

RELACIÓN ENTRE VIGOR INICIAL, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN POBLACIONES DE MAÍZ CHALQUEÑO*

RELATIONSHIP BETWEEN INITIAL VIGOR, YIELD AND ITS COMPONENTS IN CHALQUEÑO MAIZE POPULATIONS

Felipe de Jesús Pérez de la Cerdá¹, Leobigildo Córdova Téllez^{1§}, Amilio Santacruz Varela², Fernando Castillo González², Elizabeth Cárdenas Soriano³ y Adriana Delgado Alvarado⁴

¹Programa de Producción de Semillas, ²Programa de Genética, ³Programa de Fitosanidad, ⁴Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados. Km 35.5 carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Estado de México, México. [§]Autor para correspondencia: lcordova@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluó el vigor inicial y su relación con el rendimiento de grano y sus componentes en 28 poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) de la raza Chalqueño; 14 colectadas en la Sierra Purépecha, Michoacán, nueve en el Valle de Chalco, Estado de México, y cinco en otros estados. El vigor se midió en el laboratorio mediante pruebas de envejecimiento acelerado y emergencia en arena (velocidad de emergencia, longitud y peso seco de coleóptilo y mesocotilo) y emergencia en campo en dos localidades. Para este último las poblaciones se sembraron en el año 2003 en Aranza, Michoacán y en Montecillo, Estado de México donde se midió: establecimiento inicial y final, variables agronómicas y rendimiento de grano y sus componentes. Casi todas las poblaciones del Valle de Chalco y otros estados mostraron un comportamiento uniforme en cuanto a vigor en la mayoría de las pruebas realizadas; en contraparte, las de la Sierra Purépecha mostraron mayor variabilidad, excepto cinco de poblaciones que mantuvieron un comportamiento similar a las del Valle de Chalco. Las poblaciones del Valle de Chalco tuvieron un mejor rendimiento de grano en Montecillo, mientras que las de la Sierra Purépecha rindieron más en Aranza, es decir, las poblaciones sobresalieron en el ambiente donde han sido sometidas de manera recurrente a selección por los agricultores o fitomejoradores. También se observó una

correlación positiva entre las variables de vigor y el rendimiento de grano y sus componentes. Las variables mejor correlacionadas con el vigor fueron velocidad de emergencia, longitud y peso seco de mesocotilo y con rendimiento de grano el peso de 100 semillas.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad fisiológica, establecimiento inicial, poblaciones de maíz, vigor.

ABSTRACT

Initial vigor and its relationship with grain yield and its components were evaluated in 28 maize (*Zea mays* L.) populations of the Chalqueño race. Fourteen were collected from the Purepecha Mountain Range, in the state of Michoacan, nine from the Chalco Valley, in the State of Mexico, and five from other states. Vigor was measured through the accelerated aging test, emergency in sand (emergency speed, length and dry weight of coleoptile and mesocotyl), and field emergency in two localities. For the field tests, populations were planted in 2003 at Aranza, Michoacan and Montecillo, State of Mexico, where initial and final establishment, as well as agronomic traits and grain yield and its components were evaluated. Almost all the populations from the Chalco Valley and other states

* Recibido: Noviembre de 2005

Aceptado: Enero de 2007

showed a uniform performance in regard to vigor in most of the conducted tests; in contrast, populations from the Purepecha Mountain Range displayed greater variability, except for five populations that showed a performance similar to that of the Chalco Valley populations. Populations from the Chalco Valley produced higher grain yield in Montecillo, whereas the yield of those from the Purepecha Mountain Range was higher in Aranza, that is, under the environment where they have been recurrently submitted to traditional improvement by farmers or breeders. A positive correlation was found between vigor traits and those of grain yield and its components. Traits with the highest correlation with vigor were emergency speed, length and dry weight of mesocotyl and with yield and 100 seeds weight.

Key words: *Zea mays* L., initial establishment, maize populations, physiological quality, vigor.

INTRODUCCIÓN

El maíz de la raza Chalqueño se cultiva en regiones localizadas entre 1900 y 2700 msnm. Sobresalen el Valle de Chalco en el Estado de México con una extensión de 121 528 ha (INEGI, 1987), la Sierra Purépecha y la Sierra Michoacana en el estado de Michoacán con 59 000 y 41 000 ha, respectivamente (Escobar, 1996). Asimismo, se cultivan ciertas superficies en Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro, Oaxaca, Durango y Zacatecas. En esas entidades 95% de la superficie se siembra con semilla de poblaciones nativas pertenecientes a dicha raza (CEVAMEX, 1982; Vasal *et al.*, 1995), diferenciándose éstas visualmente por la coloración del grano (blanco, crema, amarillo, rojo, azul y negro), tipo de planta, características agronómicas y usos antropocéntricos específicos (Romero *et al.*, 2002).

En las regiones donde se cultivan las poblaciones de la raza Chalqueño la siembra se realiza bajo el sistema denominado “humedad residual” (Romero, 1996), a través del cual la semilla se deposita a profundidades superiores a 10 cm con el propósito de buscar la humedad necesaria para germinar. Bajo este sistema, el vigor de la semilla, referido a la suma de todas las propiedades físicas y fisiológicas, y en particular la elongación de las estructuras como el mesocotilo y coleóptilo, juegan un papel importante para emerger y desarrollarse en una plántula normal (Delouche y Baskin, 1973).

El establecimiento de la plántula en el campo involucra los procesos de germinación y emergencia; donde el primero comprende la imbibición, reactivación metabólica y la emisión de la radícula, procesos que pueden comprometer el establecimiento si ocurren en condiciones adversas (Albuquerque y Carvalho, 2003). La emergencia y establecimiento están influenciados por la temperatura y humedad del suelo (Helms *et al.*, 1997) y por la calidad fisiológica y genética de la semilla (Finch-Savage, 1995). Albuquerque y Carvalho (2003) observaron que la alta temperatura obstaculizó la emergencia de plántulas de girasol, maíz y soya con diferentes niveles de vigor. Brooking (1990) encontró una correlación positiva entre bajas temperaturas y el tiempo de emergencia de plántulas de maíz, la tasa relativa de movilización de reservas y la eficiencia de utilización de éstas en la nueva plántula.

Desde principios y mediados del siglo pasado se ha reconocido la importancia de la elongación del mesocotilo y coleóptilo del maíz en el establecimiento en campo (Collins, 1914; Martín *et al.*, 1935; Allan *et al.*, 1962). Dicha elongación es importante para que las hojas no se desdoblen bajo la superficie del suelo (Tillman *et al.*, 1994). Maiti (1986) encontró que la elongación del mesocotilo en sorgo sembrado a grandes profundidades correlacionó con la capacidad de emergencia y con el vigor de las plántulas; asimismo, encontró que genotipos con mesocotilos largos producen menores cantidades de etileno, pero incrementan la síntesis de giberelinas, las que al parecer favorecen la elongación del mesocotilo, aunque es necesario investigar el papel de otras hormonas, componentes bioquímicos y reservas de la semilla. La longitud del mesocotilo de sorgo es una característica que puede ser utilizada como criterio de selección en el mejoramiento genético para lograr una alta emergencia de plántulas y para estudiar el comportamiento de los genotipos bajo diferentes condiciones de estrés y en su crecimiento en etapas adultas (Maiti y Carrillo, 1989).

En las regiones donde se siembra maíz bajo el sistema de humedad residual es evidente una emergencia no uniforme, así como un pobre establecimiento de plántulas, lo que trae como consecuencia una floración y maduración no uniformes, un menor aprovechamiento del suelo y en general menor rendimiento; no obstante, no existen evaluaciones reportadas al respecto en la literatura. En un experimento establecido en el año 2002 en Aranza, Michoacán con fines de caracterización de poblaciones de maíz se detectaron diferencias en el número de plántulas

establecidas, y se especuló que podría deberse a la calidad genética y fisiológica de la semilla, y a una diferencia en la capacidad de elongación del mesocótilo durante la emergencia. En el presente estudio se evaluó el vigor inicial en diferentes poblaciones de maíz y se analizó su relación con el rendimiento de grano y sus componentes, bajo la hipótesis de que el vigor inicial y la elongación del mesocótilo favorecen el establecimiento en campo y el rendimiento final.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se evaluaron 28 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño, 14 nativas de la Sierra Purépecha, Michoacán recolectadas en 2002 y conservadas en el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo a 4 °C, nueve recolectadas en el Valle de Chalco, Estado de México y cinco de otros estados, cosechadas en 2002, y que se han sometido de 2 a 8 ciclos de selección masal (CSM) utilizando como criterio fundamental el rendimiento de grano (Cuadro 1).

Evaluación del vigor inicial

Prueba de envejecimiento acelerado. Para la prueba se utilizó semilla cosechada en 2002 en Montecillo, Estado de México. Se realizó en laboratorio utilizando la metodología propuesta por Delouche (1996), que consiste en someter las semillas a 45 ± 1 °C y 100% de humedad relativa por 72 h. Para ello se utilizaron cajas de plástico con dimensiones de 10.0 x 10.0 x 3.5 cm a las que se agregaron 40 mL de agua destilada y sobre su nivel se puso una malla de alambre en la que se colocaron 100 semillas por población. Después del proceso de envejecimiento, la semilla fue evaluada en una prueba estándar de germinación de acuerdo con las recomendaciones del ISTA (1999), excepto que se establecieron cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento y se realizó un solo conteo a los siete días. Los resultados fueron expresados en porcentaje de plántulas normales.

Emergencia en microtúnel. En una cama de arena se estableció un experimento teniendo como unidades experimentales hileras de 84 cm de longitud a 10 cm de separación. En cada hilera se sembraron 25 semillas por población de maíz a una distancia de 3.5 cm y 20 cm de

profundidad, usando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La cama de arena se cubría durante la noche con una capa de polietileno formando un microtúnel. Las variables evaluadas fueron: (1) Velocidad de emergencia, contabilizando diariamente el número de plántulas emergidas (plúmula visible) entre el sexto y décimo cuarto día después de la siembra, para posteriormente calcular el coeficiente de velocidad de emergencia mediante la expresión de Maguire (1962); (2) Germinación, considerando el porcentaje de plantas emergidas, así como de aquellas que no lograron emerger de la superficie 14 días después de la siembra pero que presentaron todas sus estructuras; (3) Longitud de mesocótilo y coleóptilo, midiendo estas estructuras (cm) en 10 plántulas tomadas al azar del total de aquellas germinadas por unidad experimental; (4) Peso seco de mesocótilo, coleóptilo y de raíz, separando estas estructuras en las 10 plántulas usadas para medir las variables anteriores y sometiéndolas a secado en una estufa a 70 °C por 72 h, para posteriormente pesarlas (g).

Evaluaciones en campo

Emergencia en campo. Las 28 poblaciones de maíz se sembraron en el año 2003 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, bajo riego y en la comunidad de Aranza, Michoacán bajo el sistema de humedad residual. En ambas localidades se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con una unidad experimental de dos surcos de 5 m de longitud y 80 cm de ancho. La siembra se realizó a una distancia de 50 cm, depositando tres semillas por golpe. En la localidad de Montecillo se contabilizó el número de plántulas emergidas diariamente a partir del noveno día (aparición de plúmulas visibles) hasta el décimo sexto día, con lo que se calculó la velocidad de emergencia (Maguire, 1962). En ambas localidades se contabilizó el establecimiento inicial (Montecillo al décimo sexto día y en Aranza al vigésimo primer día después de la siembra) y final (antes de la cosecha), expresándose en porcentaje.

Variables agronómicas, rendimiento y sus componentes

Variables fenológicas. Sólo en Montecillo, se registraron los días a floración masculina y femenina, contados a partir de la siembra hasta que 50% de las plantas de cada parcela dispersaron polen y mostraron estigmas

Cuadro 1. Origen, ciclos de selección y características físicas del grano de las 28 poblaciones de maíz.

Población/CSM	Localidad y municipio	Características físicas	
		Color	Textura de endospermo
Nativas de la Sierra Purépecha			
ST11	Aranza, Paracho	Amarillo	Semi cristalino
ST34	San Felipe de los Herreros, Charapan	Azul y rojo	Harinoso
ST36	San Felipe de los Herreros, Charapan	Crema	Semi cristalino
ST45	Quinceo, Paracho	Azul con crema	Harinoso
ST49	Quinceo, Paracho	Amarillo y azul	Semi cristalino
ST64	Zevina, Nahuatzen	Amarillo y azul	Cristalino
ST71	Pichátaro, Tingambato	Crema	Semi harinoso
ST76	Pichátaro, Tingambato	Crema	Cristalino
ST84	Pichátaro, Tingambato	Azul con rojo	Harinoso
ST86	Pichátaro, Tingambato	Morado rojizo	Harinoso
ST87	Pichátaro, Tingambato	Azul y rojo	Harinoso
ST101	Opopeo, Salvador Escalante	Crema con azul	Semi cristalino
ST111	San Gregorio, Salvador Escalante	Crema con azul	Semi cristalino
ST112	San Gregorio, Salvador Escalante	Crema	Cristalino dentado
Nativas del Valle de Chalco, Estado de México			
COL6542 7-CSM	Juchitepec, Juchitepec	Crema	Semi cristalino
COL6538 6-CSM	Cocotitlán, Cocotitlán	Crema	Semi harinoso
COL6524 8-CSM	Poxtla, Ayapango	Azul	Harinoso
COL6781 3-CSM	Tlapala, Chalco	Blanco	Semi harinoso
COL6542 8-CSM	Juchitepec, Juchitepec	Crema	Cristalino
COL6536 7-CSM	Ayapango, Ayapango	Crema	Semi harinoso
COL6784 2-CSM	Tlapala, Chalco	Crema-amarillo	Cristalino
COL6525 7-CSM	Tlapala, Chalco	Crema-amarillo	Cristalino
COL6538 7-CSM	Cocotitlán, Cocotitlán	Blanco	Semi harinoso
Nativas de otros estados			
Qro 21	Huimilpan, Querétaro	Crema-amarillo	Semi harinoso
Zac 66	Jerez de García Salinas, Zacatecas	Crema	Semi cristalino
Hgo 88	Tizayuca, Hidalgo	Crema-amarillo	Semi harinoso
Oax 39	Nochixtlán, Oaxaca	Crema	Semi harinoso
Compuesto Cajetes	Nochixtlán, Oaxaca	Crema	Cristalino

CSM= Ciclo de selección masal.

expuestos, respectivamente, y días a madurez fisiológica cuando 50% de las mazorcas mostraron la aparición de la capa negra en el pedicelo de la semilla.

Variables morfológicas. En ambas localidades se midieron la altura a la mazorca, a la hoja bandera y la altura total (m) en cinco plantas por parcela.

Rendimiento y sus componentes. En ambas localidades se midió la longitud y diámetro (cm) en cinco mazorcas por parcela, además se contabilizó el número de hileras. Se obtuvo el peso de 100 semillas (g) y rendimiento de grano (kg ha^{-1}) ajustado al 14% de humedad.

Análisis estadístico

Se efectuaron análisis de varianza y se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey (0.05) para comparar las medias de las poblaciones en cada una de las variables; para el análisis conjunto de las variables se utilizó la técnica de Análisis de Correlación Canónica (ACC), método apropiado para relacionar dos grupos de variables, en este caso entre variables de vigor inicial (VIGOR1) y de componentes de rendimiento de grano (COMREN1), identificando dos grupos de variables compuestas (variables canónicas) con la propiedad de que la primera correlación entre dichas variables sea máxima (correlación canónica) (Anderson, 2003). Las variables canónicas de cada grupo se generan mediante una combinación lineal que resume la información de las variables originales, en este caso las variables de calidad fisiológica (envejecimiento acelerado, microtúnel y establecimiento inicial) contra el rendimiento de grano y sus componentes. El análisis de correlación canónica se realizó con las medias de las variables estudiadas en ambas localidades, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del vigor inicial

Prueba de envejecimiento acelerado. En el análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para poblaciones en las variables evaluadas (datos no presentados). En la comparación de medias (Cuadro 2) se observa que la semilla de las poblaciones ST34, ST45 y ST111 mostraron reducido vigor, reflejado en sus bajos

porcentajes de plántulas normales (entre 20 y 31%) obtenidas después de la prueba de envejecimiento, valores entre los que se ubican también COL6536, COL6784 y Hgo 88. La prueba de envejecimiento es recomendada para distinguir lotes de buen vigor con alto potencial de establecimiento (Copeland, 1976; Baskin, 1981), así como para predecir el establecimiento en campo (Delouche, 1996; Egli y TeKrony, 1996).

Emergencia en microtúnel. Las poblaciones del Valle de Chalco presentaron un coeficiente de velocidad de emergencia de 11 a 17 plántulas por día, superior estadísticamente al de las poblaciones de la Sierra Purépecha ST45, ST64, ST87 y ST111 (con valores entre cinco y siete) y al de la población Oax 39 (con un valor de seis). El coeficiente del resto de las poblaciones de la Sierra Purépecha varió entre ocho y 11 días, que es estadísticamente igual al de las del Valle de Chalco (Cuadro 2). Para las poblaciones del Valle de Chalco y de otros estados, los altos coeficientes de velocidad de emergencia coinciden, en la mayoría de los casos, con altos valores en la longitud del mesocótilo, el cual oscila entre 14.56 y 17.81 cm, superior estadísticamente a la mayoría de las poblaciones de la Sierra Purépecha, excepto ST11, ST34 y ST112, con longitudes entre 14.74 y 15.94, estadísticamente iguales a las poblaciones del Valle de Chalco y de otros estados. El resto de las poblaciones de la Sierra Purépecha presentaron longitudes entre 13.13 y 14.16 cm (Cuadro 2). La longitud del coleóptilo no varió significativamente, solo ST111 con 19.50 cm, inferior al resto de las poblaciones evaluadas (datos no mostrados). En lo referente a peso seco de mesocótilo y coleóptilo, nuevamente todas las poblaciones del Valle de Chalco y otros estados fueron las más sobresalientes, con un peso entre 0.72 y 1.18 g para mesocótilo y con valores entre 2.93 y 5.08 g para coleóptilo, salvo la población Oax 39 con 0.63 g para peso de mesocótilo.

Las poblaciones de la Sierra Purépecha mostraron una mayor variación en ambas variables, destacando las poblaciones ST34, ST49, ST76, ST84 y ST86 con peso seco de mesocótilo de 0.64 a 0.73 g y las poblaciones ST11, ST76, ST84, ST86, ST87 y ST101 con peso de coleóptilo de 2.69 a 3.00 g. Gómez (1995) encontró longitudes de mesocótilo de poblaciones sobresalientes de maíz de 9 a 11 cm, inferiores al de las poblaciones sobresalientes observadas en el presente estudio. Esto se relaciona directamente con el sistema de siembra de humedad residual, ya

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables evaluadas en envejecimiento acelerado y microtúnel en poblaciones de maíz.

Población	Plántulas normales (%)	VE	LM (cm)	PSM (g)	PSC (g)
Nativas de la Sierra Purépecha					
ST11	63 a*	9 a	15.09 a	0.59 c	2.85 a
ST34	27 b	10 a	15.94 a	0.64 a	2.42 b
ST36	51 a	8 a	13.54 c	0.60 c	2.27 b
ST45	31 a	6 c	13.27 d	0.55 c	1.90 c
ST49	52 a	11 a	13.82 c	0.72 a	2.53 b
ST64	59 a	7 b	14.02 b	0.48 d	1.88 c
ST71	58 a	10 a	13.59 c	0.54 c	2.42 b
ST76	33 a	8 a	13.94 b	0.64 a	2.72 a
ST84	62 a	8 a	14.16 b	0.73 a	2.72 a
ST86	54 a	9 a	12.50 e	0.64 a	3.00 a
ST87	37 a	6 c	13.27 d	0.63 b	2.89 a
ST101	49 a	10 a	13.13 d	0.54 c	2.69 a
ST111	20 b	5 d	13.64 c	0.46 d	1.65 d
ST112	73 a	8 a	14.74 a	0.60 c	2.77 a
Nativas del Valle de Chalco					
COL6542	62 a	13 a	16.58 a	0.99 a	3.33 a
COL6538	31 a	11 a	16.98 a	0.98 a	4.54 a
COL6524	37 a	14 a	15.58 a	0.78 a	2.95 a
COL6781	57 a	16 a	17.81 a	1.14 a	5.08 a
COL6542	43 a	16 a	16.35 a	0.91 a	4.12 a
COL6536	22 c	17 a	17.30 a	1.18 a	4.73 a
COL6784	24 b	13 a	16.78 a	0.89 a	3.47 a
COL6525	36 a	16 a	16.40 a	0.85 a	3.85 a
COL6538	35 a	14 a	16.45 a	1.07 a	4.20 a
Nativas de otros estados					
Qro 21	45 a	16 a	16.87 a	0.75 a	3.78 a
Zac 66	63 a	16 a	16.44 a	0.72 a	3.59 a
Hgo 88	27 b	15 a	14.56 a	0.80 a	4.34 a
Oax 39	39 a	6 c	16.45 a	0.63 b	2.93 a
Compuesto Cajetes	53 a	15 a	15.70 a	0.81 a	3.89 a

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); VE= Velocidad de emergencia; LM= Longitud de mesocótilo; PSM= Peso seco de mesocótilo; PSC= Peso seco de coleóptilo.

que a profundidades considerables es indispensable que las plántulas presenten una buena longitud de mesocótilo, lo que contribuye a la emergencia (Turner *et al.*, 1982).

Considerando en su conjunto las variables anteriores, se puede resumir que las poblaciones del Valle de Chalco, las de otros estados, con excepción de Oax 39 y algunas de la Sierra Purépecha presentaron valores altos de plántulas normales, coeficiente de velocidad de emergencia, longitud y peso seco de mesocótilo. Todas estas variables indicativas de vigor son importantes en las etapas de germinación, emergencia y establecimiento de plántula. Perry (1981) y Cisse y Ejeta (2003) mencionan que la prueba de velocidad de emergencia es de las mejores para relacionar el vigor de la semilla con el establecimiento en campo. En este estudio se hizo evidente la contribución de la elongación y el peso seco del mesocótilo a la capacidad de emergencia a siembras profundas, cuyo principio fisiológico, de acuerdo con Copeland y McDonald (1995), se basa en que a mayor profundidad de siembra la semilla tiene que utilizar mayor cantidad de sustancias de reserva para la elongación de sus estructuras y poder emergir. Maiti (1986) y Maiti y Carrillo (1989) encontraron que la elongación del mesocótilo correlacionó positivamente con la capacidad de emergencia en genotipos de sorgo de mayores profundidades de siembra, lo que está relacionado con el vigor de plántulas. Estos resultados resaltan la conveniencia de utilizar poblaciones con capacidad de elongar su mesocótilo en los agroecosistemas de siembra para lograr una mejor emergencia.

Evaluaciones en campo

Emergencia en campo. El análisis de varianza mostró la existencia de diferencias significativas para velocidad de emergencia (F calculada= 47.75**) y establecimiento inicial (F calculada= 114.09**) entre poblaciones para el caso de Montecillo, pero no para Aranza (datos no presentados). Esto podría deberse a la falta de expresión completa del vigor de la semilla dada la presencia de la combinación de factores adversos como la falta de humedad y profundidad de siembra en esta última localidad, lo que no ocurrió en Montecillo dada la aplicación de riegos. Al respecto, Carvalho *et al.* (1997) observaron que cuando ocurre estrés a niveles considerados como “excesivos”, la emergencia de plántulas de soya fue independiente del vigor de la semilla; es decir, semillas con alto vigor pueden presentar poca o nula germinación, lo que posiblemente ocurrió en este estudio en maíz en la localidad de Aranza.

VARIABLES AGRONÓMICAS, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

En las variables agronómicas no se observaron diferencias estadísticas, con excepción de días a madurez fisiológica, donde las poblaciones del Valle de Chalco y otros estados, mostraron valores de 158 a 186 días, superiores estadísticamente a la mayoría de las poblaciones de la Sierra Purépecha, que tuvieron una variación entre 145 y 157 días, con excepción de ST71 con 168 y ST101 con 170 días a madurez fisiológica (datos no presentados).

En la localidad de Montecillo, se identificó una mayor variabilidad en la expresión del rendimiento en las poblaciones de la Sierra Purépecha, sobresaliendo ST49, ST84, ST86, ST87 y ST101 con rendimientos entre 1969 y 3000 kg ha⁻¹, siendo estadísticamente igual a los mostrados por la mayoría de las poblaciones del Valle de Chalco y las de otros estados, cuyo rendimiento varió entre 1662 y 4107 kg ha⁻¹. Las poblaciones de menor rendimiento fueron COL6781, COL6536 y Oax 39 con 1376, 1350 y 1042 kg ha⁻¹, respectivamente, y de la Sierra Purépecha ST36, ST64 y ST112 con rendimientos inferiores a 1000 kg ha⁻¹ (Cuadro 3).

Se observaron diferencias mínimas en longitud de la mazorca, sólo las poblaciones ST112 de la Sierra Purépecha y la COL6781 fueron estadísticamente inferiores con 11.2 y 12.08 cm, mientras que en el resto de las poblaciones la longitud fluctuó entre 12.70 y 17.09 cm. Para peso de 100 semillas el comportamiento fue similar al de rendimiento, sobresaliendo las poblaciones ST34, ST45, ST71, ST76, ST87 y ST101 con valores entre 30.0 y 32.91 g, siendo estadísticamente iguales a las poblaciones del Valle de Chalco con pesos entre 30.05 y 45.11 g y a Zac 66 (33.57 g) y Oax 39 (30.59 g); el peso de semilla de las poblaciones restantes fue estadísticamente inferior (29.85 g) (Cuadro 3). En consecuencia, se puede decir que la mejor adaptación en este ambiente de producción lo obtuvieron las poblaciones del Valle de Chalco, debido posiblemente a una mayor similitud del área de colecta o nicho de producción con el sitio experimental que las poblaciones de la Sierra. Aceves *et al.* (2002) observaron que las variedades criollas del Valle de Puebla adaptadas a su nicho ecológico superaron en rendimiento al híbrido (H-137) cuando las condiciones ambientales, principalmente sequía y daños por patógenos, afectaron en mayor grado al maíz mejorado.

Cuadro 3. Comparación de medias para rendimiento de grano y sus componentes para las poblaciones evaluadas en las localidades de estudio.

Población	Montecillo, Estado de México			Aranza, Michoacán		
	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de 100 semillas (g)	Rendimiento de grano (Kg ha ⁻¹)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de 100 semillas (g)
Nativas de la Sierra Purépecha						
ST11	1096 c*	13.92 a	29.85 b	3142 a	18.96 a	38.24 a
ST34	1261 b	14.75 a	30.98 a	2422 a	17.54 a	38.01 a
ST36	717 d	14.03 a	26.81 b	2920 a	17.63 a	36.32 a
ST45	1111 c	14.16 a	30.24 a	3398 a	18.50 a	35.18 a
ST49	2305 a	15.04 a	29.94 b	2276 a	17.49 a	33.32 a
ST64	897 d	12.70 a	20.06 c	2175 b	17.72 a	30.62 b
ST71	1314 b	14.41 a	31.10 a	2477 a	18.81 a	34.97 a
ST76	1536 b	15.97 a	30.09 a	876 g	19.07 a	34.93 a
ST84	1969 a	16.38 a	28.90 b	1905 d	19.86 a	35.05 a
ST86	2296 a	16.04 a	29.76 b	3174 a	16.41 a	44.14 a
ST87	1974 a	17.09 a	32.91 a	3267 a	20.85 a	41.41 a
ST101	3000 a	15.87 a	30.00 a	1992 c	18.08 a	30.12 b
ST111	1434 b	14.92 a	29.49 b	2278 a	19.30 a	37.93 a
ST112	991 c	11.22 c	26.40 b	1905 d	13.99 b	36.85 a
Nativas del Valle de Chalco, Estado de México						
COL6542	2101 a	13.20 a	33.91 a	1112 f	16.48 a	35.31 a
COL6538	2249 a	13.23 a	40.00 a	1324 e	15.02 a	40.77 a
COL6524	1662 a	13.75 a	35.78 a	1924 d	15.78 a	36.00 a
COL6781	1376 b	12.08 b	40.37 a	1976 d	13.41 c	41.03 a
COL6542	2489 a	15.13 a	33.32 a	1348 e	16.14 a	37.91 a
COL6536	1350 b	12.73 a	38.77 a	2038 c	17.73 a	45.18 a
COL6784	2890 a	14.18 a	41.03 a	953 g	16.56 a	41.06 a
COL6525	3111 a	14.81 a	35.80 a	1098 f	16.76 a	38.57 a
COL6538	2226 a	13.85 a	45.11 a	1487 e	15.05 a	44.44 a
Nativas de otros estados						
Qro 21	2164 a	13.13 a	29.20 b	1929 d	16.85 a	32.03 a
Zac 66	3724 a	15.63 a	33.57 a	2225 a	16.81 a	33.09 a
Hgo 88	4107 a	16.41 a	29.88 b	2462 a	16.91 a	31.35 a
Oax 39	1042 c	12.96 a	30.39 a	512 h	14.69 b	24.59 d
Compuesto						
Cajetes	2499 a	13.91 a	30.05 a	2882 a	16.85 a	27.14 c

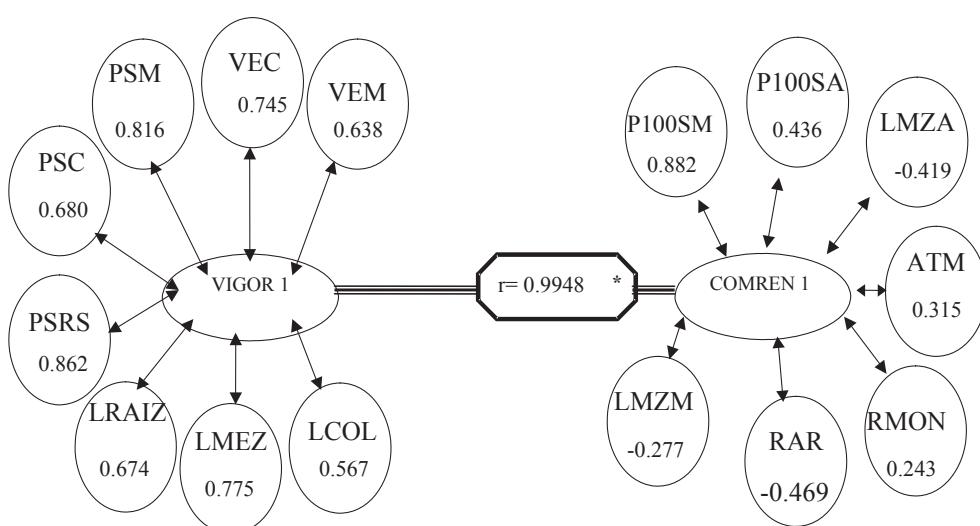
* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la localidad de Aranza el rendimiento de la mayoría de las poblaciones de la Sierra Purépecha fue estadísticamente superior (de 2276 a 3398 kg ha⁻¹) al de las poblaciones del Valle de Chalco y de otros estados, cuyo rendimiento varió de 512 a 2038 kg ha⁻¹, excepto las poblaciones Compuesto Cajetes, Zac 66 y Hgo 88 con rendimientos estadísticamente iguales a las sobresalientes de la Sierra Purépecha (Cuadro 3). Existieron muy pocas diferencias en longitud de la mazorca, únicamente las poblaciones ST112, COL6781 y Oax 39 fueron estadísticamente inferiores con 13.99, 13.41 y 14.69 cm, respectivamente, mientras que para el resto, la longitud fluctuó entre 15.02 y 20.45 cm. El peso de 100 semillas tuvo un comportamiento similar, siendo únicamente inferiores en las poblaciones ST64, ST101, Compuesto Cajetes y Oax 39 con 30.62, 30.12, 27.14 y 24.59 g, respectivamente. Este comportamiento superior de las poblaciones de la Sierra Purépecha con respecto a las del Valle de Chalco, posiblemente obedece a una mayor adaptación a los cambios climáticos prevalecientes en su nicho ecológico y para el que los productores han seleccionado a través de generaciones. De manera general se puede decir que las poblaciones tuvieron su mejor expresión en la zona donde se originaron (Cuadro 3), mostrando estabilidad en cuanto a las variables evaluadas las poblaciones ST49, ST86, ST87, Hgo 88, Compuesto Cajetes y Zac 66, ya que su comportamiento estuvo entre los mejores en ambos ambientes de producción.

Los resultados indican que los efectos del vigor de la semilla en condiciones de campo están influenciados por el ambiente de producción de las poblaciones y aunque no se encontraron diferencias en la mayoría de las variables agronómicas, las mejores respuestas de las poblaciones pueden atribuirse a su capacidad para aprovechar el régimen de precipitación específico y otros factores ambientales como tipo y fertilidad del suelo, temperaturas y manejo agronómico. Lo anterior sustenta lo señalado por Romero *et al.* (2002), quienes indican que los materiales criollos se expresan mejor en condiciones de su propio nicho ecológico. En este sentido, es recomendable incorporar como criterios de selección, además de las características de producción en campo, como rendimiento de grano, variables de establecimiento inicial, las cuales pueden servir como criterios auxiliares en la selección de poblaciones con mayor estabilidad y vigor para diversos ambientes de producción.

Análisis de correlación canónica

La correlación entre las dos primeras variables canónicas (VIGOR1 y COMREN1) fue estadísticamente significativa ($p < 0.0315$), con un valor de $r = 0.994$, demostrando que los diferentes componentes de vigor están relacionados de manera global con el rendimiento de grano y sus componentes (Figura 1).



VEM= Velocidad de emergencia en microtúnel; VEC= Velocidad de emergencia en campo; PSM= Peso seco de mesocótilo; PSC= Peso seco de coleóptilo; PSRS= Peso seco de raíz; LRAIZ= Longitud de raíz; LMEZ= Longitud de mesocótilo; LCOL= Longitud de coleóptilo; COMREN= Componentes de rendimiento; P100SM= Peso de 100 semillas Montecillo; P100SA= Peso de 100 semillas Aranza; LMZA= Longitud de mazorca Aranza; LMZM= Longitud de mazorca Montecillo; ATM= Altura total Montecillo; RMON= Rendimiento Montecillo; RAR= Rendimiento Aranza; * Correlación significativa al 5%.

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 1 se observa que para la variable canónica VIGOR1 las variables con mayor influencia fueron, velocidad de emergencia en campo, peso seco de mesocótilo, peso seco de raíz y longitud del mesocótilo. Para la variable COMREN1 fue el peso de 100 semillas en Montecillo, principalmente y en menor grado peso de 100 semillas Aranza, rendimiento Aranza y longitud de mazorca Aranza.

En la Figura 2, la representación de características de vigor y de rendimiento de grano y sus componentes, presenta un patrón definido de distribución de las poblaciones; las del Valle de Chalco y otros estados, se ubican principalmente en el cuadrante I, que corresponde a valores positivos de VIGOR1 y COMREN1; por otra parte, las de la Sierra Purépecha se ubican principalmente en el cuadrante III, correspondiente a valores negativos de VIGOR1 y COMREN1, las variables como velocidad de emergencia, peso seco de mesocótilo y coleóptilo, longitud del mesocótilo y coleóptilo, así como peso de 100 semillas determinaron, por su peso relativo, la ubicación y mayor vigor del grupo de poblaciones del Valle de Chalco, es decir, a medida que una población presenta mayor expresión en las características anteriores, su comportamiento en campo será mejor, lo que está de acuerdo con Delouche y Baskin (1973), quienes las caracterizan como las más apropiadas para medir el vigor porque éste se observa fácilmente durante la emergencia.

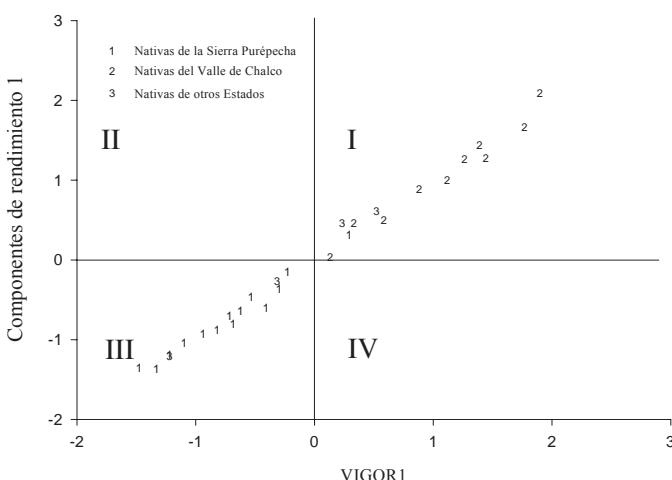


Figura 2. Representación de los valores de las dos primeras variables canónicas, obtenidas de 12 variables de vigor inicial y 13 de componentes de rendimiento.

Es importante mencionar que una situación ilustrativa sobre la dinámica de integración de las variables canónicas, la constituyen las variables originales de rendimiento en Montecillo y Aranza, pues los grupos de poblaciones del Valle de Chalco y de la Sierra Purépecha tuvieron doble oportunidad de diferenciarse, dado que en cada una de las localidades el grupo nativo correspondiente se mostró superior a su contraparte introducida, mostrando de manera nítida una gran interacción genotipo x ambiente. Bajo este panorama, los rendimientos de las localidades tomaron signo contrario en la definición de la variable COMREN1, lo cual no implica que alguno de los grupos de poblaciones sea mejor que el otro desde un punto de vista agronómico, pues cada cual sobresale en su propia condición; más bien, COMREN1 pudiera visualizarse como una variable integradora, con capacidad de separar grupos de poblaciones por sus características intrínsecas, tal como se ilustra en la Figura 2.

En la prueba de microtúnel, la profundidad de siembra fue importante para medir la capacidad de emergencia de plántulas, la cual está relacionada con la longitud del mesocótilo; a siembras profundas y como lo mencionan Milthorpe y Moorby (1982), es mayor la asignación de sustancias de reserva para este crecimiento, es por ello que las poblaciones que mostraron capacidad para emerger de la mayor profundidad de siembra tuvieron mesocótilos largos y cortos las que no lograron emerger. Nóbrega (1993), por su parte, menciona que en plantas de soya la emergencia a siembras profundas en semillas de bajo vigor, la cantidad de energía disponible es menor que en las de alto vigor; esto indica claramente que el alargamiento del mesocótilo está relacionado con la emergencia de la plántula.

Las poblaciones de la Sierra Purépecha usadas en este estudio no han sido sometidas a un sistemático mejoramiento genético y es de esperarse que tomando en cuenta las características de longitud y peso seco de mesocótilo puedan seleccionarse poblaciones con alto vigor. Éste redundará en un buen establecimiento en campo y como consecuencia en un mayor rendimiento de grano en las regiones donde se utiliza el sistema de siembra de humedad residual, por lo que la capacidad de establecimiento de los cultivos se convierte en una limitante considerable que afecta el rendimiento.

CONCLUSIONES

Las poblaciones del Valle de Chalco y otros estados, en general, fueron superiores en vigor a las de la Sierra Purépecha, mostrando valores más altos en variables como velocidad de emergencia, peso seco de mesocótilo, longitud de mesocótilo y coleóptilo, variables que pueden considerarse como índices del vigor inicial y calidad fisiológica de la semilla.

Las poblaciones del Valle de Chalco tuvieron un mejor rendimiento de grano en Montecillo y las de la Sierra Purépecha en Aranza, esto es, en el ambiente donde han sido sometidas de manera recurrente a selección por los agricultores o fitomejoradores.

Se encontró una correlación positiva entre las variables de vigor con el rendimiento de grano y sus componentes. Las variables mejor correlacionadas con el vigor fueron velocidad de emergencia, longitud y peso seco de mesocótilo y, con el rendimiento de grano, el peso de 100 semillas.

LITERATURA CITADA

- Aceves R., E.; Turrent F., A.; Cortés F., J. I. y Volke H., V. 2002. Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el Valle de Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):339-347.
- Albuquerque, M. C. and Carvalho, N. M. 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower *Helianthus annus* L., soybean *Glycine max* L. Merril and maize *Zea mays* L. seeds with different levels of vigor. *Seed Sci Technol.* 31(2):465-479.
- Allan, R. E.; Vogel, O. A. and Peterson, C. J. 1962. Seedling emergence rates of fall-sown wheat and its association with plant height and coleoptile length. *Agron. J.* 54(4):347-350.
- Anderson, T. W. 2003. An introduction to multivariate statistical analysis. 3rd ed. Wiley-Interscience. New York, USA. 752 p.
- Baskin, C. C. 1981. Accelerated aging test. In: Perry, D. A. (ed.). *Handbook of Vigour Test Methods*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. p. 43-48.
- Brooking, I. R. 1990. Variation amongst races of maize from Mexico and Peru for seedling emergence time at low soil temperatures. *Maydica* 35:35-40.
- Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). 1982. Marco de referencia de la producción de maíz en la Mesa Central de México (Síntesis). Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, Campo Agrícola Experimental Valle de México. Grupo Interdisciplinario de Maíz. Chapingo, Estado de México, México. 27 p.
- Carvalho, N. M.; Albuquerque F, M. C. and Paolinelli, G. P. 1997. Effects of the stress type on the germinative performance of soybean seeds of different vigor levels. *Inf. ABRATES* 7:168.
- Cisse, N. and Ejeta, G. 2003. Genetic variation and relationships among seedling vigor traits in sorghum. *Crop Sci.* 43(3):824-828.
- Collins, G. N. 1914. A drought resisting adaptation in seedling of Hopi maize. *J. Agric. Res.* 1:293-302.
- Copeland, L. O. 1976. *Principles of seed science and technology*. Burgess Publishing. Michigan State University. Minnesota, USA. 369 p.
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. *Principles of seed science and technology*. 3rd ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Delouche, J. C. 1996. Accelerated aging test. AOSA Meeting. College of Agriculture. University of Kentucky, Lexington, KY. USA.
- 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.
- Egli, D. B. and TeKrony, D. M. 1996. Seedbed conditions and prediction of field emergence of soybean seed. *J. Prod. Agric.* 9:365-370.
- Escobar D., A. 1996. *Regiones agrícolas de Michoacán*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Publicaciones. Centro Regional Universitario Centro Occidente. Chapingo, México. 22 p.
- Finch-Savage, W. E. 1995. Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In: Basra, A.S. (ed.). *Seed quality: Basic mechanisms and agricultural implications*. Food Products Press. New York, USA. p. 361-384.
- Gómez E., M. E. 1995. Estudio de la velocidad de germinación y crecimiento en variedades de maíz (*Zea mays* L.) de diferente ciclo vegetativo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México, México. 92 p.
- Helms, T. C.; Deckard, E. L. and Gregoire, P. A. 1997. Corn, sunflower, and soybean emergence influenced by soil temperature and soil water content. *Agron. J.* 89:59-63.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1987. *Síntesis geográfica, nomenclator y*

- anexo cartográfico del Estado de México. México, D. F. 223 p.
- International Seed Testing Association. (ISTA). 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 27 Supplement: 27-31.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Maiti, R. K. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Marín, Nuevo León, México. 419 p.
- Maiti, R. K. and Carrillo G., M. de J. 1989. Effect of planting depth on seedling emergence and vigor in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Seed Sci. Technol.* 17(1):83-90.
- Martin, J. H.; Taylor, J. W. and Leukel, R. W. 1935. Effect of soil temperature and depth of planting on the emergence and development of sorghum seedlings in the greenhouse. *J. Am. Soc. Agron.* 27:660-665.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 202 p.
- Nóbrega, L. H. P. 1993. Hydric stress effects on seed germination and initial seedlings growth of some soybean cultivars. Master Thesis. Universidad Estatal Paulista. Jaboticabal, Brazil. 165 p.
- Perry, D. A. 1981. Seedling growth and seedling evaluation tests. In: Basra, A.S. (ed.). *Handbook of vigour test methods*. Perry, D. A. (ed.). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. p. 10-20.
- Romero P., J. 1996. La Producción de maíz: La producción agropecuaria y forestal de la Sierra Purépecha, Michoacán. Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Occidente. Morelia, Michoacán, México. p. 101-135.
- Romero P., J.; Castillo G., F. y Ortega P., R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):107-115.
- Statistical Analysis System Institute. (SAS Institute). 1999. SAS System for windows. Version 8.0. Cary, N.C. USA.
- Tillman, M. A.; Piana, Z. and Cavariani, C. 1994. Effects of sowing depth on tomato seedling emergence. *Sientia Agricola* 51:260-263.
- Turner, F. F.; Chen, C. C. and Bollich, C. N. 1982. Coleoptile and mesocotyl lengths in semidwarf rice seedling. *Crop Sci.* 22:43-46.
- Vasal, S. K.; Srinivasan, G.; Vergara, A. y Castillo, G. F. 1995. Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de maíz de Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 18(2):123-139.