

ÍNDICE DE VELOCIDAD DE EMERGENCIA EN LÍNEAS DE MAÍZ*

SPEED OF EMERGENCE OF INBRED MAIZE LINES

Juan Martínez Solís¹, Juan Virgen Vargas^{2§}, Margarita Gisela Peña Ortega¹ y Alejandro Santiago Romero¹

¹Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9521500. Ext. 6368 y 6260. (juanmtz91@hotmail.com). ²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km. 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212738. Ext. 194. (mgise@excite.com). [§]Autor para correspondencia: jvirgen_vargas@hotmail.com.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue establecer una clasificación sobre el vigor de semillas mediante los índices de velocidad de emergencia y germinación en líneas de maíz, utilizando cuatro tamaños de muestra. El experimento se realizó en el laboratorio de semillas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron semillas de líneas de maíz proporcionados por el programa de producción de semillas del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Se efectuaron pruebas de emergencia en arena, germinación estándar y envejecimiento acelerado bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones de 25, 50, 75 y 100 semillas. En cada prueba se evaluó el índice de velocidad de germinación y emergencia, longitud, peso seco de la parte aérea y radícula, porcentaje de germinación y emergencia. Se hizo análisis de varianza, comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) y prueba de correlación de Pearson. Para la identificación de líneas de maíz con alto vigor, con los tamaños de muestra estimados, en la prueba de arena se proponen como índices de velocidad de emergencia valores superiores a 3, 6, 10 y 13; en la prueba de germinación estándar y de envejecimiento acelerado, se proponen valores superiores a 7, 14, 21 y 28, y como índices de velocidad de germinación valores de 9, 18, 31 y 42.

Palabras clave: *Zea mays* L., líneas endogámicas, tamaño de muestra, vigor de semilla.

ABSTRACT

The purpose of this study was to define a classification on the vigor of seeds, using the maize line emergence and germination speed rates, using four sample sizes. The experiment was carried out in the seeds laboratory of the Plant Breeding Department of the Chapingo Autonomous University. Line and hybrid maize seeds were used, provided by the Seeds Production Program of the Valley of Mexico Experimental Center, of the National Forestry, Agriculture and Livestock Institute. Emergence in sand, standard germination and accelerated aging were tested, using a complete cluster design at random, with four repetitions of 25, 50, 75 and 100 seeds. In each test, the germination and emergence were evaluated, along with length, dry weight of the aerial and radicle sections, and percent age of germination and emergence. A variation analysis, Tukey test for comparing averages ($p \leq 0.05$) and Pearson correlation test were carried out. To identify the maize lines with higher vigor using the estimated sample sizes, values above 3, 6, 10 and 13 are suggested as emergence rates in the sand test; in the standard germination and acceleration tests, values above 7, 14, 21 and 28 are suggested, and as germination rates, values of 9, 18, 31 and 42.

Key words: *Zea mays* L., endogamous lines, sample size, seed vigor.

* Recibido: noviembre de 2009
Aceptado: julio de 2010

INTRODUCCIÓN

En la industria de las semillas el porcentaje de germinación, es el parámetro más importante para evaluar los lotes de producción de semilla, ya que este valor es utilizado para la certificación y comercialización del producto como punto de referencia de la calidad del lote en cuestión. Las pruebas de germinación se hacen normalmente bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, motivo por el cual muchas veces los resultados de estas pruebas no corresponden a los resultados obtenidos en campo; de esta forma, se ha optado por implementar paralelamente a la germinación, pruebas de vigor para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica de un lote de semillas.

En la agricultura, la calidad de semilla es un componente básico para obtener una mayor eficiencia productiva (Andrade, 1992). La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002).

La ISTA (1976) define el concepto de vigor, como la capacidad de la semilla para producir, en forma rápida y uniforme, plántulas normales en condiciones específicas; donde la capacidad depende del estado bioquímico, amplitud de reservas nutritivas y constitución genética de las semillas (Besnier, 1989). Es posible notar que dentro de los factores que están involucrados en el origen y causas del vigor de la semilla se pueden considerar dos grupos: a) origen genético o endógeno a la planta o semilla; y b) origen ambiental o exógeno que inciden desde el lote de producción hasta posteriores a la cosecha (Villaseñor, 1984).

Se han propuesto diversas pruebas para evaluar el vigor y por razones de operatividad, eficacia y costo, una prueba de vigor debe ser barata, sencilla, cuantitativa, reproducible y correlacionada con la emergencia en campo de la semilla (McDonald, 1980). Las pruebas de vigor se dividen en dos tipos: a) directas, las cuales se simulan las condiciones donde pasan las semillas en el campo, con la ventaja que se evalúan todos los factores que afectan el vigor; y b) indirectas, que miden atributos fisiológicos de la semilla y son medidos en el laboratorio y relacionado con el establecimiento en campo (Copeland, 1976).

INTRODUCTION

In the seeds industry, the percentage of germination is the most important parameter for evaluating the seed production lots, since this value is used for the certification and commercialization the product, as a reference for the quality of the lot. The germination tests were carried out under a favorable temperature and humidity conditions, which explains why often the results for these tests do not correspond to the results obtained in field. For this reason, alongside the germination, it was selected to implement vigor tests to give comprehensive verdicts on the physiological quality of a seeds lot.

In agriculture, seed quality is a basic component to obtain a better productive efficiency (Andrade, 1992). Seed quality is a standard of excellence or an attribute that can determine the performance of the seed when planted or stored. The quality components of the seed can be grouped in categories, mentioning the description, hygiene and performance potential; the last one takes into account vigor and germination (Hampton, 2002).

ISTA (1976) defines the concept of vigor as the capability of the seed to produce, in a quick and uniform manner, normal plantlets under specific conditions; where capability depends on the biochemical state, amount of nutritional reserves and the genetic makeup of the seeds (Besnier, 1989). Within the factors involved in the origin and causes of seed vigor, two groups can be identified: a) genetic or endogenous origin of the plant or seed; and b) environmental or exogenous origin that have an influence from the production lot to post-harvest (Villaseñor, 1984).

Several tests are proposed for the evaluation of vigor, yet for operability, efficiency and cost purposes, a vigor test must be inexpensive, simple, quantitative and reproducible and correlated to the emergence on the field of the seed (McDonald, 1980). Vigor tests are divided in two types: a) direct, which simulate field conditions, with the advantage of evaluating all the factors that affect vigor; and b) indirect, which measure physiological attributes of the seed in the lab and relates them with the establishment on the field (Copeland, 1976).

The test for emergence speed proposed by Maguire (1962), in which there is a count of the number of days for emergence to establish an index, it helps to obtain better vigor estimations for the plantlets to be used in genetic improvement programs, since it has been proven that plantlets with better vigor have acceptable characteristics for foliar area, dry weight and root length.

La prueba de velocidad de emergencia propuesta por Maguire (1962), en donde se cuenta el número de días que emergieron para establecer un índice, el cual permite obtener mejores estimadores de vigor de las plántulas para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético, ya que se ha demostrado que plántulas con mejor vigor poseen características aceptables de área foliar, peso seco y longitud de raíz.

Vargas (1996) estimó el índice de velocidad de emergencia (IVE), en los híbridos de maíz H-30, H-36E, H-38E y sus respectivas líneas y cruza simples progenitoras; propuso una escala donde un índice superior a tres caracterizaba un vigor de intermedio a alto; sugirió que el uso de esta escala para la clasificación del vigor pueden ser útil dentro de un esquema de hibridación para seleccionar líneas con alto y medio vigor, debido que presentaron correlación positiva con variables como porcentaje de germinación y emergencia, así como peso seco de plántula.

Sin embargo, no existen valores estandarizados que permitan comparar entre diferentes tamaños de muestra para definir si la semilla tiene alto o bajo vigor, motivo por lo cual se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue proponer valores de índices de velocidad de emergencia y germinación que se asocien al vigor adecuado de semillas en líneas de maíz (*Zea mays* L.) en cuatro tamaños de muestra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de semillas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Se utilizaron cuatro cruza simples y sus líneas progenitoras de híbridos comerciales y experimentales de maíz de Valles Altos. La semilla de los materiales fue proporcionada por el programa de semillas del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y se muestran en el Cuadro 1. Con una máquina de aire y zarandas de perforación redonda de 7 mm, marca Kamas, se hizo una clasificación previa por tamaño de semilla en todos los genotipos. Con la semilla de tamaño uniforme se establecieron tres pruebas de vigor.

Prueba de emergencia. La siembra se realizó en charolas de plástico de 34*28*15 cm, se usó peat-moss como sustrato; se sembró a dos centímetros de profundidad y un centímetro

Vargas (1996) estimated the emergence rate (IVE) for maize hybrids H-30, H-36E, H-38E and their respective simple parent lines and breeds; he proposed a scale in which a rate of over three stood for an intermediate to high rate; he suggested that this way of classifying vigor can be useful in a breeding scheme to select lines with high and low vigor, due they presented a positive correlation with variables such as percentage of germination and emergence, and also dry weight of the plantlet.

However, there are no standard values that help compare sample sizes to determine the seed's vigor, reason why this investigation was conducted to propose values for emergence and germination speed rate that relate to the adequate vigor of the seeds in maize (*Zea mays* L.) lines, in four sample sizes.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in a seeds laboratory in the Plant Breeding Department of the Chapingo Autonomous University (UACH). Four simple breeds were used, along with their parent lines of commercial and experimental Height Valley maize hybrids. The seeds were provided by the Seeds Production Program of the Valley of Mexico Experimental Center (CEVAMEX), of the National Forestry, Agriculture and Livestock Institute (INIFAP), and they are

Cuadro 1. Origen y nivel de endogamia de líneas progenitoras de los híbridos de maíz H-34, H-36E, H-38E y H-40 para Valles Altos.

Table 1. Origin and level of endogamy for parent lines of maize hybrids H-34, H-36E, H-38E and H-40 for Height Valleys.

Número	Genotipo	Origen SL-02	Nivel de endogamia
1	Línea ♀♀ H-40	25 #	S ₇
2	Línea ♂♀ H-40	Lote PL	S ₇
3	Línea ♂♀ H-36E	16#	S ₄
4	M-27	7#	S ₁
5	H-38E	17#	S ₄
6	M-28	8#	S ₃
7	♀♀ H-36E	15#	S ₅
8	♂♀ H-38E	18#	S ₄
9	CS♀ H-40	Lote 1♀	
10	H-38E	18*17	
11	H-36E	15*16	
12	H-34	8*7	

#= cruzamiento fraternal de medios hermanos; PL= polinización libre; ♀= hembra; ♂= macho.

de distancia entre surcos y plantas, se aplicaron riegos homogéneos durante quince días de prueba a temperatura promedio de 18 a 20 °C en el laboratorio.

Prueba de germinación estándar. Se realizó una prueba de germinación estándar “entre papel” (ISTA, 1976). Se sembraron 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras, en dos toallas previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana y posteriormente se cubrieron con otras dos toallas húmedas y se enrollaron en forma de “taco”, los cuales se introdujeron en una cámara germinadora Seedburo a 25 °C por seis días.

Prueba de envejecimiento acelerado. Se realizó con la modificación a la prueba original propuesta por Rincón (1989). Las semillas se sometieron a temperatura de 42 °C \pm 1 °C y 100% de humedad relativa durante 96 h, en una cámara germinadora marca Seedburo; para ello las semillas se colocaron en cajas sandwicheras de 11*11*3.5 cm, con 70 ml de agua destilada y una malla de alambre galvanizado colocada en la parte media de la caja, sobre estas se colocaron las semillas evitando el contacto entre ellas. Las cajas se sellaron con cinta “adhesiva” y se introdujeron en la cámara germinadora previamente calibrada a la temperatura requerida. Después de 48 h, las semillas fueron extraídas y se llevó a cabo la prueba de germinación estándar.

Para cada tamaño de muestra se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones de 25, 50, 75 y 100 semillas. De cada genotipo se obtuvieron cuatro muestras uniformes; en cada una de las pruebas se evaluaron las siguientes variables.

Índice de velocidad de emergencia (IVE). Se llevaron a cabo conteos diarios del número de plántulas emergidas, considerando como primer día aquél en que se observó la primera plántula emergida; el final del conteo fue a quince días después del establecimiento del experimento. El IVE se calculó de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962).

Índice de velocidad de germinación (IVG). Se realizaron conteos diarios del número de semillas germinadas, considerando semillas con la radícula brotada. El cálculo del IVG se hizo de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962).

Porcentaje de germinación (PG). Al final de la prueba se dividió el número total de plántulas germinadas entre el número total de semillas.

shown in Table 1. Using an air-blowing machine and Kamas brand sieves with round, 7 mm perforations and a previous classification was made by seed size in all genotypes. Three vigor tests were carried out with evenly-sized seeds.

Emergence test. Seeds were planted in plastic trays 34*28*15 cm plastic trays, using peat-moss as a substrate; they were placed in 2 cm deep holes, and with 1 cm between furrows and plants. Homogenous irrigation was applied during 15 days, at an average temperature of 18 to 20 °C in the laboratory.

Standard germination test. A standard germination test was carried out “among paper” (ISTA, 1976). Twenty five seeds were planted, distributed in five columns and five rows, in two paper towels, previously dampened with distilled water on a flat surface and then covered with two other damp paper towels, which were then rolled up and placed in a Seedburo germination chamber at 25 °C for six days.

Accelerated aging test. This was done with the modification to the original test by Rincón (1989). Seeds were placed in an environment with a temperature of 42 °C \pm 1 °C and 100% of relative humidity during 96 h, in a Seedburo germination chamber. The seeds were previously placed in sandwich boxes measuring 11*11*3.5 cm, with 70 ml of distilled water and a galvanized wire mesh in the middle of the box. On top of these, the seeds were placed, avoiding contact between them. The boxes were sealed with sticky tape and placed in the germination chamber, pre-heated to the required temperature. After 48 h, the seeds were removed and the standard germination test was carried out.

For each sample size, complete cluster experimental design at random was used, with four repetitions of 25, 50, 75 and 100 seeds. Four even samples were obtained from each genotype; in each of the samples, the following variables were evaluated.

Emergence rate (IVE). The plantlets that emerged every day were counted, considering as day one the day in which the first plantlet to emerge was observed; count ended 15 days after the experiment was set up. The IVE was calculated according to the proposal made by Maguire (1962).

Germination rate (IVG). The amount of seeds that germinated every day were counted, considering seeds with a sprouted radicle. IVG was calculated according to the proposal made by Maguire (1962).

Porcentaje de emergencia (PEM). Al final de la prueba se dividió el número total de plántulas emergidas entre el número total de semillas.

Longitud de la parte aérea (LPAE). Se tomó 40% de las plántulas de cada repetición al azar, de las cuales se midió en centímetros la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja.

Longitud de raíz (LRE). Se midió la longitud de raíz en centímetros de 40% de las plántulas de cada repetición tomadas al azar, considerando desde el cuello de la raíz hasta la punta de la misma.

Peso seco de plántula (PSPE). Se utilizaron las mismas plantas que se emplearon para medir la longitud de plántula, las cuales se colocaron en una estufa a 80 °C durante 72 h; al final de este periodo se determinó en una báscula de precisión el peso seco en gramos.

Con el programa SAS versión 8.0, los datos obtenidos de las pruebas se sometieron a una comparación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey ($p=0.05$), y se obtuvieron los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas. Los valores obtenidos en porcentaje fueron transformados mediante la función arco seno (Steel y Torrie, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cada prueba hubo genotipos con resultados constantes para muestras de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición; los valores fueron diferentes debido que el tamaño de muestra así lo define, pero también entre pruebas los índices variaron, debido que cada una se llevó bajo una metodología particular y los criterios de evaluación también provocaron diferencias.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 2), mostraron efecto significativo para genotipos en los cuatro tamaños de muestra, para el índice de velocidad de emergencia (IVE), longitud de la parte aérea en emergencia (LPAE), longitud de radícula en emergencia (LRE), peso seco en emergencia (PSPE), índice de velocidad de germinación (IVG), longitud de la parte aérea en germinación (LPAG), longitud de la radícula en germinación (LRG), peso seco en germinación (PSG), índice de velocidad de germinación con envejecimiento acelerado (IVGEA), longitud de parte aérea en envejecimiento acelerado (LPAEA) y longitud de radícula en envejecimiento acelerado (LREA).

Percentage of germination (PG). At the end of the test, the total number of germinated plantlets was divided by the total number of seeds.

Percentage of emergence (PEM). At the end of the test, the total number of plantlets emerged was divided by the total number of seeds.

Length of aerial section (LPAE). Forty percent of the plantlets of each repetition were taken at random, the aerial section of which was measured in centimeters, from the neck of the root to the apex of the last leaf.

Root length (LRE). Forty percent of the plantlets of each repetition were taken at random, and their roots measured in centimeters, from the neck to the tip.

Plantlet dry weight (PSPE). The same plantlets we had measured were also used for this variable. There were placed in a heater at 80 °C during 72 h; at the end of this period, the dry weight in grams was determined using a precision scale.

Using the program SAS version 8.0, the data obtained from the tests were compared according to Tukey's range test ($p=0.05$), and the correlation coefficients were obtained for the variables studied. The values found as percentages were transformed using the arcsin function (Steel and Torrie, 1985).

RESULTS AND DISCUSSION

Each test contained genotypes with constant results for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition. Values varied due to sample sizes, although rates varied between tests, due to each one being performed using particular methods, and evaluation criteria also caused differences.

The variance analysis results (Table 2) showed a significant effect for genotypes in the four sample sizes, for emergence rate (IVE), length of the aerial section in emergence (LPAE), root length in emergence (LRE), plantlet dry weight in emergence (PSPE), germination rate (IVG), length of aerial section in germination (LPAG), length of root in germination (LRG), dry weight in germination (PSG), germination rate in accelerated aging (IVGEA), length of aerial section in accelerated aging (LPAEA) and root length in accelerated aging (LREA).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de cinco variables evaluadas en 12 genotipos de maíz con cuatro tamaños de muestra para pruebas de emergencia, prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado.
Table 2. Mean squares of the variance analysis of five variables evaluated in 12 maize genotypes with four sample sizes for emergence, standard and accelerated aging germination tests.

FV	Germinación estándar										Envejecimiento acelerado									
	IVE	LPAE	LRE	PEM	PSPE	IVG	LPAG	LRG	PG	PSPG	IVGEA	LPAEA	LREA	PGEA	PSPEA					
25 semillas																				
Gen	0.5**	27.3**	100.5**	183.5	0.03**	0.7**	10.1**	39.9**	20.9	0.02**	13.8**	19.5**	18.4**	72.4	0.03					
CV	4.8	11.6	5.6	7.8	5.8	3.7	9.4	16.0	4.4	11.3	11	15.6	14.3	6.1	27					
\bar{X}	3.3	13.4	28.9	82.5	0.7	7.2	10.9	12.8	88.3	0.5	11	12.3	10.0	85.7	0.4					
50 semillas																				
Gen	2.06**	31.6**	111.3**	165.2**	0.03**	2.3**	8.8**	36.3**	40.1	0.02**	57.4**	18.8**	15.2**	34.4	0.04**					
CV	2.1	11.	7.3	6.0	4.4	3	7.	15.8	4.7	9.1	5.8	10.8	9.5	6.6	15.3					
\bar{X}	6.7	13.6	29.3	80.9	0.7	14.4	10.9	12.6	86.8	0.5	22.1	12.5	10	83.5	0.4					
75 semillas																				
Gen	4.7**	28.8**	108.8**	155.1**	0.03**	5.06**	8.6**	34.1**	46.2	0.02**	128.2**	16.8**	15.6**	41.6	0.04					
CV	2.26	8.51	5.14	4.45	3.25	1.95	5.3	9.3	4.2	6.25	4	7.02	6.59	4.33	9.7					
\bar{X}	10.1	13.7	29.2	80.2	0.7	21.6	10.8	12.5	86.19	0.56	33.37	12.39	10.05	83.41	0.48					
100 semillas																				
Gen	8.2**	31.6**	111.3**	149.5**	0.03**	9.3**	8.9**	36.7**	46.1**	0.02**	229.8**	18.8**	15.2**	26.9	0.04**					
CV	1.4	7	3.9	4	2.6	1.7	4.2	8.6	3.3	4.5	3.1	6	5.2	4	7.6					
\bar{X}	13.5	13.6	29.3	80.1	0.7	28.8	10.8	12.6	86.1	0.5	44.2	12.5	10	82.3	0.4					

FV= fuente de variación; Gen= genotipos; CV= coeficiente de variación (%); IVE= índice de velocidad de emergencia; LPAE= longitud de la parte aérea; LRE= longitud de raíz; PEM= porcentaje emergencia; PSPE= peso seco plántula en emergencia; IVG= índice de velocidad de germinación; LPAG= longitud de la parte aérea en germinación; LRG= longitud de raíz en germinación; PG= porcentaje de germinación; PSPG= peso seco plántula en germinación; IVGEA= índice de velocidad de germinación en envejecimiento acelerado; LPAEA= longitud de la parte aérea en envejecimiento acelerado; LREA= longitud de raíz en envejecimiento acelerado; PGEA= porcentaje de germinación en envejecimiento acelerado; PSPEA= peso seco plántula envejecimiento acelerado; * = significativo ($p \leq 0.05$); ** = ($p \leq 0.01$).

El porcentaje de emergencia (PEM) tuvo efecto significativo del genotipo, se manifestó en los tamaños de muestra de 50, 75 y 100 semillas; para el peso seco de la plántula en envejecimiento acelerado (PSPEA), se observaron diferencias significativas en genotipos sólo para los tamaños de muestra de 50 y 100 semillas, en el caso de PG se presentaron diferencias en muestras de 100 semillas, mientras que el porcentaje de germinación en envejecimiento acelerado (PGEA) no se apreciaron diferencias significativas en ningún caso.

Los coeficientes de variación para las variables IVE, LRE, PEM, PSPE, IVG, LPAG y PG, fueron menores a 10% en los cuatro tamaños de muestra, que muestra buena confiabilidad de los resultados presentados. Para las variables LPAE, PSPG, IVGEA, LREA, LRG y LPA, los coeficientes de variación se ubicaron entre 11 y 16%, también indica buena confiabilidad.

Prueba de emergencia

En el Cuadro 3 de comparación de medias, los resultados muestran que IVE, LPAE, LRE, PEM y PSPE de los híbridos 11 y 12 fueron buenos en los cuatro tamaños de muestra; no obstante, los valores de estas variables para los genotipos 1, 2, 3, 4, 5 y 9 fueron consistentes, evidenciando los valores menores en los cuatro tamaños de muestra, de ahí que se consideren como los genotipos con menor vigor.

Cuadro 3. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en una prueba de emergencia de 12 genotipos de maíz en cuatro tamaños de muestra.

Table 3. Comparison of averages in five variables evaluated in an emergence test for 12 maize genotypes as per sample sizes.

Gen	IVE	LPAE	LRE	PEM	PSPE	IVE	LPAE	LRE	PEM	PSPE
		(cm)	(cm)	(%)	(g)		(cm)	(cm)	(%)	(g)
	25 semillas					50 semillas				
1	2.8 de	10.1 de	22.5 d	66.8 b	0.7 b	5.7 ef	10.1 f	21.8 e	66 b	0.7 bc
2	2.6 e	10.1 de	21.2 d	77.1 ab	0.7 ab	5.4 f	11.2d. f	21.2 e	75.9 ab	0.7 bc
3	3.1 cd	9.6 e	24.8 cd	84.2 a	0.5 c	6.3 d	10.1 f	25.3 de	80.3 a	0.5 d
4	3.4 ac	13.3 be	30 b	87.1 a	0.7 b	6.9 c	12.9 cf	30.2 bd	83.0 a	0.7 c
5	3.1 cd	12.2 ce	27 bc	84.2 a	0.5 c	6.2 de	10.8 ef	26.5 ce	78.4 a	0.5 d
6	3.4 ac	14.7 ac	30.6 b	82 ab	0.8 ab	7.0 c	15.0 ad	33.7 ab	84.4 a	0.7 bc
7	3.5 ab	14.5 ac	29.4 b	90 a	0.8 ab	7b c	14.6 ae	29.5 bd	86.4 a	0.7 bc
8	3.6 ab	12.8 ce	28.3 bc	87.1 a	0.7 b	7.4 ab	13.3 cf	27.8 cd	85.9 a	0.7 bc
9	3.2 bc	13.6 bd	28.3 bc	77.9 ab	0.8 ab	6.6 cd	13.3 bf	28.9 bd	76.3 ab	0.7 bc
10	3.7 a	15.2 ac	30.6 b	87.1 a	0.7 ab	7.4 ab	16.3 ac	31.0 bc	87.9 a	0.7 bc
11	3.7 a	16.9 ab	38.6 a	77.2 ab	0.8 ab	7.6 a	17.3 ab	38.4 a	77.9 ab	0.8 ab
12	3.7 a	17.7 a	36.1 a	90.0 a	0.8 a	7.5 a	18.6 a	36.7 a	87.9 a	0.8 a
DMS	0.4	3.86	4.02	15.9	0.1	0.4	3.9	5.3	12.1	0.08
\bar{X}	3.4	13.4	28.9	82.6	0.7	6.8	13.7	29.3	80.9	0.7

Gen= genotipos; DMS= diferencia mínima significativa; IVE= índice de velocidad de emergencia; LPAE= longitud de parte aérea; LRE= longitud raíz; PEM= porcentaje de emergencia; PSPE= peso seco de plántula; valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p=0.05$).

The percentage of emergence (PEM) had a significant effect from the genotype, which was observed in sample sizes of 50, 75 and 100 seeds; for the dry weight of plantlet in accelerated aging (PSPEA) showed significant differences in genotypes, only for sample sizes of 50 and 100 seeds. In the case of PG, there were differences in samples with 100 seeds, while in the percentage of germination in accelerated aging (PGEA) did not show significant differences in any case.

The variation coefficients for variables IVE, LRE, PEM, PSPE, IVG, LPAG and PG were less than 10% in the four sample sizes, which shows good reliability of the results presented. For variables LPAE, PSPG, IVGEA, LREA, LRG and LPAE, variation coefficients were between 11 and 16%, also indicating good reliability.

Emergence test

Table 3 for comparison of averages, the results that IVE, LPAE, LRE, PEM and PSPE of hybrids 11 and 12 were good in the four sample sizes; however, the values of these variables for genotypes 1, 2, 3, 4, 5 and 9 were consistent, showing the lower values in the four sample sizes. This is why they are considered the genotypes with the least vigor.

Cuadro 3. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en una prueba de emergencia de 12 genotipos de maíz en cuatro tamaños de muestra (Continuación).**Table 3. Comparison of averages in five variables evaluated in an emergence test for 12 maize genotypes as per sample sizes (Continuation).**

Gen	IVE	LPAE	LRE	PEM	PSPE	IVE	LPAE	LRE	PEM	PSPE
		(cm)	(cm)	(%)	(g)		(cm)	(cm)	(%)	(g)
	75 semillas					100 semillas				
1	8.6 e	10.2 e	22.2 fg	66.1 d	0.7 de	11.4 e	10.1 g	21.8 g	66 d	0.7 e
2	8.1 e	11.6 de	21.3 g	75.5 c	0.7 be	10.8 f	11.2 eg	21.2 g	75.8 c	0.7 ce
3	9.4 d	10.2 e	25.1 ef	79.7 ac	0.5 f	12.6 d	10.1 g	25.3 f	80.1 ac	0.5 f
4	10.3 bc	12.9 ce	30.1 bd	82.4 ac	0.7 e	13.7 b	12.9 df	30.2 cd	82.1 ac	0.7 e
5	9.3 d	11.2 de	26.7 de	77.8 bc	0.5 f	12.4 d	10.8 fg	26.5 ef	76.8 c	0.5 f
6	10.4 b	15 bc	32.6 b	83.7 ac	0.7 be	13.9 b	15 bd	33.7 b	83.2 ac	0.7 bd
7	10.4 b	14.6 bc	29.7 bd	83 ac	0.7 bc	14 b	14.6 dc	29.5 cd	85 ab	0.7 bc
8	11.1 a	13.5 cd	27.8 dc	86.6 ab	0.7 cde	14.8 a	13.3 de	27.8 df	85.1 ab	0.7 de
9	9.8 cd	13.3 cd	29.1 bd	75.7 c	0.7 bd	13.2 c	13.3 de	28.9 ce	75.8 c	0.7 bc
10	11.2 a	15.8 ac	31.1 bc	86.6 ab	0.7 de	14.9 a	16.3 ac	31 b c	87.1 a	0.7 de
11	11.4 a	17.2 ab	38.5 a	77.3 c	0.8 b	15.2 a	17.3 ab	38.4 a	77.7 bc	0.8 b
12	11.3 a	18.64 a	36.8 a	88.3 a	0.8 a	15 a	18.5a	36.7 a	87.1 a	0.87 a
DMS	0.5	2.8	3.7	8.8	0.05	0.5	2.3	2.8	7.9	0.05
\bar{X}	10.1	13.7	29.2	80.2	0.7	13.5	13.6	29.3	80.9	0.7

Gen= genotipos; DMS= diferencia mínima significativa; IVE= índice de velocidad de emergencia; LPAE= longitud de parte aérea; LRE= longitud raíz; PEM= porcentaje de emergencia; PSPE= peso seco de plántula; valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p=0.05$).

Lo anterior se puede atribuir a la composición genética de la semilla debido que las semillas de los híbridos 11 y 12, presentan mejor emergencia de radícula (Sarkissian *et al.*, 1964) que las líneas endogámicas 1 y 2; esta situación ha sido también observada por Voldeng y Blackman (1973) al comparar los diferentes estados de desarrollo de algunos maíces híbridos tipo dentado y cristalino, respecto a sus líneas progenitoras y la cruza doble recíproca, en campo y en laboratorio.

Considerando la técnica de análisis de crecimiento, se encontró que en la fase de posemergencia temprana, las cruza mostraron un mayor crecimiento (peso seco y área foliar). En el caso de los genotipos 1, 2, 3, 4 y 5 sus bajos valores se pueden atribuir que son líneas endogámicas como menciona Allard (1978), quién especifica que la reducción del vigor y tamaño de las plantas de maíz resulta de la presión endogámica, causada por las autopolinizaciones.

Considerando que la emergencia empezó seis días después de la siembra, los valores máximos de IVE, bajo el supuesto que todas las semillas hubieran emergido en ese momento serían de 4.1, 8.3, 12.5 y 16.6 para evaluaciones en 25, 50, 75 y 100 semillas, respectivamente.

This is due to the seed's genetic makeup, since the seeds of hybrids 11 and 12 show better root emergence (Sarkissian *et al.*, 1964) than the endogamous lines 1 and 2; this was also observed by Voldeng and Blackman (1973) when comparing the different states of development of some dent and flint maize hybrids to their parent lines and the double reciprocal breed on the field and in the laboratory.

Considering the growth analysis technique, in the early post-emergence phase, breeds showed more growth (dry weight and foliar area). The low values of genotypes 1, 2, 3, 4 and 5 can be due to their being endogamous lines, as stated by Allard (1978), who specifies that the drop in vigor and size of maize plants results from the endogamic pressure, caused by self-pollination.

Considering that emergence began 6 days after plantation, and supposing that all seeds emerged in that moment, maximum IVE values would be 4.1, 8.3, 12.5 and 16.6 for evaluations on 25, 50, 75 and 100 seeds, respectively.

Therefore, values for IVE lines of 3.1, 6.9, 10.4 and 14, represent a delay in the emergence rate of 23.3, 16.2, 16.1 and 15.5% respectively.

Por lo cual los valores de las líneas para IVE de 3.1, 6.9, 10.4 y 14, representan un retraso en la velocidad de emergencia del 23.3, 16.2, 16.1 y 15.5% respectivamente.

Con excepción de las líneas 6 y 7, las identificadas como 1, 2, 3 y 5 no presentan en promedio PSPE mayores a 0.75 g, con esta referencia se propone que los IVE de 3.1, 6.8, 10.3 y 13.7 para muestras de 25, 50, 75, y 100 semillas por repetición, fueron índices de bajo vigor que presentaron retrasos de al menos 23.3, 17.5, 17.4 y 17.2% respectivamente. Los valores de IVE de 3.6, 7.4, 11.1 y 14.8 representan un retraso de 11.2, 10.9, 10.8 y 10.6% para muestras de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición, respectivamente; con lo cual se definen como índices de alto vigor.

Prueba de germinación estándar

El Cuadro 4 muestra los resultados de comparación de medias, para IVG de los genotipos 1 y 9 que fueron buenos en los cuatro tamaños de muestra; mientras que el 8 y 10 sólo fueron para los tres primeros tamaños de muestra (25, 50 y 75 semillas); sin embargo, de estos genotipos sólo el 9 fue superior para las variables LRG y PSPG en los cuatro tamaños de muestra; asimismo, los valores de IVG, LPAG, LRG y PSPG para los genotipos 3, 6 y 7 fueron menores consistentemente en los cuatro tamaños de muestra, de ahí que se consideran como los genotipos de menor vigor.

Unlike lines 6 and 7, lines labeled 1, 2, 3 and 5 do not have PSPE averages above 0.75 g. This reference suggests that the IVE values of 3.1, 6.8, 10.3 and 13.7 for samples of 25, 50, 75, and 100 seeds per repetition were low-vigor rates that displayed delays of at least 23.3, 17.5, 17.4 and 17.2% respectively. The IVE values of 3.6, 7.4, 11.1 and 14.8 represent a delay of 11.2, 10.9, 10.8 and 10.6% for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition, respectively. This defines them as high vigor rates.

Standard germination test

Table 4 shows the results of the comparison of averages for the IVG of genotypes 1 and 9, which were good for the four sample sizes, while 8 and 10 were only good for the three first sample sizes (25, 50 and 75 seeds). However, out of these genotypes, only genotype 9 was greater for variables LGR and PSPG in the four sample sizes. Likewise, values for IVG, LPAG, LRG and PSPG for genotypes 3, 6 and 7 were consistently lower in the four sample sizes; hence they were considered the genotypes with the least vigor.

In order to explain the results obtained for IVG for genotypes 1, 8, 9 and 10, we must consider the factors that intervene in seed germination. Imbibitions as the first stage of the germination had an influence on this parameter, since

Cuadro 4. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en prueba de germinación estándar de 12 genotipos de maíz en cuatro tamaños de muestra.

Table 4. Comparison of the averages of five variables evaluated in the standard germination tests on 12 maize genotypes with four sample sizes.

Gen	IVG	LPAG	LRG	PG	PSPG	IVG	LPAG	LRG	PG	PSPG
		(cm)	(cm)	(%)	(g)		(cm)	(cm)	(%)	(g)
	25 semillas					50 semillas				
1	7.8 a	10.1 b	14 ac	84.2 a	0.5 ab	15.4 ab	10.5 b	13.3 abc	79.3 b	0.5 bc
2	7.1 bc	7.1 c	17.5 a	87.1 a	0.6 ab	14.4 bc	7 c	15.8 ab	87.9 ab	0.6 ab
3	7.1 bc	10.1 b	12.4 ac	84.2 a	0.4 c	14.2 dc	10.5 b	13.4 ac	83 ab	0.4 f
4	7 bc	11.2 b	16.7 a	87.1 a	0.6 ab	14.1 dc	11.6 ab	15.9 a	85.9 ab	0.6 ad
5	7.5 ab	10.8 b	15.6 ab	90 a	0.5 ab	14.4 bd	11.2 b	16.7 a	85.1 ab	0.5 be
6	6.9 c	11.1 b	11.2 bc	90 a	0.5 bc	13.6 d	11.2 b	10.9 bc	87.1 ab	0.5 ef
7	6.7 c	11.1 b	10.3 c	87.1 a	0.5 bc	13.4 d	10.5 b	9.8 c	87.9 ab	0.5 df
8	7.4 ab	11.4 ab	9.0 c	90 a	0.6 ab	15.1 ac	10.7 b	8.9 c	90 a	0.6 be
9	7.9 a	9.8 b	16.8 a	90 a	0.7 a	15.8 a	10.5 b	16.7 a	90 a	0.7 a
10	7.4 ab	11.8 ab	10.2 c	90 a	0.6 ab	14.9 ac	11.8 ab	10.3 c	87.9 ab	0.6 ac

Gen= genotipo; DMS= diferencia mínima significativa; IVG= índice de velocidad de germinación; LPAG= longitud de parte aérea en la prueba germinación; LRG= longitud raíz en la prueba de germinación; PG= porcentaje de germinación; PGEA= porcentaje de germinación; PSP= peso seco de plántula en la prueba de germinación; PSPG= peso seco de plántula en la prueba de germinación; valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p=0.05$).

Cuadro 4. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en prueba de germinación estándar de 12 genotipos de maíz en cuatro tamaños de muestra. (Continuación).**Table 4. Comparison of the averages of five variables evaluated in the standard germination tests on 12 maize genotypes with four sample sizes. (Continuation).**

Gen	IVG	LPAG	LRG	PG	PSPG	IVG	LPAG	LRG	PG	PSPG
		(cm)	(cm)	(%)	(g)		(cm)	(cm)	(%)	(g)
	25 semillas					50 semillas				
11	7.1 bc	13.9 a	9.6 c	90 a	0.5 bc	14.1 cd	13.3 a	10 c	87.9 ab	0.5 cf
12	6.6 c	12 ab	10.2 c	90 a	0.6 ab	13.5 d	11.85 b	9.7 c	90 a	0.6 ad
DMS	0.6	2.5	5.1	9.7	0.2	1.1	2.1	4.9	10.2	0.1
\bar{X}	7.2	10.9	12.8	88.3	0.5	14.4	10.9	12.6	86.8	0.6
Gen	75 semillas					100 semillas				
1	23 a	10.1 d	14.2 ab	78.1 b	0.6 bc	30.9 ab	10.1 e	13.9 b	78.8 c	0.5 cd
2	21.6 bc	7 d	15.4 ab	86.6 ab	0.6 ab	28.9 cd	7 f	15.8 ab	87.1 ab	0.6 b
3	21.4 c	10.6 bc	13.5 b	83.6 ab	0.4 d	28.3 de	10.5 de	13.3 bc	82 bc	0.4 f
4	21.2 d	11.6 b	15.7 ab	84.9 ab	0.6 b	28.2 df	11.7 bc	15.9 ab	84.3 ac	0.6 bc
5	21.7 bc	11 bc	15.7 ab	85.4 ab	0.5 bc	28.9 cd	11.1 be	16.8 a	84 ac	0.5 cd
6	20.3 d	11.2 bc	10.5 c	84.2 ab	0.5 c	27.2 eg	11.2 be	10.9 cd	85.9 ac	0.5 e
7	20.1 d	10.6 bc	9.7 c	86.6 ab	0.4 c	26.8 g	10.5 ce	9.7 d	87.1 ab	0.5 de
8	22.8 a	10.9 bc	9.1 c	90 a	0.5 bc	30.2 b	10.7 be	8.9 d	90 a	0.6 bc
9	23.4 a	10.7 bc	16.7 a	90 a	0.7 a	31.5 a	10.5 ce	16.6 a	90 a	0.7 a
10	22.5 ab	11.6 b	10.1 c	86.6 ab	0.6 b	29.9 bc	11.8 b	10.3 d	87.1 ab	0.6 b
11	21.1 cd	13.2 a	9.9 c	88.3 a	0.5 c	28.1 df	13.3 a	10 d	87.1 ab	0.5 de
12	20.2 d	11.9 ab	9.7 c	90 a	0.6 b	27.1 fg	11.8 b	9.7 d	90 a	0.6 bc
DMS	1	1.4	2.8	8.9	0.1	1.2	1.1	2.6	7.1	0.06
\bar{X}	21.6	10.8	12.5	86.1	0.5	28.9	10.8	12.6	86.1	0.6

Gen= genotipo; DMS= diferencia mínima significativa; IVG= índice de velocidad de germinación; LPAG= longitud de parte aérea en la prueba germinación; LRG= longitud raíz en la prueba de germinación; PG= porcentaje de germinación; PGEA= porcentaje de germinación; PSP= peso seco de plántula en la prueba de germinación; PSPG= peso seco de plántula en la prueba de germinación; valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p=0.05$).

Para explicar los resultados obtenidos en IVG para los genotipos 1, 8, 9 y 10 hay que tener en cuenta los factores que intervienen en la germinación de la semilla; la imbibición como primera etapa de la germinación influyó en este parámetro, ya que la velocidad de imbibición depende de la composición química de la semilla, permeabilidad de cubierta de la semilla, la diferencia de potencial hídrico y el espesor de los tejidos de almacenamiento (Copeland, 1976; González y Álvarez, 1986). No obstante, hay pocos estudios referentes a la permeabilidad comparativa de cubiertas de las semillas en reposo (Besnier, 1989). Existe una asociación determinada para maíz entre el nivel de calidad fisiológica de las semillas y la imbibición de maíz en el sentido que a menor germinación, corresponde un mayor porcentaje de imbibición (Morales, 1995), coincidiendo con el genotipo 1 de este estudio, que presentó el valor más bajo para PG en los cuatro tamaños de muestra.

imbibitions speed depends on the chemical makeup of the seed, the seed cover permeability, the difference in water potential and the thickness of the storage tissue (Copeland, 1976; González and Álvarez, 1986). However, there are few studies on the comparative permeability of covers of static seeds (Besnier, 1989). There is an association for maize, between the level of physiological quality of the seeds and the imbibitions of maize, in the sense that the lower the germination, the greater the imbibitions (Morales, 1995), which coincides with genotype 1 of this study, which showed the lowest value for PG in the four sample sizes.

In genotype 9, superiority could be due to its genetic makeup, since the seeds of the hybrids show better root emergence and vigor (Sarkissian *et al.*, 1964). In the cases of genotypes 3, 6, and 7, low values may be

En el caso del genotipo 9 la superioridad se puede deber a su composición genética, ya que las semillas de los híbridos presentan mejor emergencia de radícula y vigor (Sarkissian *et al.*, 1964). En el caso de los genotipos 3, 6, y 7, los bajos valores obtenidos se pueden atribuir al supuesto de que la semilla presenta diferencias en la permeabilidad de las cubiertas que retrasó la imbibición de las semillas. Aunque por ser líneas su grado de endogamia es factor en la reducción del vigor híbrido (Allard, 1978), que se reflejó en menor emergencia de radícula.

Considerando que la emergencia empezó tres días después de la siembra, los valores máximos de IVG bajo el supuesto de que todas las semillas hubieran emergido en ese momento serían de 8.3, 16.6, 25 y 33.3 para muestras con 25, 50, 75 y 100 semillas respectivamente. Las líneas 3, 6 y 7 presentaron valores bajos para cuatro de cinco parámetros en los cuatro tamaños de muestra, además de presentar los PSPG más bajos de la prueba (51 g), con esta referencia se puede inferir que los IVE de 7.1, 14.1, 21.4 y 28.3 para muestras de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición, fueron índices de bajo vigor que presentaron retrasos de 13.8, 14.9, 14.1 y 14.9%, respectivamente.

Tomando en cuenta que los índices de IVG de 7.4, 15.1, 22.8 y 30.2 pertenecientes a la línea 8 representan un retraso de 10.5, 9.2, 8.6 y 9.2% para muestra de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición respectivamente, y supera incluso los valores de IVG de la cruz simple 11 por esta razón se puede argumentar que estos valores determinan alto vigor en líneas de maíz.

Envejecimiento acelerado

Los resultados del Cuadro 5 para IVGEA del genotipo 1 fueron buenos en los cuatro tamaños de muestra; sin embargo, en LPAEA y LREA sus valores fueron bajos en los cuatro tamaños, mientras que para PSPEA sólo fueron para los tamaños de muestra de 75 y 100 semillas; por lo tanto, se clasificó al genotipo 9 como de alto vigor al poseer valores altos en los cinco parámetros evaluados; el comportamiento del genotipo 1 se debió que las semillas se preacondicionaron durante la prueba de envejecimiento acelerado aumentando la velocidad de germinación, bajo el supuesto de que existen diferencias en la permeabilidad de las cubiertas y la velocidad de imbibición de la semilla (Copeland, 1976; González y Álvarez, 1986), al observarse que estas aumentaron de tamaño más rápido.

due to the assumption that the seed showed differences in the permeability of the covers that delayed seed imbibitions. However, due to they are lines, their degree of endogamy is a factor in the drop in hybrid vigor (Allard, 1978), which translated into a lower root emergence.

Considering that emergence began three days after planting, the maximum IVG values, assuming that all the seeds emerged in that moment would be 8.3, 16.6, 25 and 33.3 for samples with 25, 50, 75 and 100 seeds, respectively. Lines 3, 6 and 7 showed low values for 4 of 5 parameters in the four sample sizes, as well as the lowest PSPG of the test (51 g). Then it can be inferred that the IVE values of 7.1, 14.1, 21.4 and 28.3 for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition were low vigor rates with delays of 13.8, 14.9, 14.1 and 14.9%, respectively.

Considering that the IVG values of 7.4, 15.1, 22.8 and 30.2, belonging to line 8 show a delay of 10.5, 9.2, 8.6 and 9.2% for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition respectively, and even surpasses the IVG of the simple breed 11, which is why can be argued that these values determine high vigor in maize lines.

Accelerated aging

Results in Table 5 for IVGEA if the genotype 1 were good in the four sample sizes, although for LPAEA and LREA, values were low for all sizes; for PSPEA, this was only true for sample sizes of 75 and 100 seeds. Therefore genotype 9 was classified as highly vigorous, for having high values in the five parameters evaluated. The behavior of genotype 1 was because the seeds were preconditioned during the accelerated aging test, under the assumption that differences exist in the permeability of the covers and in the imbibitions speed of the seed (Copeland, 1976; González and Álvarez, 1986), since these increased their size faster.

Values for IVGEA, LPAEA and LREA for lines 2, 3, 5 and 7 were consistently lower in the four sample sizes, and for PSPEA this occurred only for 50, 75 and 100 seeds per repetition. This is why they are considered the least vigorous genotypes. Their low values can be due to their degree of endogamy (S_4 to S_7), playing a very important role in the reduction of vigor, due to this phenomenon (Allard, 1978).

Cuadro 5. Comparación de medias de cinco variables en la prueba de germinación estándar con envejecimiento acelerado de 12 genotipos de maíz en cuatro tamaños de muestra.**Table 5. Comparison of averages of five variables in the standard germination test with accelerated aging on 12 maize genotypes with four sample sizes.**

Gen	IVGEA	LPAEA	LREA	PGEA	PSPEA	IVGEA	LPAEA	LREA	PGEA	PSPEA
		(cm)	(cm)	(%)	(g)		(cm)	(cm)	(%)	(g)
	25 semillas					50 semillas				
1	15.9 a	11.8 bc	9.9 b	80.1 a	0.5 a	32.1 a	12.4 bd	9.3 cd	80.9 a	0.5 ad
2	10.1 bc	9.9 c	5.2 c	90 a	0.3 a	20.9 cd	9.98 d	5.13 e	85.1 a	0.3 ce
3	11b c	10.7 c	8.3 cb	87.1 a	0.3 a	21.4 cd	10.9 dc	8.7 d	83 a	0.3 de
4	10.9 bc	13 ac	10.3 ab	84.2 a	0.6 a	21.7 cd	12.7 bd	10.5 ad	83 a	0.5 be
5	10.8 bc	10.6 c	8.2 c	77.2 a	0.3 a	21.4 cd	11.63 cd	9.1 cd	78 a	0.3 e
6	9.4 c	12.5 ac	10.9 ab	90 a	0.6 a	18.9 d	12.71 bd	11.4 ac	83.6 a	0.6 ab
7	9 c	10.8 c	10.1 ab	90 a	0.4 a	18.8 d	10.68 d	10.2 bd	90 a	0.4 be
8	10.3 bc	11 c	10.7 ab	87.1 a	0.6 a	21.2 cd	11.14 cd	10.3 bd	85.9 a	0.5 ac
9	12.7 b	16 ab	10.1 ab	90 a	0.6 a	26.6 b	15.66 ab	9.8 bcd	85.1 a	0.7 a
10	10.9 bc	11.5 bc	11.6 ab	87.1 a	0.5 a	21.2 cd	11.06 cd	11.4 ac	83 a	0.4 de
11	11.8 bc	17.9 a	12.7 a	83 a	0.5 a	22.4 c	17.11 a	12.7 a	83.6 a	0.5 be
12	9.4 c	12.6 abc	13.1 a	83 a	0.5 a	18.8 d	14.2 ac	11.9 ab	81.5 a	0.5 ad
DMS	3	4.7	3.5	13.1	0.3	3.2	3.3	2.3	13.6	0.1
\bar{X}	11	12.3	10	85.7	0.4	22.1	12.5	10	83.5	0.4
Gen	75 semillas					100 semillas				
1	48.3 a	12.1 cd	9.4 cd	80.8 b	0.5 bd	64.3 a	12.4 ce	9.3 df	79.6 b	0.5 bd
2	31.5 cde	9.8 e	5.2 e	85.9 ab	0.3 ef	41.9 c	9.8 f	5.1 g	84a b	0.3 ef
3	32.5 c	10.9 ed	8.5 d	83.5 ab	0.3 f	42.8 c	10.8 df	8.7 f	82.6 ab	0.3 ef
4	32.7 c	12.4 cd	10.3 bc	82.5 ab	0.5 bd	43.5 c	12.7 cd	10.5 cd	81.5 ab	0.5 bd
5	31.9 c	11.9 cde	9.2 cd	78 b	0.3 f	42.8 c	11.6 df	9.1 ef	78.9 b	0.3 f
6	28.7 de	12.5 cd	11.3 ab	84.7 ab	0.6 ab	37.7 d	12.7 dc	11.4 bc	81.8 ab	0.6 b
7	28.5 e	10.8 de	10.2 bd	90 a	0.4 df	37.5 d	10.6 ef	10.2 ce	87.9 a	0.4 de
8	31.8 cd	11.1 de	10.5 bc	84.9 ab	0.5 bc	42.3 c	11.1 df	10.3 ce	85.7 ab	0.5 bc
9	40.5 b	15.4 ab	9.6 bd	85.9 ab	0.6 a	53.2 b	15.7 ab	9.7 df	83.4 ab	0.7 a
10	31.9 cd	10.9 de	11.3 ab	83.5 ab	0.5 cde	42.3c	11.1 def	11.4 bc	82 ab	0.4 cd
11	33.5 c	16.8 a	12.8 a	80.6 b	0.5 bd	44.8c	17.1 a	12.7 a	80.9 ab	0.5 bd
12	28.5 e	13.8 b	12.2 a	80.1 b	0.52 bd	37.6d	14.2 bc	11.9 ab	80.1 ab	0.5 bc
DMS	3.2	2.1	1.6	8.9	0.11	3.4	1.8	1.3	8.3	0.1
\bar{X}	33.3	12.3	10	83.4	0.48	44.2	12.5	10	82.3	0.5

Gen= genotipos; DMS= diferencia mínima significativa IVGEA= índice de velocidad de germinación con envejecimiento acelerado; LPAEA= longitud de parte aérea en la prueba germinación con envejecimiento acelerado; LREA= longitud raíz en la prueba de germinación con envejecimiento acelerado; PGEA= porcentaje de germinación con envejecimiento acelerado; PSPEA= peso seco de plántula en la prueba de germinación con envejecimiento acelerado; valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p=0.05$).

Los valores de IVGEA, LPAEA y LREA para las líneas 2, 3, 5 y 7 fueron menores consistentemente en los cuatro tamaños de muestra y para el caso de PSPEA sólo lo fueron para 50, 75 y 100 semillas por repetición, por esta razón se consideran como los genotipos de menor vigor. Sus bajos valores se pueden atribuir a su grado de endogamia (S_4 a S_7) tomando un papel muy importante en la reducción del vigor por efecto de dicho fenómeno (Allard, 1978).

Root emergence began the day after planting, as a result of preconditioning the seeds. The effect of the high relative humidity and temperature does not seem to deteriorate the seed, but rather promotes an acceleration of the metabolism, which triggers germination. The maximum IVGEA value, assuming that all seeds had emerged in that moment would be 100% for evaluations of 25, 50, 75 and 100 seeds, respectively.

La emergencia de la radícula empezó el primer día después de la siembra como resultado del precondicionamiento de las semillas, al parecer el efecto de alta humedad relativa y alta temperatura en la prueba de envejecimiento acelerado, no deteriora la semilla sino que promueve la aceleración del metabolismo que desencadena la germinación, los valores máximos de IVGEA bajo el supuesto que todas las semillas hubieran emergido en ese momento serían de 100% para evaluaciones de 25, 50, 75 y 100 semillas, respectivamente.

Por lo tanto, los valores de IVGEA de 9.4, 18.8, 28.6 y 37.7, representan un retraso en la velocidad de germinación de 62.3, 62.2, 61.7 y 62.2% para muestras de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición respectivamente, y se consideran índices de bajo vigor. En tanto que los índices de 10.3, 21.1, 31.8 y 42.3 representan un retraso de 58.6, 57.6, 57.5 y 57.6% para muestras de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición, por lo que se consideran índices de alto vigor.

Análisis de correlación

En los resultados del análisis de correlación (Cuadro 6) se observan correlaciones positivas entre PEM y IVE ($R > 0.6$, $p \leq 0.01$), entre PG y IVE ($R > 0.3$, $p \leq 0.05$) y entre PG y PEM ($R > 0.4$, $p \leq 0.05$) para tamaños de muestra de 50, 75 y 100 semillas por repetición, lo que indica que a mayor porcentaje de germinación mayor es el vigor de semilla, expresado por el índice de velocidad de emergencia y el porcentaje de emergencia, de los genotipos de maíz evaluados. Hall y Wiesner (1990) también encontraron que existe correlación entre germinación estándar y emergencia total en semilla de pasto *Bromus biebersteini*.

Therefore, the values of IVGEA of 9.4, 18.8, 28.6 and 37.7 reflect a delay in the germination rate of 62.3, 62.2, 61.7 and 62.2% for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition, respectively, and they are considered low vigor rates. On the other hand, rates of 10.3, 21.1, 31.8 and 42.3 represent a delay of 58.6, 57.6, 57.5 and 57.6% for samples of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition, which is why they are considered high vigor values.

Correlation analysis

In the results of the correlation analysis (Table 6), there are positive correlations between PEM and IVE ($R^2 > 0.6$, $p \leq 0.01$), between PG and IVE ($R^2 > 0.3$, $p \leq 0.05$) and between PG and PEM ($R^2 > 0.4$, $p \leq 0.05$) for samples sized 50, 75 and 100 seeds per repetition, which indicates that the greater the percentage of germination, the higher the seed vigor, expressed by the emergence rate and the percentage of the maize genotypes evaluated. Hall and Wiesner (1990) also found a correlation between standard germination and total emergence in *Bromus biebersteini* grass seed.

In terms of the different tests, the lowest results were found in the accelerated aging test, which responded to the stress the seeds underwent, since high temperature and relative humidity affect the synthesis of polypeptides and affect root formation and can cause the loss of seed viability (Guy and Black, 1998).

Under these circumstances, and according to the results obtained in different maize lines, the following values are proposed (Table 7) for the germination and emergence

Cuadro 6. Análisis de correlación entre seis variables de calidad de semillas estimadas en cuatro tamaños de muestra. Table 6. Correlation analysis between six variables of seed quality estimated in four sample sizes.

Correlaciones	IVE	IVG	IVGEA	PEM	PG	PGEA
25 semillas						
IVE	1	-0.379*	-0.405*	0.245	0.245	0.027
IVG		1	0.575**	-0.508**	0.116	0.044
IVGEA			1	-0.614**	-0.032	-0.268
PEM				1	0.018	0.02
PG					1	0.046
PGEA						1
50 semillas						
IVE	1	-0.2635	-0.436**	0.684**	0.35*	0.111
IVG		1	0.643**	-0.365*	0.079	-0.238
IVGEA			1	-0.697**	-0.351*	-0.019

IVE= índice de velocidad de emergencia; IVG= índice de velocidad de germinación; IVGEA= índice de velocidad de germinación con envejecimiento acelerado; PEM= porcentaje de emergencia; PG= porcentaje de germinación; PGEA= porcentaje de germinación con envejecimiento acelerado. **= altamente significativo; *= significativo.

Cuadro 6. Análisis de correlación entre seis variables de calidad de semillas estimadas en cuatro tamaños de muestra. (Continuación).

Table 6. Correlation analysis between six variables of seed quality estimated in four sample sizes. (Continuation).

Correlaciones	IVE	IVG	IVGEA	PEM	PG	PGEA
PEM				1	0.33*	0.137
PG					1	-0.09
PGEA						1
75 semillas						
IVE	1	-0.251	0.154	0.636**	0.398*	-0.031
IVG		1	0.05529	-0.364*	-0.055	-0.084
IVGEA			1	-0.278	-0.068	-0.055
PEM				1	0.415*	0.086
PG					1	0.014
PGEA						1
100 semillas						
IVE	1	-0.279	-0.455**	0.655**	0.444*	0.068
IVG		1	0.723**	-0.449*	-0.08	-0.015
IVGEA			1	-0.763**	-0.386*	-0.169
PEM				1	0.428*	0.188
PG					1	0
PGEA						1

IVE= índice de velocidad de emergencia; IVG= índice de velocidad de germinación; IVGEA= índice de velocidad de germinación con envejecimiento acelerado; PEM= porcentaje de emergencia; PG= porcentaje de germinación; PGEA= porcentaje de germinación con envejecimiento acelerado. **= altamente significativo; *= significativo.

En cuanto a las distintas pruebas los resultados más bajos obtenidos fueron para la prueba de envejecimiento acelerado, situación que respondió al estrés que fueron sometidas las semillas, ya que alta temperatura y humedad relativa afectan la síntesis de polipéptidos; además, retrasan la formación de la radícula y pueden causar la pérdida de viabilidad de la semilla (Guy y Black, 1998).

Bajo estas circunstancias y de acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes líneas de maíz se proponen los siguientes valores (Cuadro 7), para los índices de

rates above which maize line seeds of acceptable vigor are accepted for different sample sizes and evaluation tests. These rates were consistently related to good levels of germination or emergence percentages, dry weight and lengths of aerial sections of plantlets.

The values obtained in simple breeds were used as references to observe the increases obtained through the breed of parent lines, in which lines with high values in emergence and germination rates provide results of the breeds of hybrids with a high emergence or germination rate.

Cuadro 7. Propuesta de índices de velocidad de emergencia y germinación mínimos, para selección de semillas de maíz de buen vigor.

Table 7. Proposal of minimum emergence and germination rates for the selection of vigorous maize seeds.

Índice	Niveles	25 semillas	50 semillas	75 semillas	100 semillas
IVE	Bajo	3.1	6.8	10.3	13.7
	Alto	3.6	7.4	11.1	14.8
IVG	Bajo	7.1	14.1	21.4	28.3
	Alto	7.4	15.1	22.8	30.2
IVGEA	Bajo	9.4	18.8	31.8	42.3
	Alto	10.3	21.1	40.5	53.2

IVE= índices de velocidad de emergencia; IVG= índice de velocidad de germinación; IVGEA= índice de velocidad de germinación con envejecimiento acelerado.

germinación y emergencia por arriba de los cuales, se selecciona semilla de líneas de maíz de aceptable vigor para diferentes tamaños de muestra y pruebas de evaluación. Estos índices estuvieron consistentemente asociados a buenos niveles de porcentaje de germinación o emergencia, peso seco y longitud de parte aérea de la plántula.

Los valores obtenidos en las cruzas simples, sirvieron como referencia para observar la ganancia que se obtiene a través de la cruce de líneas progenitoras; donde se observó que líneas con valores altos en índices de velocidad de emergencia y germinación proporcionan resultados de las cruzas, híbridos con alto índice de velocidad de emergencia o germinación.

CONCLUSIONES

Para seleccionar líneas de maíz con alto vigor, se proponen índices de velocidad de emergencia superiores a 3.1, 6.8, 10.3 y 13.7; en germinación 7.1, 14.1, 21.4 y 28.3; para el envejecimiento acelerado 9.4, 18.8, 31.8 y 42.3; para tamaños de muestra de 25, 50, 75 y 100 semillas por repetición, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. 1978. Principios de la mejora genética de las plantas. Ediciones Omega S. A. 3^{ra}. Edición. Barcelona, España. 226-232 pp.
- Andrade, B. H. J. 1992. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 98 p.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas, biología y tecnología. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Copeland, L. G. 1976. Principles of the seed science and technology. Burgess Publishing Company. Minneapolis, Minnesota, USA. 369 p.
- Guy, P. A. and Black, M. 1998. Germination-related proteins in the wheat revaluated by differences in seed vigor. Seed Sci. Res. 8:99-111.

CONCLUSIONS

To select highly vigorous maize lines, emergence rates higher than 3.1, 6.8, 10.3 and 13.7 are suggested; for germination 7.1, 14.1, 21.4 and 28.3; for accelerated aging 9.4, 18.8, 31.8 and 42.3; for sample sizes of 25, 50, 75 and 100 seeds per repetition, respectively.

End of the English version



- González, S. S. y Álvarez, M. G. 1986. Efecto de la imbibición en la germinación de cuatro especies frutales. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 121 p.
- Hall, R. D. and Wisner, L. E. 1990. Relationship between seed vigor tests and field performance of the "Regar" Meadow Bromegrass. Crop Sci. 30:967-970.
- Hampton, J. G. 2002. What is seed quality? Seed Sci. Technol. 30(1):1-10.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1976. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 4:3-177.
- McDonald, M. B. Jr. 1980. Assessment of seed quality. HortScience. 15(6):784-788.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. Crop Sci. 2:176-177.
- Morales, C. J. 1995. Estudio de la relación entre calidad fisiológica e imbibición en semillas de maíz, frijol, trigo y sorgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 p.
- Rincón, S. F. 1989. Deterioro de la semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con las condiciones de almacenamiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 105 p.
- Sarkissian, B. I.; Kessinger, M. A. and Harris, W. 1964. Differential rates of development of heterotic and nonheterotic young maize seedlings. I Correlation of differential morphological development with physiological differences in germinating seed. Proc. Nath. Acad. Sci. USA. 51:212-218.

- Steel, R. G. and Torrie, J. H. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill. 2^{da}. Edición. México. 622 p.
- Vargas, R. J. M. 1996. Velocidad de emergencia, un parámetro importante para la selección por vigor de semillas de líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 58 p.
- Villaseñor, M. H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 149 p.
- Voldeng, H. D. and Blackman, G. E. 1973. An analysis of the components of growth which determine the course of development under field conditions of selected inbreeds and their hybrids of *Zea mays*. Botanical. 37:539-552.