Rev. Fitotec. Mex. Vol. 22. 99-109. 1999

TIPOS DE ENDOSPERMO EN MAÍZ Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DE SEMILLA

MAIZE ENDOSPERM TYPES AND SEED QUALITY RELATIONSHIP

Julio Arturo Estrada Gómez[1], Adrián Hernández Livera[1], Faustino Hernández Onofre[1], Aquiles Carballo Carballo[1] y Félix Valerio González Cossío[2]

RESUMEN

Con dos líneas S_2 de maíz (*Zea mays* L.), una con endospermo normal tipo dentado (cónico) y la otra tipo harinoso (cacahuacintle), se realizó un estudio para determinar el efecto del genotipo en el fenotipo y calidad de semilla de cruzas simples (F_1), durante el ciclo primavera-verano de 1996 en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, México. Mediante polinización controlada se efectuó los cruzamientos directo y recíproco entre ambas líneas. Igualmente se llevó a cabo pruebas de calidad física y fisiológica de la semilla. Los resultados obtenidos condujeron a las conclusiones siguientes: las líneas progenitoras con diferente tipo de endospermo confieren un efecto materno a sus cruzas con relación a las características estructurales y fenotípicas del grano. Las cruzas mejoran la calidad fisiológica de la semilla y presentan un vigor híbrido superior al de las líneas progenitoras debido a un efecto heterótico positivo. El comportamiento de una línea con endospermo normal tipo dentado (cónico) o harinoso (cacahuacintle) varía en relación a su intervención como progenitor femenino o masculino en la semilla para siembra producida. La línea L1 con endospermo normal (cónico) y su cruza directa L1 X L2 mostraron un mejor crecimiento de plántulas en temperaturas subóptimas (15° C).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., endospermo normal, endospermo harinoso, vigor, calidad física, calidad fisiológica.

SUMMARY

Using two maize (*Zea mays* L.) second generation inbred lines, one with dent endosperm type (conic) and the other of floury type (cacahuacintle), a study was carried out during 1996 at Montecillo, México to determine the effect of the single cross genotypes in phenotypic expression and seed quality (F_1). Reciprocal and direct crosses were done controlling pollination in both lines.Tests of physiological and physical quality were conducted. Results obtained brought us to the following conclusions: Parental lines with different type of endosperm confer a maternal effect to their crosses in relation to structural and phenotypic seed characteristics. Crosses improved the physiological seed quality and showed higher hybrid vigor to the parental lines due to an heterotic effect. The performance of a line with dent endosperm type (conic) or floury type (cacahuacintle), varied as was used as female or male progenitor for seed production. Line with dent endosperm type and its direct cross (L1 X L2) had better seedling growth at suboptimum temperature (15 °C).

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., normal endosperm, floury endosperm, vigour, physical quality, physiological quality.

INTRODUCCIÓN

Dado que el maíz es un cultivo alógamo, la mayoría de sus razas exhiben alta variabilidad genética y tipos genéticamente diversos se han cruzado para producir poblaciones (compuestos, complejos germoplásmicos y generaciones avanzadas de cruzamientos) que han sido mejoradas posteriormente y a menudo liberadas para la siembra.

[1] Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Tel. y Fax: 01(595) 2-02-62.
[2] ISEI. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Tel. y Fax: 01(595) 2-02-48

Fecha de recepción: 18 de Mayo de 1998.
Fecha de aprobación: 29 de Marzo de 1999.

La constitución genotípica de las semillas es decisiva para su desempeño germinativo, ya sea por su aptitud para preservar adecuadamente sus sistemas metabólicos pese al envejecimiento, o bien, para subsanar los daños que pudieran ocurrir en ella durante la fase inicial de la germinación.

Tocante al efecto del endospermo en la calidad de las semillas de maíz, la literatura indica que la presencia de genes simples recesivos en interacción ocasiona resultados detrimentales en la capacidad germinativa y vigor de las plántulas, ya que si la cantidad de carbohidratos del endospermo es baja, la disponibilidad de ATP puede ser reducida y subsecuentemente el vigor de la plántula puede ser adversamente afectado (Creech, 1985).

Por otro lado, la gran diversidad existente para el tipo de endospermo de maíz, no se ha estudiado suficientemente desde el punto de vista de su efecto en la calidad de semillas, caso específico de la raza cacahuacintle, de la cual no se cuenta con suficiente información sobre su acción génica respecto a otros tipos de endospermo que incluyen al maíz blanco dentado de mayor uso en México.

En la definición de calidad de semillas, el vigor es un criterio relativamente nuevo, el cual, junto con la prueba de germinación estándar, permite evaluar la calidad fisiológica; pero puede ser alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta madre y el tipo de progenitores. Así los niveles de vigor en lotes de semillas, determinados por las cualidades genotípicas, pueden ser modificados al alterar el tipo de progenitores que intervienen en la fecundación (Perry, 1983).

Al estudiar los efectos producidos en la calidad de las semillas al invertir el orden de los progenitores, algunos autores hacen mención del fenómeno llamado xenia, el cual es el efecto inmediato que produce el polen sobre el endospermo del cariópside. En cambio, la "herencia materna" es la que pasa de la madre a la progenie, sin ser afectada por la herencia del padre (Brauer, 1973).

En la selección de materiales con buena calidad la expresión fenotípica de la semilla y su vigor, pueden estar íntimamente relacionados y ser un criterio de selección importante dentro de un programa de mejoramiento genético. Luna (1994) encontró variación en la calidad física y fisiológica de la semilla F_1 en híbridos triliniales de maíz por efecto de los progenitores utilizados; además de que la calidad física de la semilla puede modificarse por el efecto de xenia en función del progenitor masculino. La evaluación de la calidad física y fisiológica de la semilla permitió la selección más apropiada del mejor híbrido para propósitos de uso comercial.

Wellhausen *et al.* (1952) mencionan que las razas de maíz exóticas pre-colombinas cacahuacintle y dulce fueron introducidas a México de Centro o Sudamérica durante épocas prehistóricas. La raza cacahuacintle es un maíz blanco, con endospermo harinoso y granos de tamaño grande en la que pocos estudios se han realizado en México, aun cuando tiene usos especiales en algunas regiones de la Mesa Central. Se encuentra poco difundido como raza pura, pero ha tenido gran influencia en la formación de las variedades eloteras. Dichas razas junto con cónico y otras son usualmente clasificadas en el complejo "Piramidal Mexicano", son cultivadas arriba de los 2000 msnm en el centro de México y tienen frecuencias similares de isoenzimas (Doebley *et al.*, 1985). Otros estudios mostraron que tienen cariotipos similares, con pocos cromosomas conocidos (Bretting y Goodman, 1989).

Brooking (1990), trabajando con la emergencia de plántulas a bajas temperaturas de suelo

(15 °C de día y 10 °C de noche) en 27 razas de maíz de México y 8 de Perú, encontró que siete razas de México, entre las que están el cónico y el cacahuacintle emergieron más rápidamente que el sintético dentado AS-A usado como testigo y que todas las razas peruanas. Esto concuerda con la clasificación en los caracteres de la mazorca, morfología de cromosomas y variación de izoenzimas; la emergencia de plántulas no correlacionó con el tamaño de la semilla o la materia seca producida a los 28 días. Hubo alta significancia para la correlación entre tiempo de emergencia y la tasa relativa de movilización de reservas de endospermo y la eficiencia de conversión de estas reservas en una nueva plántula.

Wang *et al.* (1994) probaron un dialélico con ocho líneas endogámicas de maíz opaco-2, cuatro con endospermo blando y cuatro con endospermo duro, y encontraron que un grupo de cruzas incluyendo 28 recíprocas, tuvieron un efecto materno evidente para la dureza del endospermo en la generación F_1, pero no así en la F_2 . También, observaron que los granos de la F_1 fueron normalmente más duros cuando se usó líneas de endospermo duro como progenitor materno.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la alternancia como progenitores de dos líneas S_2 de maíz con diferente endospermo, bajo la hipótesis de que el fenotipo y la calidad de la semilla F_1 obtenida, no cambian al invertir el orden de los progenitores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 1996, en campo, invernadero y laboratorio en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México (19° 29' Lat. Norte y 98° 54' Long. Oeste, y 2250 msnm), caracterizado por un clima tipo $C(w_o)(w)b(i')g$; temperatura media anual de 15 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1987).

El material genético estuvo constituido por dos líneas S_2 de maíz con diferente tipo de endospermo (Cuadro 1). La línea 1 (L1) se derivó de la variedad de polinización libre CP-V-20 desarrollada en la Especialidad de Postgrado en Producción de Semillas del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP), obtenida de la colección Tlaxcala-151, que corresponde a la raza cónico; caracterizada principalmente por su buena aptitud combinatoria general. La línea 2 (L2) fue derivada de un maíz tipo cacahuacintle con buena adaptación a las condiciones de Chapingo, México, de buen comportamiento *per se* como material elotero, pozolero o en otros usos (Estraga G., 1996)[1].

En el ciclo PV-96 se sembró dos parcelas, una de cada línea progenitora. La unidad experimental estuvo constituida por 15 surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de separación, para cada línea. La fecha de siembra fue el 17 de mayo, se fertilizó con la fórmula 160-60-00 procurando una densidad de población de 50,000 plantas ha^{-1}.

Se obtuvó los cruzamientos directo (C.D.) e inverso (C.I.) entre ambas líneas. A la cosecha se seleccionó 20 mazorcas de cada progenitor y cruzas, y se llevó a cabo pruebas de calidad física y fisiológica de la semilla obtenida.

Calidad física

Peso volumétrico (PV). Se determinó en semilla sin clasificar (materia prima) usando una balanza Ohaus, en tres repeticiones para

[1]Estrada G., J. A. Investigador Titular. Especialidad en Producción de Semillas. IREGEP-CP. Comunicación personal.

Cuadro 1. Líneas S_2 de maíz, con diferente tipo de endospermo, utilizadas en el estudio. Montecillo, México PV-96. Riego.

Genotipo	Genealogía	Tipo de endosper-mo	Nivel de endoga-mia	Origen Mont-95
Línea 1 (L1)	CP-V-20-CIII SFMH-5-2	Normal	S_2	1A#
Línea 2 (L2)	Ca 8-3 -10	Harinoso	S_2	2A#

cada genotipo, expresándose en kg hectolitro^{-1} (kg hL^{-1}).

Clasificación de la semilla por tamaños. La materia prima de las dos líneas y sus cruzas se clasificó en semilla grande (SG), la que quedó retenida en una criba oblonga de 5.5 mm de ancho; plano medio (PM) la que retuvo la criba oblonga de 4.0 mm de ancho y plano chico (PCh), la que pasó la criba oblonga de 4.0 mm de ancho.

Peso de 1000 semillas (P1000S). A partir de la porción de semilla plano medio (PM), se contó ocho repeticiones de 100 semillas de cada línea progenitora y de cada cruza y se pesaron con una balanza de precisión. Los resultados se expresaron en gramos (ISTA, 1993).

Calidad fisiológica

Para las pruebas de calidad fisiológica se utilizó la semilla de tamaño PM por ser la de mayor proporción en la clasificación de las líneas y sus cruzas.

Prueba de germinación en arena. De cada genotipo se obtuvo una muestra de 400 semillas para formar cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. La siembra se efectuó en semilleros de madera de 2.10 x 5.0 m, con arena esterilizada como sustrato en un diseño de bloques completos al azar. La parcela útil dentro del semillero fue de dos surcos de 1.75 m de longitud, con una distancia de 10 cm entre surcos. La distancia entre semillas fue de 3.5 cm, colocándolas a una profundidad de 2 cm con la "corona" hacia arriba. Se aplicó un riego al momento de la siembra y después cada tercer día, para mantener húmedo el sustrato. Los semilleros se colocaron bajo un invernadero móvil tipo "túnel" con estructura metálica y cubierta de polietileno.

Las variables estudiadas en esta prueba fueron: Porcentaje de germinación en arena (PGA), con base en las plántulas que tenían raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones a los 12 días de iniciada la prueba; **longitud de plúmula (LP),** promedio de 10 plántulas en cm, desde el nudo del mesocotilo hasta la punta de la hoja más larga; **peso seco de plántulas (PSP),** del total de plántulas normales completas (parte aérea+raíz), después de secadas a 75 °C durante 72 horas, en g; y **velocidad de emergencia (VE),** calculada con base en la expresión matemática de Maguirre citado por Copeland y McDonald (1995):

$$VE = \sum_{i} \frac{Xi}{Ni}$$

donde:
Xi = Número de semillas germinadas en el día i.

Ni = i días después de la siembra.
i = 1,2, 3, ...,n

Ensayo de crecimiento de plántulas (ECP)

Uno de los índices de vigor de las semillas está dado por la velocidad de emergencia; no obstante para establecer un criterio más estricto se realizó un ensayo de crecimiento de plántula, de acuerdo al manual de métodos de ensayos de vigor (ISTA, 1981), con la variante de conducirlo a menor temperatura de incubación (15 °C) en vez de 20 °C; con la finalidad de someterlas a un estrés de temperatura y analizar su respuesta, ya que las pruebas anteriores se realizaron en condiciones ambientales favorables.

Antes de efectuar el ensayo de crecimiento, como medida preventiva contra la contaminación por hongos, las semillas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5 % (v/v). En la prueba se utilizó el método "entre papel" recomendado por la International Seed Testing Association (ISTA, 1981), el cual consiste en extender una hoja de papel de estraza, de 25 cm de ancho por 50 cm de longitud, que se emplea como sustrato. Se dibujó una línea a la mitad de la hoja por el eje mayor y cinco líneas paralelas a intervalos de dos cm de línea a línea, estas cinco líneas se dibujaron en la parte superior de la hoja. En la línea central del papel se colocó una cinta adhesiva "masking tape", y sobre ella a intervalos de dos cm se colocaron las semillas, las cuales se orientaron con el embrión hacia el lado contrario del papel y la plúmula apuntando hacia arriba en ángulo recto con relación a las líneas horizontales, se humedeció con un atomizador y se cubrió con otra hoja de papel húmedo; posteriormente se enrollaron en forma de "taco" y se acomodaron en forma vertical sobre charolas de plástico, para después ponerlos a germinar a 15 °C con alta humedad relativa (95 a 100 %) y sin iluminación durante 10 días, en una germinadora de ambiente controlado (Cleland International 1000 FAATR). Se establecieron cuatro repeticiones de 25 semillas cada una por genotipo.

Al final de la prueba se contaron las plúmulas de plántulas normales que se encontraban entre cada par de líneas paralelas. Las plántulas anormales se eliminaran. A cada punto medio entre dos líneas paralelas se le dió el valor correspondiente a la distancia de la línea central, así se tuvo que el punto entre la línea central y la primer paralela es 1, el segundo será 3 y los siguientes, 5, 7, 9 y 11 sucesivamente. El número de plúmulas que quedaron entre dos paralelas se multiplicó por el valor medio de dichas paralelas y los productos se sumaron. La longitud total se dividió entre el número de semillas que se utilizaron para el cálculo, por ejemplo 25, si todas fueron normales:

$$L = \frac{(nx_1 + nx_3 + \ldots + nx_{11})}{25}$$

donde:

L = longitud media de la plúmula en cm.
n = número de plúmulas entre cada par de líneas paralelas.
x = distancia desde el punto medio de las líneas a la línea central.

Análisis estadístico

Los datos de todas las variables evaluadas se procesaron bajo el paquete de computación Statistical Analisys Sistem (SAS, 1988), de acuerdo al diseño experimental de bloques completos al azar. Se realizaron los análisis de varianza respectivos, y para las fuentes de variación que resultaron significativas estadísti-

camente, se efectuó la correspondiente de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad física de la semilla

En relación al peso volumétrico (Cuadro 2), la línea L1 y la cruza directa L1 X L2 fueron superiores (+7 kg hL^{-1} en promedio) a la línea L2 y a la cruza inversa L2 X L1; también se aprecia que en ambas cruzas su peso volumétrico tendió a ser menor que el de las líneas progenitoras. Esta inferioridad en peso se explica por el hecho de que la compactación de los gránulos de almidón de los maíces dentados, caso de la línea L1, determinan un fenotipo con formas angulares que no permiten espacios entre ellos; y en los maíces de tipo harinoso, caso de la línea L2, los gránulos de almidón no están muy compactados, por lo cual tienen formas esféricas ocasionando la presencia de espacios entre ellos (Poey, 1975).

Clasificación por tamaño de semilla

La clasificación por tamaños de la semilla de cada una de las líneas progenitoras, así como de sus cruzas se presentan en el Cuadro 2. Se observa que el tamaño plano medio fue el más abundante en los cuatro genotipos y que en la línea L2, la proporción entre los tamaños grande y plano medio tuvo una diferencia de 8.28 % y ambos conjuntaron el 99.5 % de la cantidad total de semilla. En la cruza inversa L2 X L1 dicha diferencia entre tamaños se incrementó siendo cercana al 17 % y adicionando ambos tamaños dieron el 99.6 % de la semilla. En lo que respecta a la línea L1 y a su cruza directa L1 X L2, la proporción entre tamaños fue bastante amplia; el porcentaje de plano medio fue el mismo y casi tres veces mayor que el de semilla grande. En cuanto al tamaño plano chico dicha proporción fue mínima para los cuatro genotipos, aunque existió un comportamiento diferente entre la línea L1 y la cruza directa (7.99 y 10.88 %, respectivamente), en comparación con la línea L2 y la cruza recíproca cuyos porcentajes fueron insignificantes (0.51 y 0.42 % respectivamente); lo cual es importante que se considere ya que comúnmente el material de este tamaño no se utiliza como semilla (separado comercial).

En esta clasificación por tamaños existió gran similitud en las proporciones de tamaño grande y plano medio de las líneas y sus cruzas, aspecto que indica que hubo un efecto materno, donde se confieren las características físicas y estructurales de las líneas a las cruzas cuando se usan como progenitores femeninos, lo que concidió con lo reportado por Wang *et al.* (1994).

Peso de 1000 semillas

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para el peso de 1000 semillas; se observa que existieron diferencias genotípicas y el coeficiente de variación fue bajo.

En la cruza inversa L2 X L1 el peso de 1000 semillas fue estadísticamente superior (9.5 g más que la línea L2), indicando que hubo un ligero efecto heterótico para esta variable al tener un incremento de 2.9 % con respecto al progenitor superior, lo que no sucedió para la cruza directa L1 X L2 que dió el peso más bajo (24.2 g menos que la línea L1); en esta cruza el efecto heterótico fue negativo al presentar decremento de 19 % (Cuadro 4).

Cuadro 2. Porcentaje de la clasificación por tamaños de semilla de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

Genotipo	PV[1] (kg hL^{-1})	Tamaño de semilla		
		Grande[2]	Plano medio[3]	Plano chico[4]
Línea 1	76	24.03	67.97	7.99
Línea 2	68	45.60	53.88	0.51
L1 X L2 (C.D.)	74	21.19	67.92	10.88
L2 X L1 (C.I.)	67	41.33	58.24	0.42

[1] PV: Peso volumétrico.
[2]Semilla retenida en la criba oblonga de 5.5 mm de ancho y 25.4 mm de largo.
[3]Semilla retenida en la criba oblonga de 4.0 mm de ancho y 25.4 mm de largo.
[4]Semilla colada en la criba oblonga de 4.0 mm de ancho y 25.4 mm de largo.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el peso de 1000 semillas de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

F V[1]	GL	C M
Bloques	7	0.49^{ns}
Tratamientos	3	89.57** [2]
Error	21	0.30^{ns}
Total	31	
C. V. (%)		1.8

[1] FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios ** Significativo al 0.01 de probabilidad; ns: no significativo.

El comportamiento de las líneas y las cruzas siguió presentando las diferencias entre los genotipos, la línea L2 y la cruza inversa L2 X L1 superaron a la línea L1 y a la cruza directa L1 X L2 (38.1 y 71.8 g, respectivamente), ello debido principalmente al mayor tamaño relativo de la semilla de la línea L2. Aún cuando la evaluación de este carácter se efectuó en semilla de un mismo tamaño (plano medio), las características estructurales de la línea L2 determinan su forma esférica de grano que es de mayor volumen que el de la línea L1 la cual tiene una forma plana tipo dentada; estas cualidades son conferidas de las líneas a las cruzas como efecto materno, así, la línea L2 y la cruza inversa L2 X L1 al tener más volumen por mil semillas dan un mayor peso y se expresa también como un efecto heterótico. De acuerdo con Poey (1975), el tamaño del grano determina su peso en presencia de otros factores constantes como la textura o la densidad, así por ejemplo, igual número de granos pero de forma más profunda y sección rectangular en la corona permitirá una compactación más estricta en la mazorca, y esta forma de granos permite mayor volumen o tamaño que si fueran de menor profundidad y separados en la corona.

Cuadro 4. Prueba de medias para el peso de 1000 semillas de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

Genotipo	P1000S (g)
L2 X L1 (C.I.)	336.04 a[1]
Línea 2	326.52 b
Línea 1	288.42 c
L1 X L2 (C.D.)	264.21 d
DSH= 7.62	

[1] Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 5. Análisis de varianza para las pruebas de calidad fisiológica de líneas progenitoras y cruzas de maíz con endospermo diferente. Montecillo, México. PV-96.

FV[1]	GL	Cuadrados medios PGA	VE	LP	PSP
Repetición	3	3.75	0.58	2.29	0.01
Tratamiento	3	21.58*	0.59*	1.65**	0.06**
Error	9	4.86	0.11	0.16	0.0003
C. V.		2.38	3.91	3.16	2.49

[1] FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad; PGA: Porcentaje de germinación en arena; VE: Velocidad de emergencia; LP: Longitud de plúmula; PSP: Peso seco de plúmula.
*, ** = Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Calidad fisiológica de la semilla

En general hubo diferencias genotípicas en las variables con que se evaluó la calidad fisiológica de las semillas. En lo que respecta a este atributo de la calidad de semilla, los coeficientes de variación indican alta confiabilidad en las pruebas llevadas a cabo (Cuadro 5).

En el Cuadro 6 se observa la superioridad de las cruzas sobre los progenitores, lo cual quiere decir que estas cruzas presentan un vigor de plántula ligeramente mayor (3 % y 0.5 máspara PGA y VE, respectivamente en promedio de ambas cruzas), lo que será una ventaja para su establecimiento en campo; aún así todos los genotipos mostraron un porcentaje de germinación superior a 85 % establecido por las normas de certificación mexicanas (SAG, 1975) e internacionales (ISTA, 1993). Por consiguiente, la longitud de plúmula de las cruzas simples fue mayor y su peso seco se relacionó directamente, ya que mayor longitud correspondió un mayor peso seco; esto indica que las líneas progenitoras fueron las que tuvieron menor capacidad de acumulación de materia seca. Estos resultados corroboran lo mencionado por Perry (1983), en el sentido de que el vigor puede verse alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta madre y por el tipo de progenitores tanto masculino como femenino. Así Dogra *et al.* (1997), señalan que en maíz la heterosis puede ser observada en las primeras etapas de desarrollo, por ejemplo la emergencia de plántulas, la tasa de aparición foliar y elongación del tallo, lo cual coincide con el hecho de que ambas cruzas fueron superiores a las líneas en germinación, vigor y crecimiento.

En las pruebas de calidad fisiológica, se observó la superioridad de las cruzas sobre las líneas progenitoras, indicativo de la viabilidad y alta capacidad de germinación y vigor para establecer nuevos individuos, y concretamente a la capacidad para una buena emergencia y desarrollo de aquellas estructuras que provienen del embrión y que manifiestan la aptitud de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones variables de ambiente. Dichas pruebas permitieron detectar que hubo una respuesta diferencial de la semilla producida debido a los efectos de los progenitores, como lo reporta Villaseñor (1984).

Ensayo del crecimiento de plántulas

Con los datos de crecimiento de la plúmula se realizó un análisis de varianza en el cual se

Cuadro 6. Comparación de medias para las pruebas de calidad fisiológica de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

Genotipo	PGA[1] (%)	VE	LP (cm)	PSP (g)
Línea 1	89 b[2]	8.32 b	12.17 c	0.64 c
Línea 2	91 a b	8.40 b	12.37 b c	0.77 b
L1 X L2 (C.D.)	95 a	9.17 a	13.22 a b	0.80 b
L2 X L1 (C.I.)	94 a b	8.65 a b	13.50 a	0.94 a
DSH	5	0.74	0.89	0.04

[1] PGA: Porcentaje de germinación en arena; VE: Velocidad de emergencia; LP: Longitud de plúmula; PSP: Peso seco de plúmula.
[2] Medias con la misma letra en cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 7. Análisis de varianza para la longitud media de plántulas de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

F V[1]	GL	C M
Repetición	3	0.28^{ns}
Tratamientos	3	17.22*
Error	9	0.61^{ns}
Total	15	
C. V.		11.47

[1] FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios.
*: Significativo al 0.05 de probabilidad; ns: no significativo.

Cuadro 8. Comparación de medias para la longitud de plántulas de líneas progenitoras y cruzas de maíz con diferente endospermo. Montecillo, México. PV-96.

Genotipo	L (cm)
L1 X L2 (C.D)	8.81 a[1]
Línea 1 (L1)	8.29 a
L2 X L1 (C. I.)	5.81 b
Línea 2 (L2)	4.41 b
DSH	1.73

[1] Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

apreciaron diferencias entre genotipos para el crecimiento de plúmula (Cuadro 7).

En la comparación de medias (Cuadro 8), se aprecia una respuesta diferente a lo que se observó en la prueba de germinación en arena; la cruza directa L1 X L2 junto con la línea L1 fueron superiores (3 y 3.88 cm, respectivamente) a la cruza inversa L2 X L1 y a la línea L2. En esta prueba se notó una tendencia del progenitor con endospermo normal para tolerar más la condición adversa de baja temperatura, ya sea como línea o en la cruza como progenitor femenino. Estos resultados concuerdan en parte con lo informado por Brooking (1990), puesto que esta prueba se efectuó a una temperatura constante de 15 °C; por lo que la línea L1 que proviene de la raza cónico emergió mejor que la L2 que es derivada de la raza Cacahuacintle.

CONCLUSIONES

Las dos líneas de maíz con diferencias en su tipo de endospermo, mostraron un efecto materno en sus cruzas, respecto a características físicas y estructurales de la semilla.

La línea L1 con endospermo normal (cónico) y su cruza directa L1 x L2 (normal x harinoso) mostraron un mejor comportamiento de crecimiento de plántulas en temperatura subóptima de 15 °C.

La línea de maíz L2 de endospermo harinoso (tipo cacahuacintle) confirió mejores características físicas y fisiológicas a la semilla F_1 al ser empleada como progenitor femenino en la cruza harinoso x normal.

La semilla originada de cruzas entre líneas de maíz con diferente tipo de endospermo fue de mejor calidad física y fisiológica en comparación con la de sus líneas progenitoras como consecuencia principal de un efecto heterótico positivo.

BIBLIOGRAFÍA

Brauer H., O. 1973. Fitogenética Aplicada. Editorial LIMUSA. México. 518 p.

Bretting, P. K., and M. M. Goodman. 1989. Karyotypic variation in Mesoamerican races of maize and its systematic significance. Econ. Bot. 43: 107-124.

Brooking, I. R. 1990. Variation amongst races of maize from México and Peru for seedling emergence time at low soil temperatures. Maydica 35: 35-40.

Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.

Creech, R. G. 1985. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize. Genetics 52: 1170-1175.

Doebley, J. F., M. M. Goodman, and C. S. Stuber. 1985. Isozyme variation in the races of maize from México. Amer. J. Bot. 72: 629-639.

Dogra, A., J. A. Birchler, and E. H. Coe. 1997. Gene dosage and heterosis. *In*: CIMMYT. Book of abstracts. The genetics and exploitation of heterosis in crops; An international symposium. México, D. F. , México. p. 34.

García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. Instituto de Geografía. 635 p.

International Seed Testing Association (ISTA). 1993. International rules for seed testing. Seed Science and Technology. 21, Supplement. 228 p.

International Seed Testing Association (ISTA). 1981. Manual de métodos de ensayos de vigor. D. A. Perry (Ed). Traducción al español por Luis Martinez Vasallo. Madrid, España. pp: 15-20.

Luna O., M. 1994. Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla en híbridos trilineales de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores. UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. 71 p.

Perry, D. A. 1983. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia en las técnicas de producción de semillas. P. H Hebblehwaite (Coord.). F. Stanham (Trad.). Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp: 693-701.

Poey F., R. 1975. El mejoramiento integral del maíz, rendimiento y valor nutritivo: Hipótesis y Métodos. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Rama de Genética. Chapingo, México. 215 p.

SAS. 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 edition 1988. SAS Institute Inc. NC, USA. 1028 p.

Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG). 1975. Normas para la certificación de semillas. Dirección General de Agricultura. pp: 59-60.

Villaseñor M., H. E. 1984. Factores genéticos y efectos ambientales que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 149 p.

Wang, L. M. D. Q., Shi R. D., and Liu, L. Bai. 1994. Studies on combining ability of high-lysine maize. Acta Agronómica Sinica 20(4): 446-452.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts y E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. 1952. Races of maize in México: Their origin, characteristics and distribution. Oficina de Estudios Especiales, SAG. México. Folleto Técnico No. 5. pp: 63-67.