

CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ CON DIFERENCIAS ESTRUCTURALES*

PHYSIOLOGICAL QUALITY IN CORN SEEDS WITH STRUCTURAL DIFFERENCES

Felipe de Jesús Pérez de la Cerda^{1§}, Aquiles Carballo Carballo¹, Amalio Santacruz Varela², Adrián Hernández Livera¹ y Juan Celestino Molina Moreno¹

¹Programa de Producción de Semillas y ²Programa de Genética, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km 35.5 carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. §Autor para correspondencia: felperez@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluaron 56 cruzas simples de maíz (*Zea mays* L.) con diferente tipo de endospermo, desde harinoso hasta cristalino, para establecer la relación entre características estructurales y calidad fisiológica de la semilla. El estudio se realizó en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México durante 2001. Se realizaron pruebas de calidad industrial: textura por disección, para obtener los porcentajes de pedicelo, pericarpio, germen, almidón harinoso y almidón córneo; y calidad fisiológica: prueba estándar de germinación, de frío y de vigor en microtúnel en semillas con y sin envejecimiento acelerado. Los resultados mostraron respuesta diferencial entre genotipos, mayor vigor y calidad fisiológica conforme aumentó la proporción de endospermo córneo. Una alta correlación positiva entre germen y endospermo córneo se reflejó en mayor acumulación de biomasa en la parte aérea y raíz de las plántulas normales en pruebas estándar de germinación y de frío, lo que es indicativo de mayor vigor. En la prueba de vigor realizada en microtúnel se encontró correlación alta entre endospermo córneo y peso seco de parte aérea, peso seco de raíz y velocidad de emergencia. Un análisis de correlación canónica de las pruebas de germinación estándar y de frío confirmó la conclusión principal de este estudio, en el sentido de que la mayor expresión de vigor corresponde a los genotipos con endospermo córneo.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad de semilla, endospermo córneo, endospermo harinoso, textura por disección, vigor.

ABSTRACT

Fifty-six single crosses of maize (*Zea mays* L.) with different type of endosperm, from floury to horny types were evaluated with the aim of establishing the relationship between the structural seed characteristics and physiological seed quality. The study was carried out during 2001 in the Colegio de Postgraduados at Montecillo, State of Mexico. Tests were carried out on industrial quality: texture as determined by dissection to determine percentages of pedicel, pericarp, germ, floury starch and horny starch; and physiological quality tests: standard germination test, cold and a vigor test in a microtunnel using seeds with and without accelerated aging. Results showed differential response among genotypes, increasing vigor and physiological quality as the proportion of horny endosperm increased. A high and positive correlation between germ and horny endosperm was reflected in a higher dry weight of both shoot and root in the cold and the standard germination tests, which indicates higher vigor. From the test conducted in the microtunnel a high correlation was found between horny endosperm and dry weight of both shoot and root and rate of emergency.

* Recibido: Octubre de 2005
Aceptado: Febrero de 2007

A canonical correlation analysis, with data from standard germination and cold tests confirmed the main conclusion of this study in the sense that a large expression of vigor corresponds to genotypes with horny endosperm.

Key words: *Zea mays* L., floury endosperm, horny endosperm, seed quality, texture by dissection, vigor.

INTRODUCCIÓN

En el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) existe gran diversidad en tamaño, forma y composición de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer y Hannah, 2001). A nivel genético existen diferentes factores y unidades de transcripción que influyen directamente en la composición del almidón en el endospermo (Fisher *et al.*, 1996; Opsahl-Ferstad *et al.*, 1997; Boyer y Hannah, 2001; Gómez *et al.*, 2002), en el aspecto ambiental se menciona que distintos niveles de nitrógeno en el suelo y la densidad de población pueden influir en la relación de endospermo córneo y endospermo harinoso (Watson, 1987).

Las diferencias estructurales de mayor importancia en la semilla son: tamaño, forma y tipo de endospermo, el cual es el mayor componente de la semilla con aproximadamente el 82%, seguido del germen, 12%, pericarpio, 5%, y pedicelo, 1% (FAO, 1993).

En cuanto al endospermo, la proporción típica de amilosa y amilopectina en maíz es 1:3; sin embargo, se ha sugerido que la dureza del endospermo difiere de acuerdo con la composición de los gránulos de almidón, encontrándose mayor contenido de amilosa y menor de amilopectina a medida que el endospermo es más córneo (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997).

Con respecto a la cantidad total de almidón en la semilla, el endospermo aporta en promedio 87%; además, contiene diversos tipos de proteínas: albúminas, globulinas, prolaminas (zeinas) y gluteinas, así como cantidades menores de aceites, cenizas y azúcares (FAO, 1993). En el endospermo córneo los gránulos de almidón adquieren estructura poligonal y están fuertemente empaquetados por una matriz de proteínas (Robutti *et al.*, 1973), siendo las delta-zeinas las más superficiales, sin espacios de aire entre los gránulos, mientras que en el harinoso están débilmente empaquetados, son casi redondos y están asociados con capas delgadas de proteínas y muchos espacios de aire entre los gránulos (Mu-Forster y Wasseman, 1998).

Es escasa la literatura que aborda la relación que existe entre los tipos de endospermo y la calidad física y fisiológica de la semilla. Jones *et al.* (1996) caracterizaron el crecimiento de la semilla de cuatro líneas endogámicas y confirmaron que el número de células del endospermo se establece durante las primeras etapas de su desarrollo, lo cual es un buen indicador de la influencia materna en la acumulación de biomasa, influencia que se extiende hasta la madurez. Pajic *et al.* (1998) realizaron estudios de campo y laboratorio para determinar el efecto de factores favorables y desfavorables sobre la germinación y emergencia de cinco genotipos con diferente textura de endospermo: ZPSC42A (dentado), ZPSC611k (palomero), los maíces dulces ZPSC213su, ZPSC504su y una población de maíz superdulce; observaron diferencias genotípicas en la capacidad de germinación de la semilla, y detectaron mayor germinación y emergencia en el maíz dentado, mientras que los menores valores correspondieron a la población de maíz superdulce. Tales diferencias se atribuyeron al tipo de textura del endospermo, peso del grano, contenido de azúcar, y de almidón del endospermo, así como al espesor y estructura del pericarpio.

La calidad de la semilla de maíz es importante para los agricultores y la industria semillera. Para el agricultor, porque de ello depende el número de plantas existentes en un área determinada de cultivo, es decir, prefiere aquellas que muestran alto vigor (Delouche y Cadwell, 1962). Para la industria es trascendente la calidad de la semilla por la gran variación en tipo de grano que exhiben las variedades e híbridos de maíz.

La presente investigación tiene el propósito de estudiar la relación entre las diferencias estructurales de la semilla de maíz y su calidad fisiológica, bajo la hipótesis de que ésta se incrementa a medida que se incrementa la proporción de endospermo córneo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en 2001 en el Programa en Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados (CP), Montecillo, Estado de México, México. La investigación consistió de tres fases. En la primera se determinaron las características estructurales de las semillas; en la segunda se efectuaron las pruebas de germinación estándar y prueba de frío y en la última se hizo la prueba de vigor en microtúnel, con y sin envejecimiento acelerado.

Se utilizaron 56 híbridos de cruce simple que resultaron de algunas de las cruces posibles directas y recíprocas entre nueve líneas progenitoras (Cuadro 1). Estos híbridos fueron proporcionados por el Proyecto de Mejoramiento de Maíz del CP.

porcentaje de germinación al cuarto día (primer conteo) y séptimo día (PG), con base en plántulas que tenían raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones; porcentaje de plántulas anormales (PPA), las que presentaron malformaciones en raíz y plúmula; semillas no germinadas

Cuadro 1. Líneas progenitoras e híbridos de maíz utilizados en el estudio.

Progenitor	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P2	--		5 (1)	7 (1)	9(3)	11(3)	13(2)	15(1)	
P3		--		21(3)	23(3)	25(3)		27(1)	29(2)
P4	6(3)		--	31(2)	33(2)	35(4)	37(3)	39(1)	41(1)
P5	8(2)	22(3)	32(3)	--	43(4)	45(4)		47(1)	49(3)
P6	10(2)	24(2)	34(3)	44(4)	--	51(2)		53(3)	55(1)
P7	12(4)	26(4)	36(4)	46(4)	52(3)	--	57(4)		61(3)
P8	14(2)		38(2)			58(4)	--	63(1)	
P9	16(2)	28(1)	40(1)	48(1)	54(3)		64(2)	--	67(3)
P10		30(3)	42(1)	50(2)	56(2)	62(4)		68(2)	--

P= Progenitor; el número fuera del paréntesis indica el híbrido de cruce simple; cruces arriba de la diagonal son las directas y abajo de la diagonal son las recíprocas; el número entre paréntesis indica la proporción de endospermo harinoso en la semilla (1: < 40%, 2: de 40 a 55%, 3: de 55 a 70%, 4: > 70%).

La determinación de las características estructurales se realizó con 10 semillas por híbrido, tomadas de la parte media de la mazorca en dos repeticiones. Se obtuvieron las proporciones de las estructuras con base en el peso seco del pedicelo (pico), pericarpio, germen, almidón harinoso y almidón córneo mediante la técnica de textura por disección, siguiendo la metodología propuesta por la Compañía Desarrollo Industrial y Tecnológico S. A. de C. V. (DITSA); la información se analizó bajo un diseño en bloques al azar.

En la segunda fase se evaluó la calidad fisiológica de la semilla mediante la prueba de germinación estándar y la prueba de frío. Se preparó una muestra de 100 semillas por tratamiento para establecer cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. En las pruebas de germinación estándar se utilizó el método “entre papel” siguiendo las normas establecidas por la International Seed Testing Association (2005). La prueba de frío se realizó colocando las semillas a 10 °C de temperatura por siete días (Burris y Navratil, 1979), realizándose posteriormente la prueba de germinación estándar.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones, bajo un arreglo factorial, considerando como factores principales los genotipos y tipos de prueba (germinación estándar y prueba de frío). Los caracteres evaluados en las dos pruebas fueron:

(SNG), se contó las semillas que no presentaron estructuras esenciales al finalizar la prueba; peso seco de parte aérea (PSPA) y peso seco de raíz (PSR) de todas las plántulas normales, después de secadas a 75 °C durante 72 h.

En la última fase se estudió la germinación y el vigor de la semilla con y sin envejecimiento acelerado en microtúnel; se utilizaron 100 semillas por genotipo para formar cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. La siembra se efectuó en semilleros de madera de 5.0 x 2.10 m, con arena esterilizada como sustrato. La parcela útil dentro del semillero fue de un surco de 0.84 m de longitud, con una distancia de 4 cm entre surcos. La distancia entre semillas fue de 3.5 cm, colocándolas con la “corona” hacia arriba a 8 cm de profundidad. 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.

En la prueba de envejecimiento acelerado (EA), se aplicó la metodología propuesta por Delouche y Baskin (1973) con el acondicionamiento utilizado por Rincón y Molina (1990), que consiste en usar cajas de plástico tipo “sandwicheras” de 12 x 12 x 5 cm a las que se agregan 80 mL de agua destilada. Se colocó una malla de alambre a 1.5 cm arriba del nivel de ésta y sobre la malla se distribuyen 100 semillas. Las cajas se sellaron con cinta adhesiva y se introdujeron a una cámara

germinadora a 40 ± 2 °C y humedad relativa del 100% durante 120 h. Posteriormente fue evaluado el vigor de la semilla en las camas de arena. El diseño experimental utilizado para las pruebas con y sin envejecimiento acelerado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones de 25 semillas, considerando para el análisis un arreglo factorial para genotipos y tipos de prueba (con y sin envejecimiento acelerado). A partir de la emergencia de las primeras plántulas (quinto día después de la siembra), se tomaron datos de emergencia diaria hasta el doceavo día. Después de este período, se extrajeron las plántulas y se evaluó el número de éstas con 0 y 1 hojas liguladas, así como el porcentaje de emergencia; también se determinó el peso seco de la parte aérea y de la raíz (g), habiendo secado previamente ambas estructuras en una estufa a 70 °C por 72 h. La velocidad de emergencia se obtuvo utilizando la expresión matemática de Maguire (1962).

donde:

VE es la velocidad de emergencia

X_i = número de plántulas emergidas por día

N_i = i días después de la siembra

$i = 5, 6, 7, \dots, n$, siendo n el día del último conteo.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para genotipos. Con la finalidad de examinar relaciones entre los grupos de variables de calidad fisiológica y de estructura de la semilla, se analizó la correlación canónica con las medias de las variables estudiadas con el propósito de cuantificar la asociación entre grupos de variables (Anderson, 2003), en este caso, variables estructurales y de calidad fisiológica de la semilla, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Se observaron diferencias estadísticas para genotipos en todas las variables tanto estructurales como de calidad fisiológica. También hubo diferencias significativas entre los tipos de prueba empleados y en la interacción entre genotipos y tipos de prueba, excepto para plántulas normales y peso seco de raíz, lo cual indica que estas últimas no afectaron de la misma manera a los genotipos y la importancia de una adecuada selección de metodologías y de las variables para realizar este tipo de evaluaciones (Cuadros 2, 3 y 4). En concordancia con los resultados obtenidos, se ha encontrado que el genotipo juega un papel importante en la composición de la semilla. Boyer y Hannah (2001) encontraron que los factores genéticos afectan significativamente la constitución del endospermo, a grado tal que los cambios son fácilmente reconocibles.

Cuadro 2. Cuadros medios para componentes estructurales de la semilla de 56 genotipos de maíz.

Fuente de variación	GL	Cuadros medios				
		Pedicelo	Pericarpio	Germen	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
Genotipos	55	1.04 **	0.88 **	5.08 **	543.25 **	535.29 **
Repeticiones	1	0.06	4.0×10^{-4}	2.26 *	80.26	104.67
Error	55	0.11	0.28	0.35	29.30	29.62
CV (%)		14.4	12.2	8.2	10.0	17.1

* Significativo al 0.05; ** Significativo al 0.01

Cuadro 3. Cuadrados medios para pruebas de germinación estándar y de frío de 56 genotipos de maíz.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios			
		Germinación al primer conteo	Plántulas normales	Peso seco parte aérea	Peso seco de raíz
Genotipo (Gen)	55	138.20**	422.07**	0.15**	0.11**
Tipo de prueba (TP)	1	3726.03**	1222.32**	0.01	4.07**
Gen x TP	55	84.87**	111.41	0.04**	0.03
Error	336	17.37	102.06	0.03	0.02
CV (%)		4.4	11.8	21.0	19.3

** Significativo al 0.01

Cuadro 4. Cuadrados medios para la prueba de vigor con y sin envejecimiento acelerado a la semilla de 56 genotipos de maíz.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios			
		Porcentaje de emergencia	Peso seco de parte aérea	Peso seco de raíz	Velocidad de emergencia
Genotipo (Gen)	55	1635.9 **	1.37 **	0.62 **	41.1 **
Tipo de prueba (TP)	1	146595.6 **	53.29 **	11.15 **	1448.4 **
Repetición	3	134.7	6.49 **	4.25 **	199.6 **
Gen x TP	55	620.8 **	0.28 **	0.22 **	10.4 **
Error	333	87.0	0.15	0.13	2.4
CV (%)		13.4	35.3	52.1	18.7

** Significativo al 0.01

Correlación entre componentes estructurales y características de calidad fisiológica

Las estructuras de los endospermos, harinoso y córneo, mostraron coeficientes de correlación significativos con las variables de calidad fisiológica evaluadas, excepto con porcentaje de germinación del primer conteo en la prueba de germinación estándar y con peso seco de raíz en la prueba de frío (Cuadro 5). Es importante mencionar que los coeficientes de correlación entre los dos tipos de endospermo y las variables de calidad fisiológica presentaron magnitud muy similar pero de signo contrario, mostrando el endospermo harinoso coeficientes positivos para variables que denotan vigor reducido como plántulas anormales y semillas no germinadas, lo que significa que el maíz con endospermo córneo es más vigoroso que el de endospermo harinoso. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Estrada *et al.* (1999) en el sentido de que hay mejor respuesta en los genotipos con textura cristalina y de las variables más importantes para identificar los materiales por vigor inicial son las plántulas normales, peso seco de parte

aérea y de raíz y germinación al primer conteo. Perry (1981) indicó que el porcentaje de germinación al primer conteo y velocidad de emergencia, ya sea en campo o invernadero, son importantes para evaluar el vigor de plántulas, lo cual representa similitud con los resultados de este estudio. El menor vigor de los materiales con endospermo harinoso pudiera explicarse por el hecho de que éste contiene una mayor proporción de amilopectina en el almidón de reserva (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997). De acuerdo con Tofiño *et al.* (2006) la amilopectina es más estable que la amilosa, lo que posiblemente provoca que, durante la germinación, la actividad de las enzimas hidrolíticas en el endospermo harinoso sea menos eficiente.

Además de los tipos de endospermo, la estructura de la semilla que mayor asociación tuvo con la calidad fisiológica fue el pericarpio, mostrando correlaciones significativas con el porcentaje de germinación al primer conteo, tanto en la prueba estándar de germinación como en la prueba de frío; plántulas normales y peso seco de la parte aérea y de la raíz, todas ellas con signo negativo. Los pericarpios más profusos

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre componente estructural y calidad fisiológica de semilla de 56 genotipos de maíz.

Característica	Componente estructural				
	Pedicelo	Pericarpio	Germen	Endospermo harinoso	Endospermo córneo
Prueba estándar de germinación					
Germinación (%) al primer conteo	0.052	-0.233*	-0.036	-0.013	0.024
Plántulas normales	-0.019	-0.260*	0.128	-0.308*	0.309*
Plántulas anormales	0.050	0.245	-0.161	0.347**	-0.346**
Peso seco de parte aérea	-0.180	-0.267*	0.006	-0.355**	0.376**
Prueba de frío					
Germinación (%) al primer conteo	-0.095	-0.206	0.025	-0.360**	0.373**
Semillas no germinadas	-0.121	0.164	0.161	0.243*	-0.262*
Peso seco de raíz	-0.002	-0.429**	-0.118	-0.157	0.187
Prueba de vigor sin envejecimiento acelerado					
Plántulas con 0 hojas liguladas	0.101	-0.158	-0.106	-0.246*	0.260*
Velocidad de emergencia	0.047	-0.057	0.070	-0.248*	0.243*
Prueba de vigor con envejecimiento acelerado					
Plántulas con 0 hojas liguladas	-0.024	-0.032	-0.089	-0.244*	0.256*

* Significativo al 0.05; ** Significativo al 0.01

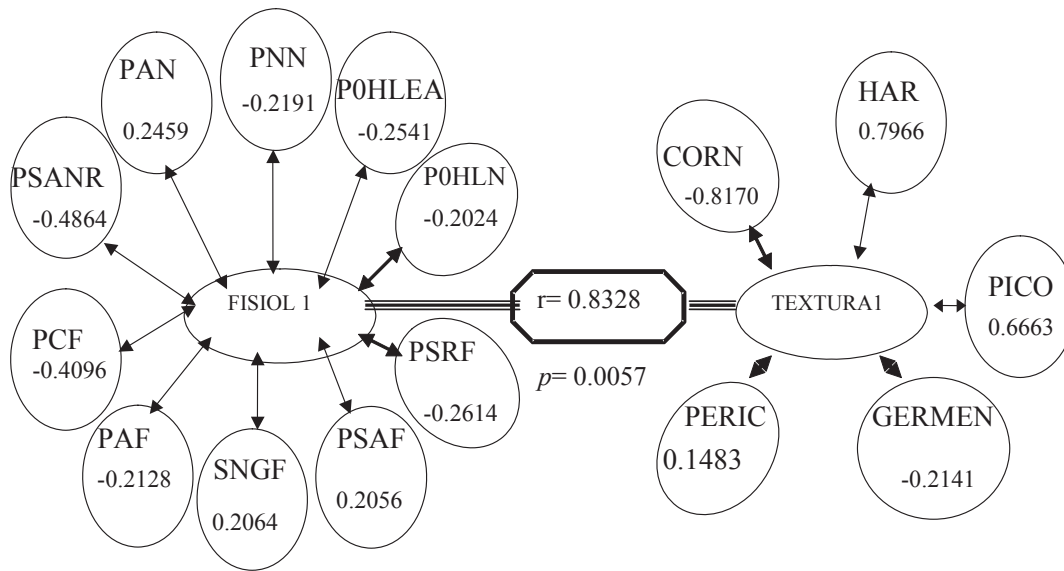
influyen de manera desfavorable en la calidad fisiológica de la semilla y potencialmente en el establecimiento temprano del cultivo, por un probable retraso en la imbibición y a través de interferencia física para la protusión de las estructuras iniciales como radícula y coleóptilo. Finalmente, las estructuras de pedicelo y germen no mostraron correlación significativa con la calidad fisiológica de la semilla.

Análisis de correlación canónica

Es una técnica multivariable adecuada en situaciones en que se dispone de información de dos grupos de variables, dentro de los cuales a menudo suele encontrarse cierto grado de correlación entre las mismas. La técnica consiste en la construcción de pares sucesivos de variables canónicas, que son combinaciones lineales de las variables originales, pudiendo conceptualizarse como entidades globalizadoras de las variables originales del grupo del cual se derivan; en este caso, "Textura 1" se puede interpretar como una variable integradora de las diferentes proporciones de las estructuras que componen la semilla de maíz, mientras que "Fisiol 1" representa una integración de los diferentes indicadores fisiológicos de vigor de la semilla.

Se observó que la correlación entre las dos primeras variables canónicas (Textura 1 y Fisiol 1) fue altamente significativa ($p < 0.0057$), con un valor de 0.833, demostrando que las proporciones en que se encuentran los componentes estructurales están directamente relacionadas con la calidad fisiológica de la semilla.

La Figura 1 muestra una fracción de la estructura canónica, donde se señalan los coeficientes de correlación entre la primera variable canónica de cada grupo con sus variables originales. En la variable canónica Fisiol 1 las variables originales con mayor influencia fueron el número de plántulas normales y anormales (con signo contrario), además de peso seco de parte aérea en la prueba estándar de germinación; porcentaje de germinación y peso seco de raíz en la prueba de frío. De la prueba de vigor sin envejecimiento acelerado sobresalen las variables número de plántulas con 0 hojas liguladas y velocidad de emergencia; mientras que con envejecimiento acelerado el número de plántulas con 0 hojas liguladas (con signo negativo) fue la más importante para la explicación de esta correlación. La variable Textura 1 estuvo asociada positivamente con endospermo harinoso (0.79), pedicelo (0.66) y pericarpio (0.15) y negativamente con endospermo córneo (-0.82) y germen (-0.21).



FISIOL 1= Variables fisiológicas; P0HLN= Plántulas con cero hojas liguladas sin envejecimiento acelerado; P0HLEA= Plántulas con cero hojas liguladas con envejecimiento acelerado; PNN= Plántulas normales; PAN= Plántulas anormales; PSANR= Peso seco parte aérea; PCF= Germinación (%) al primer conteo prueba de frío; PAF= Plántulas anormales prueba de frío; SNGF= Semillas no germinadas prueba de frío; PPSA= Peso seco parte aérea prueba de frío; PSRF= Peso seco de raíz prueba de frío; TEXTURA 1= Variables de textura; CORN= Textura córnea; HAR= Textura harinosa; PICO= Pedicelo; GERMEN= Embrión; PERIC= Pericarpio.

Figura 1. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales.

En la Figura 2, con la representación de características de textura y de calidad fisiológica, al utilizar las primeras variables canónicas se observa un patrón definido de distribución. Los genotipos de endospermo córneo (Grupo 1) se ubican principalmente en el cuadrante III, que corresponde a valores negativos de Fisiol 1 y Textura 1. En el otro extremo los de endospermo harinoso (Grupo 4) se ubican principalmente en el cuadrante I correspondiente a valores positivos de Textura 1 y Fisiol 1, lo que implica que los genotipos de textura córnea son los de mayor vigor, ya que las variables fisiológicas que contribuyen con mayor peso a esa ubicación, como son plántulas normales y peso seco de parte aérea en la prueba de germinación estándar, así como porcentaje de germinación del primer conteo y peso seco de raíz, contribuyeron con coeficiente negativo, es decir, guardan una relación inversa con su variable canónica, lo que indica que su expresión fenotípica es más favorable en términos de vigor si se ubican en la parte negativa de Fisiol 1. En contraste, los genotipos del Grupo 4 se ubican en el lado positivo de Fisiol 1, con valores altos de plántulas anormales en la prueba de germinación estándar y de semillas sin germinar en la prueba de frío, confirmándose nuevamente

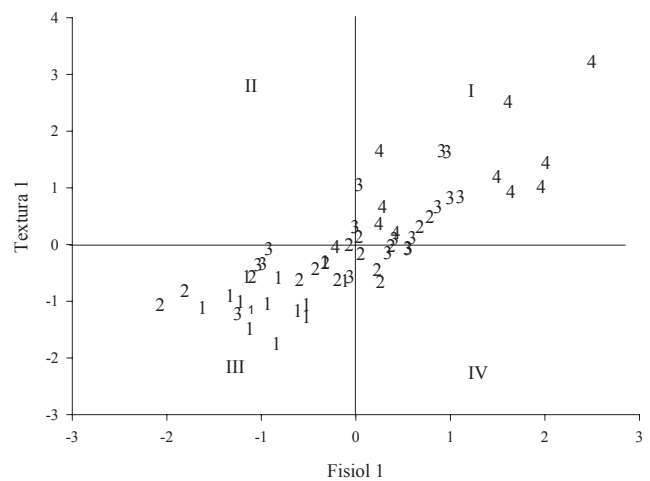


Figura 2. Representación de los valores de las dos primeras variables canónicas, obtenidas de 24 variables de calidad fisiológica (Fisiol 1) y 5 de textura (Textura 1) respectivamente, registradas para 56 híbridos de maíz de cruza simple

que las mejores características en cuanto a calidad fisiológica las presentan los genotipos con endospermo córneo, el cual está correlacionado con una alta proporción de germen, una mayor disponibilidad de minerales y particularmente de proteínas (1.5 a 2% más que el endospermo harinoso) (Watson, 1987). En este estudio y de acuerdo con las variables evaluadas se observó que el maíz con endospermo córneo fue el de mayor vigor, lo que en conjunto con otros atributos señalados por De Dios *et al.* (1990): pericarpio duro y menor susceptibilidad a los cambios ambientales y en consecuencia, mejores características de almacenamiento, hacen que este tipo de maíz, de manera general, tienda a producir semilla de mejor calidad, que es un atributo importante para tener un cultivo de buen rendimiento.

CONCLUSIONES

Se detectó respuesta diferencial en la calidad fisiológica de los genotipos evaluados, mostrando, de manera general, mayor vigor los genotipos con endospermo córneo.

Se determinaron diferencias entre las pruebas utilizadas, así como interacción entre el tipo de prueba y genotipos, para la mayoría de las variables evaluadas. Las variables derivadas de la prueba de envejecimiento acelerado sobresalieron por su importancia en la definición de combinaciones lineales integradoras en la técnica multivariable utilizada.

LITERATURA CITADA

- Anderson, T. W. 2003. An introduction to multivariate statistical analysis. 3rd ed. Wiley-Interscience. New York, New York, USA. 752 p.
- Boyer, C. D. and Hannah, L. C. 2001. Kernel mutants of corn. *In*: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. USA. p. 1-31.
- Burriss, J. S. and Navratil, R. J. 1979. Relationship between laboratory cold-test methods and field emergence in maize inbreds. *Agron. J.* 71:985-988.
- De Dios, C. A.; Puig, R. C. and Robutti, J. L. 1990. Characterization of Argentinian maize quality. *Estación Experimental Agropecuaria Pergamino* 1:22-41.
- Delouche, J. C. and Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. Technol.* 1:427-452.
- Delouche, J. C. and Cadwell, W. P. 1962. Seed vigour and vigour test. *Proc. Assoc. Offic. Seed Anal.* 50:124-129.
- Dombrink-Kurtzman, M. A. and Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chem.* 74:776-780.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición. No. 25. Roma, Italia. 160 p.
- Fisher, D.; Gao, K. M.; King, K. N.; Boyer, C. D. and Gultinan, M. J. 1996. Allelic analysis of the maize amylose-extender locus suggests that independent genes encode starch-branching enzymes *Iia* and *Iib*. *Plant Physiol.* 110:611-619.
- Gómez, E.; Royo, J.; Thompson, G. R. and Hueros, G. 2002. Establishment of cereal endosperm expression domains: identification and properties of a maize transfer cell-specific transcription factor, *ZmMRP-1*. *Plant Cell* 14:599-610.
- Estrada G., J. A.; Hernández L., A.; Hernández O., F.; Carballo C, A. y González C., F. V. 1999. Tipos de endospermo en maíz y su relación con la calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:99-109.
- International Seed Testing Association. 2005. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland. 243 p.
- Jones, R. J; Schreiber, B. M. and Roessler, J. A. 1996. Kernel sink capacity in maize: genotypic and maternal regulation. *Crop Sci.* 36:301-306.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Mu-Forster, C. and Wasseman, B. P. 1998. Surface localization of zein storage proteins in starch granules from maize endosperm. Proteolytic removal of thermolysin and *in vitro* cross-linking of granule-associated polypeptides. *Plant Physiol.* 116:1563-1571.
- Opsahl-Ferstad, H. G; Deunff, E. L.; Dumas, C. and Rogowsky, P. M. 1997. *ZmEsr*, a novel endosperm-specific gene expressed in a restricted region around the maize embryo. *Plant J.* 12:235-246.
- Pajic, Z.; Popovic, R. and Sataric, I. 1998. Effect of endosperm type on seed germination in maize (*Zea mays* L.). *Selekcija i Semearstvo.* 5:69-72.

- Perry, D. A. 1981. Seedling growth and seedling evaluation tests. *In*: Perry, D. A. (ed.). Handbook of Vigour Test Methods. ISTA. Zurich, Switzerland. p. 10-20.
- Rincón S., F. y Molina M., J. 1990. Efecto del método de envejecimiento artificial sobre la germinación de semillas de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 1:51-53.
- Robutti, J. L.; Hosene, R. C. and Deyoe, C. W. 1973. Modified *opaque-2* corn endosperms. I. Protein distribution and amino acid composition. *Cereal Science Today* 9:303.
- Statistical Analysis System Institute. (SAS). 1985. SAS user's guide: Statistics. Version 5.0 Edition. Cary, N.C. 479 p.
- Tofiño, A.; Fregene, M.; Ceballos, H. y Cabal, D. 2006. Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica* 55(1):1-17.
- Watson, S. A. 1987. Structure and composition of starch. *In*: Watson, S. A. and Ramstad, P. E. (eds.). *Corn Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul. MN. USA. p. 53-82.