

COMPONENTES GENÉTICOS DE CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS EN LÍNEAS DE MAÍZ

GENETIC COMPONENTS OF AGRONOMIC AND PHYSIOLOGICAL SEED QUALITY TRAITS IN MAIZE INBRED LINES

Oralia Antuna Grijalva¹, Froylán Rincón Sánchez^{2*}, Emiliano Gutiérrez del Río³,
Norma Angélica Ruiz Torres⁴ y Leticia Bustamante García⁴

¹ Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. ² Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. C.P. 25315. frincon@uaaan.mx; ³ Unidad Regional Laguna, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. ⁴ Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

* Autor responsable

RESUMEN

La asociación entre caracteres de la evaluación en campo e indicadores de calidad de semillas y sus componentes genéticos son factores importantes para ampliar la caracterización del germoplasma en un programa de mejoramiento genético. Los objetivos fueron analizar la relación entre los valores medios y los efectos de aptitud combinatoria, y explorar el tipo de acción génica de los caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas. El material genético consistió en seis líneas endogámicas de maíz y las cruza simples entre ellas. Se obtuvo información de la floración masculina, altura de planta, de mazorca y rendimiento de grano. La calidad fisiológica fue determinada con base en el porcentaje de germinación estándar, primer conteo de la prueba de germinación, índice de velocidad y porcentaje de emergencia. Los resultados mostraron amplia variación ($P \leq 0.01$) entre los genotipos en todos los caracteres estudiados. Asimismo, se encontró diferencia estadística ($P \leq 0.01$) en los efectos de aptitud combinatoria general y específica para todas las variables, excepto el rendimiento de grano. Se identificaron las cruza 43x10, 4x7, 43x4 y 36x7 con buen potencial de rendimiento, mayor altura de planta y mazorca, pero con asociación inconsistente con los diferentes atributos de calidad fisiológica. Los progenitores 10, 36 y 43 manifestaron buenos índices de calidad fisiológica, más tardíos y reducida altura de planta y mazorca, además de bajo rendimiento de grano. La expresión fenotípica y los efectos genéticos, apoyados por un análisis de correlación indican que no existe asociación directa y significativa entre los caracteres agronómicos y de calidad de semillas. La altura de planta y mazorca, y todas las variables de calidad fisiológica estuvieron determinadas por efectos aditivos, en tanto que los efectos no aditivos fueron el componente principal en la expresión de los días a floración y el rendimiento de grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, efectos genéticos, componentes de varianza.

SUMMARY

The association between field evaluation and seed quality traits and their genetic components are important factors to improve germplasm characterization in a plant-breeding program. The objectives were to analyze the relationship among the mean values and combining ability effects, and to explore the genetic control of agronomic and physiological quality of seed traits. The genetic material consisted

of six maize inbred lines and their single crosses among them. Data recorded were male flowering days, plant and ear height, and grain yield; seed physiological quality was obtained as the germination percentage, first count of the standard germination test, speed germination index and emergence percentage. Results indicated a wide variation ($P \leq 0.01$) among genotypes on all the evaluated traits. Significant differences ($P \leq 0.01$) were shown for most traits except grain yield on both general and specific combining ability effects. The single crosses 43x10, 4x7, 43x4 and 36x7 were identified as having high yielding, high plant and ear height, with an inconsistent association with the different physiological quality attributes. Parents 10, 36 and 43 showed good quality indices, were late, and had low plant and ear height, including grain yield. Phenotypic expression and genetic effects, supported by a correlation analysis indicate that there is not a direct and significant relationship between the agronomic and seed quality traits. These results showed that additive genetic effects were more important for ear and plant height, and for all seed quality traits, whereas the non-additive effects determined the expression of days to flowering and grain yield.

Index words: *Zea mays* L., combining ability, genetic effects, variance components.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de líneas y la identificación de las mejores combinaciones híbridas con base en el potencial de rendimiento determinan el éxito de un programa de mejoramiento genético. En un programa de producción de semillas, es importante determinar los componentes de la calidad fisiológica en términos de viabilidad y vigor, los cuales pueden contribuir a predecir el establecimiento y producción de híbridos sobresalientes con altos índices de calidad, así como un manejo adecuado del cultivo. Se entiende como calidad de la semilla la sumatoria de los atributos genéticos, fisiológicos, físicos y sanitarios, responsables de la capacidad y niveles de productividad (Popinigis, 1985).

La calidad es un elemento esencial a considerar en la producción de semillas, tanto para evitar la contaminación y cumplir los estándares de calidad requeridos, como para obtener los volúmenes adecuados de semilla aprovechable. La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo poscosecha (Perry, 1972; Moreno *et al.*, 1988). Las determinaciones del vigor de la semilla son útiles para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas, así como para estimar el periodo de almacenamiento de las mismas al que pueden ser sometidas, ya que se ha demostrado que el vigor y la longevidad están altamente relacionados (Moreno, 1996).

La longevidad de la semilla es una característica determinada genéticamente, por lo que es importante conocerla en el material genético de un programa de mejoramiento o de producción de semillas. En estudios relacionados con el vigor de semillas, por una parte se han reportado ciertos niveles de heterosis (Fakorede y Agbana, 1983), y por otra que la mayoría de alelos recesivos presentan efectos pleiotrópicos que afectan a ciertas características del vigor (Dollinger, 1985). Al cruzar líneas de longevidad larga con líneas de longevidad corta, la semilla híbrida exhibe longevidad larga y frecuentemente exhibe diferencias significativas entre sus cruza recíprocas, por lo que Lindstrom (1972) concluyó que la longevidad de la semilla de maíz es heredable, y que el tipo de herencia es complejo. Los cruzamientos dialélicos han sido ampliamente utilizados para desarrollar poblaciones mejoradas y para estimar varianzas y efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), los cuales permiten estimar los tipos de acción génica que controlan a los diferentes caracteres (Griffing, 1956; Hallauer y Miranda, 1988). Los efectos de ACG están relacionados con los genes de efectos aditivos, mientras que la ACE con los efectos de dominancia y los efectos epistáticos.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar el comportamiento agronómico de seis líneas de maíz y sus combinaciones híbridas; analizar la relación entre los efectos de la aptitud combinatoria en características agronómicas y de calidad fisiológica de semillas; y explorar la contribución relativa de los efectos genéticos asociados con la expresión fenotípica y de calidad fisiológica de las semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas: la evaluación agronómica del material genético en tres localidades de la Comarca Lagunera durante el ciclo agrícola primavera-verano de 1997 (Nazas, Dgo., Torreón, y San Pedro de las Colonias, Coah), y la determinación de la calidad fisiológica de las semillas, en el Laboratorio de ensayos de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). La Comarca Lagunera se localiza entre 24°30' y 27° LN y entre 102° y 104°40' LO, cuyo clima se clasifica como muy seco, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones (200-300 mm) y temperatura semicálida con invierno benigno (18-20 °C) (Anónimo, 2001a, 2001b). Las localidades de evaluación se encuentran situadas a 1090, 1120 y 1250 msnm para San Pedro de las Colonias, Coah., Torreón, Coah. y Nazas, Dgo., respectivamente.

El material genético consistió de seis líneas endogámicas de maíz, identificadas con los números 4, 7, 10, 21, 36 y 43 (L-AN-123R-4, L-AN-447-7, L-AN-360 PV-10, L-AN-130-21, L-AN-123-36 y L-AN-388 R-43, respectivamente) y los híbridos simples entre ellas, derivadas del programa de mejoramiento genético de la UAAAN en la Unidad Regional Laguna. En el ciclo agrícola Primavera-Verano (P-V) 1997 se hicieron los cruzamientos entre las seis líneas, obteniéndose 15 cruza directas; al mismo tiempo se efectuaron cruza fraternales en las líneas, lo que produjo un total de 21 materiales genéticos.

Las evaluaciones se realizaron en ensayos uniformes en bloques completos al azar con dos repeticiones en campo y con cuatro repeticiones en el laboratorio. En campo, la parcela estuvo constituida por dos surcos de 5 m, con una distancia entre surcos de 0.80 m y de 0.25 m entre plantas, que al desechar las plantas orilleras resultó una parcela experimental útil de 7.6 m². Se obtuvo información de los días a floración masculina (DF), altura de planta (APTA) y mazorca (AMAZ) en m y el rendimiento de grano (REND) en t ha⁻¹ a 15 % de humedad; en el laboratorio se determinó la calidad fisiológica de las semillas con base en la germinación estándar (GERM) y el primer conteo (PC) al cuarto día de la prueba de germinación como una prueba de vigor (ISTA, 1985; AOSA, 1983); en invernadero se determinó la velocidad de germinación (IVIG) y el porcentaje de emergencia (EMERG) de acuerdo con Maguire (1961).

En las pruebas de geminación estándar y en invernadero se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas. El porcentaje de emergencia en invernadero se realizó en camas de 1.4 m de longitud por 0.75 m de ancho, cuyo sustrato

de germinación fue PRO-MIX 'PGX'; la semilla se sembró a una profundidad de 4 cm en el sustrato húmedo. La velocidad de emergencia fue determinada mediante conteos diarios de plántulas a partir del cuarto día hasta alcanzar el total de las plántulas emergidas a los 12 días. La velocidad de emergencia (IVIG) fue estimada con la sumatoria del número de plántulas emergidas entre el número de días al *i*-ésimo conteo; el último conteo fue utilizado para estimar el porcentaje de emergencia.

Se realizaron análisis de varianza con base en un diseño de bloques completos al azar, y un análisis genético usando el modelo IV (Griffing, 1956) para determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE). Los valores superiores de las variables en estudio fueron aquéllas que superaron al valor de la media más dos veces su error estándar ($\mu + 2\sigma$). Los efectos genéticos fueron probados estadísticamente con la prueba de *t*, cuyo valor se obtuvo al dividir el valor del parámetro entre su error estándar (Singh y Chaudhary, 1985). A partir de los cuadrados medios se calcularon las varianzas de ACG (V_{acg}) y ACE (V_{ace}) las que permitieron estimar los componentes de varianza aditiva ($V_A = 2V_{acg}$) y de dominancia ($V_D = V_{ace}$) y los valores de heredabilidad (h^2). Con base en la proporción relativa de los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria general y específica, se determinó la contribución relativa de los efectos aditivos y no aditivos de las características en estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron análisis de varianza para probar diferencias entre los genotipos (cruzas y los progenitores) en las variables agronómicas evaluadas en tres ambientes de la Comarca Lagunera, excepto para el rendimiento (REND)

en el que sólo se determinó en dos localidades. Se encontraron diferencias estadísticas entre genotipos ($P \leq 0.01$) en todas las variables tanto en los análisis de varianza individual como en el combinado. Las localidades mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) sólo en los días a floración, y en ningún caso se presentó diferencia significativa en la interacción genotipos x localidades. Se encontraron diferencias estadísticas entre genotipos ($P \leq 0.01$) en todas las variables de calidad fisiológica de la semilla. El análisis genético fue realizado con la información de las 15 cruzas simples para evitar la confusión de efectos debido a las líneas endogámicas progenitoras (Baker, 1978; Hallauer y Miranda, 1988). En el caso de las variables agronómicas, se realizó un análisis combinado para determinar el comportamiento de los genotipos y los efectos de aptitud combinatoria general y específica (Cuadro 1).

Se encontraron diferencias estadísticas entre cruzas ($P \leq 0.01$) en todas las variables, y también para los efectos de ACG y ACE, excepto en los efectos de ACG para el rendimiento de grano, donde tampoco se encontró evidencia de diferencias estadísticas. Los análisis indican ausencia de interacción entre genotipos y efectos de ACG y de ACE con los ambientes de evaluación. La ausencia de interacción entre cruzas x localidades, sugieren obtener un análisis genético con los promedios de localidades para estimar los parámetros genéticos usando el modelo lineal indicado. La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados medios indica el tipo de acción génica en los caracteres (Baker, 1978). En este sentido, los cuadrados medios debidos a los efectos de ACG fueron mayores que los de ACE en la altura de planta y mazorca (Cuadro 1), lo que señala la importancia de los efectos aditivos en estos caracteres, en tanto que los efectos no aditivos fueron el componente más importante en las variables días a floración y rendimiento de grano.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza para las características agronómicas evaluadas en Nazas, Dgo., San Pedro de las Colonias y Torreón, Coah. 1998.

FV	gl	REND (t ha ⁻¹)	gl	APTA (m)	AMAZ (m)	DF (d)
Localidades (Loc)	1	13.95	2	0.04	0.15	105.34 *
Bloques/Loc	2	7.89 **	3	0.05 *	0.04 **	3.53
Cruzas	14	4.59 **	14	0.13 **	0.12 **	11.59 **
ACG	5	1.54	5	0.29 **	0.26 **	9.24 *
ACE	9	6.28 **	9	0.04 *	0.04 **	12.90 **
CruzasxLoc	14	1.49	28	0.01	0.01	4.67
ACGxLoc	5	1.43	10	0.02	0.01	7.46
ACExLoc	9	1.52	18	0.01	0.01	3.11
Error	28	1.32	42	0.02	0.01	3.63
CV (%)		13.86		5.49	8.89	2.57

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; REND = Rendimiento; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; DF = Días a floración; gl = grados de libertad.

Al igual que en las variables agronómicas, se encontró diferencia estadística ($P \leq 0.01$) entre cruza simple para todas las variables de calidad fisiológica (Cuadro 2), determinada mediante porcentaje de germinación estándar, emergencia en invernadero, primer conteo y velocidad de emergencia. Con base en la descomposición de las sumas de cuadrados, se encontró diferencia estadística ($P \leq 0.01$) para todas las variables en los efectos de ACG y ACE. Con base en la proporción relativa de los cuadrados medios, los efectos de ACG fueron más importantes que los efectos de ACE en todas las variables de calidad fisiológica de semillas. Resultados similares fueron encontrados en el porcentaje de germinación, porcentaje de establecimiento y vigor en *Beta vulgaris* (Sadeghian y Khodai, 1998). En general, el análisis de los cuadrados medios indica que los efectos genéticos (ACG) fueron de gran importancia relativa en la altura de planta y mazorca, y en todos los caracteres indicadores de la calidad fisiológica (Cuadros 1 y 2). En cambio, los efectos no aditivos fueron proporcionalmente de mayor importancia en la expresión de los días a floración y el rendimiento de grano.

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza para los caracteres de calidad fisiológica de semillas.

FV	gl	PC %	GERM	IVIG	EMERG
Repeticiones	3	60	26.6	0.07	2.1
Cruzas	14	1221 **	365.8 **	1.20 **	503.4**
ACG	5	2144 **	456.8 **	1.78 **	716.3**
ACE	9	708 **	315.3 **	0.88 **	385.1**
Error	42	218	27.3	0.05	32.8
CV (%)		32	5.7	6.05	6.4

*, ** = Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; PC = Primer conteo; GERM = Porcentaje de germinación; IVIG = Índice de vigor; EMERG = Porcentaje de emergencia en invernadero; gl = grados de libertad.

La expresión fenotípica de los materiales genéticos determinada por los valores medios de los caracteres en estudio, muestra amplia variación entre ellos, con una asociación diferencial entre los dos grupos de variables (Cuadro 3). En general, los genotipos con mayor rendimiento están asociados con mayor altura de planta y mazorca (43x10, 4x7, 43x4 y 36x7), pero no se evidencia un patrón que esté asociado con atributos de calidad, lo cual sugiere ausencia de relación directa entre los dos grupos de caracteres y, por consiguiente, que tienen un comportamiento independiente. Los progenitores se caracterizaron por ser más tardíos, con menor altura de planta y mazorca y de bajo rendimiento de grano, características comunes asociadas a lí-

neas endogámicas. Sin embargo, destacan los progenitores 10, 36 y 43, con buenos índices de calidad, en particular la línea 43 con elevados porcentajes de viabilidad y vigor, aunque tuvieron pobre comportamiento en la evaluación agronómica. Si bien no hubo correlación entre los dos grupos de variables, es posible identificar genotipos con expresión consistente entre los caracteres agronómicos y de calidad fisiológica, como el progenitor 4 (índices bajos de calidad fisiológica y valores bajos en altura de planta y mazorca, y en rendimiento de grano), y la cruza 21x43 (índices altos de calidad fisiológica asociados con genotipos tardíos, altos y con rendimiento de grano aceptable).

A partir de los valores medios en las variables agronómicas y los promedios en las variables de calidad fisiológica de semillas, se obtuvieron los efectos de ACG y ACE (Cuadro 4). Las líneas 7 y 43 muestran efectos positivos de ACG para la variable APTA, AMAZ, DF y REND, en tanto que en las líneas 10, 21 y 36, los efectos de ACG son negativos para todas las variables. En el caso de rendimiento, las líneas 10 y 43 son las que mostraron los mayores efectos de ACG con valores de 0.218 y 0.300 t ha⁻¹, respectivamente. Los valores de los efectos genéticos de aptitud combinatoria general para los progenitores en altura de planta, altura de mazorca y días a floración, indican que las líneas 7 y 43 tienen una buena combinación, presentando un incremento en la altura de planta, altura de mazorca y en días a floración. Es deseable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistan al acame, sin descuidar la relación positiva de la altura de planta con el potencial de rendimiento de grano.

En cuanto a la calidad fisiológica, la línea 43 mostró resultados negativos en los efectos de ACG, contrario a lo observado en las variables agronómicas, en tanto que en la línea 7 los efectos de ACG fueron positivos, al igual que en los caracteres agronómicos. Estos resultados confirman a los anteriores e indican la contribución genética diferencial en la expresión fenotípica. Las líneas 10 y 21 mostraron efectos positivos y significativos en los valores de ACG para la germinación estándar, el porcentaje y la velocidad de emergencia, sin embargo, estos valores están asociados negativamente con los caracteres agronómicos.

Los efectos de ACE de las cruza para las variables agronómicas y de calidad fisiológica no mostraron un patrón de asociación de estos efectos entre y dentro de los dos grupos de las variables estudiadas. Sobresale el comportamiento contrastado en la estimación de los efectos de ACE, lo cual coincide con los valores medios de cada variable (Cuadro 3). Es importante resaltar que las cruza 43x4, 36x7, 36x10 y 36x21 muestran valores positivos y

Cuadro 3. Medias de caracteres agronómicos y atributos de calidad fisiológica de semillas de los genotipos evaluados.

Genotipos	Caracteres agronómicos				Calidad fisiológica			
	APTA (m)	AMAZ (m)	DF (d)	REND (t ha ⁻¹)	PC (%)	GERM (%)	IVIG	EMERG (%)
43x10	2.37 *	1.12 *	73	10.35 *	44	98 *	3.95	93
21x10	1.86	0.68	75	9.46 *	74 *	98 *	4.03	93
4x7	2.28 *	1.05 *	74	9.30 *	42	93	3.34	81
43x4	2.38 *	1.12 *	75	9.26 *	53	98 *	3.81	89
21x7	2.13	0.85	74	8.76 *	47	94	4.08	97 *
36x7	2.28 *	1.07 *	72	8.68 *	47	92	3.61	89
36x10	2.16	0.96	74	8.51 *	41	95	4.06	97 *
21x4	2.13	0.92	74	8.43 *	61 *	94	3.82	90
36x4	2.20 *	1.05 *	73	8.03	15	68	2.62	64
43x7	2.46 *	1.26 *	78 *	7.96	44	97	4.16 *	98 *
36x43	2.23 *	1.10 *	75	7.57	12	70	2.64	66
21x43	2.33 *	1.13 *	74	7.46	75 *	97	4.35 *	97 *
10x7	2.23 *	1.06	75	7.00	33	90	4.08	96
10x4	2.21 *	1.06	74	6.96	47	96	4.29 *	99 *
36x21	2.07	0.93	74	6.50	52	97	4.31 *	99 *
36	1.75	0.76	78 *	5.45	43	94	4.16 *	97 *
7	1.93	0.89	81 *	5.04	32	95	3.75	92
10	1.76	0.76	80 *	5.04	44	98 *	4.29 *	100 *
21	1.59	0.55	79 *	3.61	56	94	3.97	91
43	2.19	1.08	82 *	2.80	59 *	98 *	4.27 *	96
4	1.00	0.27	81 *	1.94	26	81	3.25	82
Media	2.07	0.94	76	7.052	45.1	92.2	3.847	90.8
σ	0.054	0.041	0.7	0.560	6.9	2.7	0.115	2.7

* Mayor que $\mu + 2\sigma$; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; DF = Días a floración; REND = Rendimiento; PC = Primer conteo; GERM = Germinación; IVIG = Índice de vigor; EMERG = Porcentaje de Emergencia; σ = Error estándar.

Cuadro 4. Estimación de los efectos genéticos para las variables agronómicas y de calidad fisiológica de semillas.

Genotipos	Caracteres agronómicos				Calidad fisiológica			
	APTA (m)	AMAZ (m)	DF (d)	REND (t ha ⁻¹)	PC (%)	GERM (%)	IVIG	EMERG (%)
Efectos de aptitud combinatoria general								
4	0.021	0.021	-0.26	0.14	-2.8	-2.5	-0.29 **	-6.6 **
7	0.071 **	0.043 *	0.36	0.07	-4.0	1.8	0.05	2.9
10	-0.069 **	-0.061 **	-0.18	0.22	2.5	4.5 **	0.34 **	7.2 **
21	-0.148 **	-0.153 **	-0.06	-0.20	20.0 **	5.3 **	0.38 **	6.7 **
36	-0.039	-0.005	-0.85	-0.53	-15.5 **	-9.3 **	-0.45 **	-8.6 **
43	0.165 **	0.154 **	0.99 *	0.30	-0.3	0.3	-0.03	-1.6
Efectos de aptitud combinatoria específica								
4x7	-0.036	-0.037	-0.34	0.81	3.0	2.0	-0.23 *	-5.2 *
10x4	0.036	0.079 **	0.37	-1.68 **	1.5	2.2	0.43 **	8.6 **
21x4	0.032	0.026	-0.26	0.20	-2.1	-0.6	-0.08	0.1
36x4	-0.001	0.008	0.20	0.14	-12.6 *	-12.1 **	-0.44 **	-10.7 **
43x4	-0.031	-0.076 **	0.03	0.54	10.2	8.5 **	0.33 **	7.3 **
10x7	0.011	0.054	0.74	-1.57 **	-11.3	-8.1 **	-0.12	-4.0
21x7	-0.010	-0.061 *	-0.72	0.61	-14.8 **	-4.8 *	-0.17	-2.5
36x7	0.032	0.008	-2.09 **	0.85	20.7 **	7.7 **	0.20 *	4.8 *
43x7	0.003	0.037	2.41 **	-0.69	2.5	3.2	0.33 **	6.8 **
21x10	-0.146 **	-0.133 **	0.83	1.16 *	5.7	-3.6	-0.50 **	-10.7 **
36x10	0.046	-0.003	0.28	0.54	8.2	8.0 **	0.36 **	8.6 **
43x10	0.052	0.003	-2.22 **	1.55 **	-4.1	1.5	-0.17	-2.5
36x21	0.035	0.060 *	0.99	-1.05 *	1.7	9.2 **	0.56 **	11.1 **
43x21	0.088 *	0.108 **	-0.84	-0.92	9.5	-0.3	0.19 *	2.1
43x36	-0.112 **	-0.073 *	0.62	-0.48	-18.1 **	-12.8 **	-0.68 **	-13.7 **

* y ** = Diferente de cero a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; APTA y AMAZ = Altura de planta y mazorca; DF = Días a floración; REND = Rendimiento de grano; PC = Primer conteo; GERM = Germinación; IVIG = Índice de vigor; EMERG = Porcentaje de emergencia.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre los caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas.

	AMAZ	DF	REND	PC	GERM	IVIG	EMERG
APTA	0.97 **	-0.59 **	0.71 **	0.11	0.15	0.07	0.03
AMAZ		-0.47 *	0.58 **	0.00	0.08	0.04	-0.01
DF			-0.86 **	-0.07	0.10	0.16	0.17
REND				0.13	0.08	-0.10	-0.09
PC					0.78 **	0.72 **	0.64 **
GERM						0.90 **	0.90 **
IVIG							0.98 **

*, ** = Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; DF = Días a floración masculina; REND = Rendimiento; PC = Primer conteo; GERM = Germinación estándar; IVIG = Velocidad de emergencia; y EMERG = Porcentaje de emergencia.

significativos de ACE en las variables de calidad fisiológica; en estas cruzas intervienen las líneas 7, 10 y 21, las cuales mostraron efectos positivos de ACG, que en combinación con la línea 36 expresan valores aceptables de calidad fisiológica. Estos resultados coinciden con los de Gómez y Valdivia (1988), quienes encontraron cruzas con altos efectos de ACE en las que por lo menos interviene una línea de alta ACG. Las diferencias en la expresión de los atributos de calidad de las semillas de las cruzas indican que ésta no puede ser predicha con base en los valores de aptitud combinatoria general de los progenitores (Baker, 1978). En general, no se observó un patrón que indique asociación directa entre los efectos de ambos grupos de variables, sino que existe un comportamiento independiente en la expresión fenotípica de los materiales en estudio en términos de viabilidad, vigor y comportamiento agronómico de los mismos. En un estudio para analizar la relación entre caracteres de calidad y la emergencia en campo, Makkawi *et al.* (1999) encontraron que ésta dependió del año de evaluación de los genotipos, y que el porcentaje de germinación estándar fue el único atributo útil para predecir el establecimiento en campo.

Los coeficientes de correlación significativos sólo ocurrieron dentro de cada grupo de variables, agronómicas y fisiológicas (Cuadro 5). Los bajos coeficientes y la ausencia de significancia entre los dos grupos de variables indica un comportamiento independiente, lo cual coincide con los resultados obtenidos al analizar los valores fenotípicos y sus efectos genéticos (Cuadros 3 y 4). La asociación positiva y significativa entre los caracteres de viabilidad (germinación estándar y emergencia en invernadero) con los de vigor (primer conteo y velocidad de emergencia) permite

inferir un buen establecimiento del cultivo; sin embargo, la ausencia de correlación con los caracteres agronómicos, incluyendo el rendimiento de grano, indica que la calidad fisiológica inicial de las semillas no influye directamente en los caracteres agronómicos durante el desarrollo del cultivo.

Se encontraron valores negativos en las estimaciones de la varianza debida a la aptitud combinatoria general (V_{ACG}) para días a floración (DF) y rendimiento de grano (REND) (Cuadro 6), lo cual repercute en estimaciones negativas en la varianza aditiva (V_A) y de dominancia (V_D) y por consiguiente, en valores incorrectos de h^2 . Para efectos del cálculo de heredabilidad y dominancia, los valores negativos de varianzas fueron considerados igual a cero, como lo señala Márquez (1988) quien menciona que el componente de varianza con signo negativo, para efecto de estimación matemática tiene un valor de cero.

Cuadro 6. Componentes de varianza de variables agronómicas y de calidad fisiológica.

Variables	V_A	V_D	V_E	h^2	I_i^\dagger
APTA	0.02	0.01	0.01	0.69	8.18
AMAZ	0.02	0.01	0.01	0.66	6.30
DF	-0.30 [‡]	1.37	2.33	0.00	0.72
REND	-0.59	1.20	0.74	0.00	0.25
PC	179.61	122.26	218.48	0.35	3.03
GERM	17.69	71.99	27.34	0.15	1.45
IVIG	0.11	0.21	0.05	0.30	2.03
EMERG	41.40	88.07	32.80	0.26	1.86

V_A , V_D y V_E = Valores estimados de Varianzas Aditiva, Dominancia y Ambiental, respectivamente; h^2 = valor estimado de heredabilidad; $^\dagger I_i = (CM_{ACG}/CM_{ACE})$; ‡ Valores negativos fueron considerados igual a cero; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; DF = Días a floración masculina; REND = Rendimiento; PC = Primer conteo; GERM = Germinación estándar; IVIG = Velocidad de emergencia; y EMERG = Porcentaje de emergencia.

La proporción de los cuadrados medios de ACG (CM_{ACG}) sobre los cuadrados medios de ACE (CM_{ACE}) indica que los días a floración y el rendimiento de grano mostraron valores más pequeños en relación con las demás características evaluadas, como consecuencia de tener un valor relativamente mayor en los efectos no aditivos. Por lo tanto, el tipo de acción génica que predomina en los caracteres estudiados en los genotipos evaluados fue la aditiva para las variables de altura de planta y altura de mazorca; por el contrario, para los días a floración masculina y rendimiento de grano predominaron los efectos no aditivos. En el caso de la calidad fisiológica, ésta fue expresada principalmente por los efectos aditivos en todas las variables, con base en la proporción relativa de los cuadrados medios, aunque se encontraron valores superiores en la estimación de la varianza de dominancia con relación a la varianza aditiva en el porcentaje de germinación, la velocidad y el porcentaje de emergencia, lo cual pudiera deberse a que hay factores no aditivos que están interaccionando en estos caracteres de calidad. Los caracteres que exhibieron los valores más altos de h^2 fueron la altura de planta y mazorca (0.687 y 0.658, respectivamente), en tanto que los valores más bajos correspondieron a las variables de calidad fisiológica, resultado de la proporción relativa de valores estimados de V_D y V_A , por lo que es posible que el modelo utilizado no logre identificar el tipo de acción génica de algunos caracteres (Hallauer y Miranda, 1988).

CONCLUSIONES

Se logró caracterizar a los genotipos en estudio con base en las características agronómicas y de calidad fisiológica. La expresión fenotípica y los efectos genéticos de las líneas y las cruzas simples mostraron una asociación inconsistente entre las variables analizadas, que indica un comportamiento independiente en la expresión de los caracteres agronómicos y los de calidad fisiológica de la semilla. La altura de planta y mazorca, y todas las variables de calidad fisiológica estuvieron determinadas por efectos aditivos. Los efectos no aditivos fueron el componente principal en la expresión del rendimiento y los días a floración. El análisis de correlación indica que no existe asociación directa y significativa entre las variables de calidad de semillas y las variables agronómicas, de modo que la calidad inicial de la semilla no influye significativamente en el desarrollo del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo (2001a)** Anuario Estadístico del Estado de Coahuila de Zaragoza, Edición 2001. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - Gobierno del Estado de Coahuila. 502 p.
- Anónimo (2001b)** Anuario Estadístico del Estado de Durango, Edición 2001. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - Gobierno del Estado de Durango. 467 p.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA) (1983)** Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. The Handbook of Official Seed. USA. 88 p.
- Baker R J (1978)** Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Dollinger E J (1985)** Effects of visible recessive alleles on vigor characteristics in a maize hybrid. *Crop Sci.* 25: 819-821.
- Fakorede M A B, S B Agbana (1983)** Heterosis effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivars. *Maydica* 38: 327-338.
- Gómez M N, R Valdivia B (1988)** Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11: 103-120.
- Griffing B (1956)** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hallauer A R, J B Miranda (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. Second Ed. Iowa State University Press. Ames. USA. 468 p.
- International Seed Testing Association (ISTA) (1985)** International Rules for Seed Testing. *Seed Sci. Technol.* 13:345-350.
- Lindstrom E W (1972)** Inheritance of seed longevity in maize inbreds and hybrids. *Genetics* 27:154-160.
- Maguire J D (1961)** Speed of germination. Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Makkawi M, M El Balla, Z Bishaw, A J G Van Gastel (1999)** The relationship between seed vigour tests and field emergence in lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Seed Sci. Technol.* 27: 657-668.
- Márquez S F (1988)** Genotecnia Vegetal. Tomo II. Primera ed. Ed. AGTESA. México. 563 p.
- Moreno M E (1996)** Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 393 p.
- Moreno M E, M E Vázquez, A Rivera, R Navarrete, F Esquivel (1988)** Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. Technol.* 26:439-448.
- Perry D A (1972)** Seed vigour and field establishment. *Hort. Abstr.* 42:334-342.
- Popinigis F (1985)** Fisiología da Semente. 2ª Ed. Brasilia. 289 p.
- Sadeghian S Y, H Khodai (1998)** Diallel cross analysis of seed germination traits in sugar beet. *Euphytica* 103: 259-263.
- Singh R K, B D Chaudhary (1985)** Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Kalyani Publishers, Revised Ed. New Delhi, India. 318 p.