del mismo ambiente, y de 0.50 a 0.75, cuando las dosis son evaluadas utilizando un fondo genético de Trópico.
7. Existe cierta asociación entre la dosis que optimiza el rendimiento, con la dosis de germoplasma que produce la mayor estabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez G., I. 1979. Obtención de híbridos de maíz con alto potencial de rendimiento para explotarse tanto en El Bajío como en el Trópico Seco Mexicano. Tesis Profesional, Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 58 p.

- Barrientos P., F. 1963. Posible utilización de cruces interraciales entre maíces locales e introducidos. Mejoramiento de maíz. 9<sup>a</sup>. Reunión Centroamericana PCC MCA. San Salvador, El Salvador. pp. 40-45.
- Bucio, A., L. 1954. Algunas observaciones del comportamiento de la F<sub>1</sub> de las cruces entre las razas descritas en México. Tesis Profesional. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. 32 p.
- Carballo C., A y F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. Agrociencia 5(1):129-146. México.
- Castro G., M. 1964. Rendimiento y heterosis con cruces interraciales de maíz en México. Tesis M.C. Chapingo, México. Colegio de Post-Graduados de Chapingo. 39 p.
- Castro G., C.O. Gardner and J.H. Lonquist. 1968. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. Crop Sci. 8(1):97-101. (United States of America).
- Cress, C.E. 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two population. Genetics 53(2):269-274. (United States of America).
- Crossa L., J. and C.O. Gardner. 1984. Introgression of exotic germplasm for improving adapted maize breeding populations. Agron. Abstracts p. 63. (United States of America).
- Darrah, L.L. and A.R. Hallauer. 1972. Genetic effects estimated from generation means in four diallel sets of maize inbreds. Crop Sci. 12(5): 615-621. (United States of America).
- Eberhart, S.A. 1971. Regional maize diallels with US and semi-exotic varieties. Crop Sci. 11(3):911-914. (United States of America).
- and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6(1):36-40. (United States of America).
- and L.H. Penny. 1964. Double cross hybrid prediction in maize when epistasis is present. Crop Sci. 4(4):363-366. (United States of America).
- Espinoza B., A. 1977. Germoplasma tropical en el programa de maíces superenanos de El Bajío. Tesis Profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 51 p.

- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. Second edition; chapter eight. Ed. Longman, Londres. 340 p.
- Griffing, B. and E.W. Lindstrom. 1954. A study of the combining abilities of corn inbreds having varying proportions of corn belt and non-corn belt germplasm. *Agron. J.* 46(12):545-552. (United States of America).
- Hallauer, A.R. and J.H. Sears. 1972. Intergrating exotic germplasm into corn belt maize breeding programs. *Crop Sci.* 12(2):203-206. (United States of America).
- Lonnquist, J.H. and C.O. Gardner. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Sci.* 1(3): 179-183. (United States of America).
- López F., H.H. 1981. Predicción de híbridos de maíz para el Trópico Seco mediante la evaluación de cruzas entre líneas élite de diversas áreas ecológicas. Tesis Profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 56 p.
- Moll, R.H. and C.W. Stuber. 1974. Quantitative genetics-empirical results relevant to plant breeding. *Adv. Agron.* 26:277-313. (United States of America).
- , W.S. Salhuana and H.F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop. Sci.* 2(3):197-198. (United States of America).
- , J.H. Lonnquist, J. Velez F. and E.C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52:139-144. (United States of America).
- Molina G., J. 1964. Comportamiento de razas de maíz y sus cruzas con Tuxpeño Vandefño y Stiff Stalk Synthetic en Cotaxtla, Ver. Tesis M.C. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados de Chapingo. 61 p.
- Moreno, G.J. and J.W. Dudley. 1981. Epistasis in related and unrelated maize hybrids determined by tree methods. *Crop Sci* 21:644-651. (United States of America).
- Otsuka, Y., S.A. Eberhart and W.A. Russell. 1972. Comparisons of prediction formulas for maize hybrids. *Crop Sci.* 12(3):325-331. (United States of America).

- Parga T., V.M. 1981. Comportamiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) (Trópico Seco x Bajío) evaluados bajo 3 densidades de población en localidades representativas del origen de sus progenitores. Tesis Profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Paterniani, E. and J.H. Lonquist. 1963. Heterosis in interracial crosses of corn (*Zea mays* L.) *Crop Sci.* 3(6):504-507. (United States of America).
- Robinson, H.F. y C.C. Cockerham. 1965. Estimación y significancia de los parámetros genéticos. *Fitotecnia Latinoamericana.* ALAF 2(1): 39-56. (Costa Rica).
- Sánchez M., R., J. Molina G. y E. Casas D. 1973. Efecto de dosis de germoplasma exótico y de citoplasma tropical sobre el rendimiento de cruzamientos Trópico x Mesa Central en maíz (*Zea mays* L.) *Agrociencia* 11(1):151-179. (México).
- Scott, G.E. 1967. Selecting for stability of yield in maize. *Crop Sci.* 7(6): 549-551. (United States of America).
- Sprague, G.F. and W.I. Thomas. 1967. Further evidence of epistasis in single and three way cross yields of maize. *Crop Sci.* 7(4):355-356. (United States of America).
- , W.A. Russell, L.H. Penny, T.W. Horner and W.D. Hanson. 1962. Effect of epistasis on grain yield in maize. *Crop Sci.* 2(3): 205-208. (United States of America).
- Stuber, C.W. and R.H. Moll. 1974. Epistasis in maize (*Zea mays* L.). IV crosses among lines selected for superior intervariety single cross performances. *Crop. Sci.* 14(2):314-317. (United States of America).
- Varela G., E.J. 1977. Potencial de 6 líneas tropicales de maíz enano para el mejoramiento de maíces de El Bajío. Tesis Profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 36 p.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, E. Hernández X., en colaboración con P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. México. Oficina de Estudios Especiales. SAG. Folleto Técnico No. 5.