Rev. Fitotec. Mex. 15:10-21. 1992

PRUEBAS DE VIGOR PARA SEMILLAS DE MAIZ Y SU RELACION CON LA EMERGENCIA EN CAMPO[1]

Juan Molina Moreno[2], Diana Lisakowski Irigon[3] y Elio Paulo Zonta[4]

RESUMEN

Se estudió la eficiencia de diversas pruebas de vigor para evaluar la calidad fisiológica de semillas de maíz (*Zea mays* L.) en relación a la emergencia en campo. Se utilizaron 15 lotes de semilla: doce del híbrido AG-64A, dos de la variedad de polinización libre EMPASC-152 oeste y uno de la variedad de polinización libre EMPASC-151 Condá. Se hicieron pruebas de germinación, primer conteo, longitud de plántula, frío tradicional, frío modificado, envejecimiento precoz y se determinó la emergencia en invernadero y campo. Se observó que: 1) La eficiencia de las pruebas estuvo asociada al tipo de variedad y a la calibración de las mismas; 2) El primer conteo y la longitud de plántula no fueron eficientes para diferenciar niveles de calidad ni para predecir la emergencia en campo; 3) La emergencia en campo presentó mayor relación con las pruebas de germinación, emergencia en invernadero y frío modificado; y 4) Las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas de frío tradicional y envejecimiento precoz, fueron adecuadas para separar niveles de calidad pero no para pronosticar la emergencia en campo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., tecnología de semillas, germinación, prueba de frío, envejecimiento acelerado.

SUMMARY

Efficiency of several vigor tests to evaluate physiological quality of corn (*Zea mays* L.) was assessed, with respect to field emergence. Fifteen lots of corn seeds were tested; twelve of them of the hybrid AG-64A, two of the open pollinated variety EMPASC-152 oeste, and one of the open pollinated variety EMPASC-151 Condá. The following methodologies were applied: standard germination, first count, seedling length, cold test, modified cold test, accelerated aging test, and greenhouse and field emergence. It was observed that: 1) The efficiency of each test was associated with variety type and test calibration; 2) First count and seedling lenght did not allow to detect differences among lots, and could not predict field performance; 3) Field performance showed greater correspondence with modified cold test, emergence in greenhouse and germination, and 4) Cold and accelerated aging tests were adequate to detect differences among lots, but association with field performance was poor.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., seed technology, germination, cold test, accelerated aging.

INTRODUCCION

Uno de los aspectos de mayor importancia en la producción de semillas es la determinación del potencial de éstas para su establecimiento en campo. La manera más difundida para medir la calidad de un lote de semillas ha sido la prueba de germinación; sin embargo, por lo general ésta se realiza bajo condiciones óptimas de laboratorio, de acuerdo con la especie, por lo que no

---

[1] Trabajo realizado en la Universidad de Pelotas-Rs, Brasil, como parte de la tesis del primer autor para la obtención del grado de Maestría en Ciencias en Tecnología de Semillas.

[2] Investigador Docente. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. 56230. Chapingo, Méx.

[3] Profesor Adjunto de CETREISEM/UFPEL, C.P. 354. 96. 100 Pelotas-Rs, Brasil.

[4] Profesor Adjunto de IFM/UFPEL, C.P. 354. 96. 100 Pelotas-Rs, Brasil.

proporciona información confiable acerca del comportamiento que tendrán las semillas en el campo.

A partir de los años cincuenta se han desarrollado diversas pruebas con la finalidad de medir de forma más confiable la calidad de las semillas; algunas de ellas son adecuadas para determinadas especies como sucede con la prueba de frío para maíz (*Zea mays* L.) (Burris y Navratil, 1979), la de envejecimiento acelerado para soya (*Glycine max* M.) (Delouche y Baskin, 1973), la de conductividad eléctrica para chícharo (*Pisum sativum* L.) (Matthews y Bradnock, 1968) y la inmersión en cloruro de amonio para sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Yayock *et al.*, 1975). Sin embargo, la mayoría de las pruebas se han establecido para variedades, regiones y condiciones específicas. La prueba de frío en maíz es un ejemplo clásico, pues se desarrolló para las condiciones específicas de la faja maicera en Estados Unidos, de donde se ha difundido a todo el mundo. Ahora se sabe que la eficiencia de una prueba depende del grado en que simule las condiciones de campo donde la semilla será utilizada. En ese contexto y con la finalidad de contribuir a la definición de las metodologías más adecuadas para el sur de Brasil, se estudió la eficiencia de diversas pruebas que se usan para evaluar la calidad fisiológica de semillas de maíz en relación con la emergencia en campo.

REVISION DE LITERATURA

Calidad fisiológica

La calidad fisiológica de las semillas, de acuerdo con Heydecker (1972), es un fenómeno dinámico y complejo, resultado del efecto de los factores genéticos, ambientales y la interacción de ambos a través del tiempo.

El nivel más alto de calidad de las semillas se presenta en la madurez fisiológica (Helmer *et al.*, 1962; Popinigis, 1985). Sin embargo, es imposible mantener ese grado de calidad indefinidamente, de modo que ésta inicia un descenso inmediatamente después de la madurez fisiológica como consecuencia del proceso de envejecimiento natural, el cual genera una sucesión de cambios degenerativos en las semillas hasta que finalmente mueren (Delouche, 1963; Abdul-Baki y Anderson, 1972).

Según Roberts (1972), el deterioro de las semillas es determinado por factores extrínsecos e intrínsecos que modifican su metabolismo. No obstante, aún no se conoce el orden en que actúan y mucho menos se ha establecido si son causa o efecto del deterioro (Abdul-Baki y Anderson, 1972). Con esta motivación, los investigadores en semillas han dedicado mucho esfuerzo durante los últimos 40 años para determinar los métodos que "retraten" de manera más fidedigna la calidad de un lote de semillas.

La metodología más difundida a nivel mundial para evaluar la calidad de un lote de semillas es la prueba de germinación estándar, tal y como se encuentra descrita en las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas (ISTA, 1976). Dicha prueba, según algunos investigadores como Mackay (1972), puede ser una buena herramienta para evaluar la calidad de las semillas destinadas a la comercialización; sin embargo, no proporciona información confiable del desempeño que tendrán las semillas cuando sean sembradas en el campo. Cabe señalar que la prueba de germinación, por definición, jamás evaluará en sentido amplio la calidad de las semillas, pues fue desarrollada para manifestar la más uniforme, rápida y completa germinación

para la mayoría de las muestras de una determinada clase de semillas, para lo cual se proporcionan condiciones favorables de manera artificial (Mackay, 1972) que difícilmente se presentan en el campo. Por tal motivo, desde 1950, los tecnólogos en semillas han tratado de encontrar metodologías que permitan conocer de una manera más integral la calidad de ellas; sobre todo, con suficiente sensibilidad para estudiar mejor el proceso de deterioro. Los diversos métodos que se han desarrollado se conocen bajo la denominación convencional de pruebas de vigor (Perry, 1981).

El vigor se puede definir como el potencial de las semillas para producir plántulas normales, sanas y fuertes tanto en condiciones óptimas como en adversas; sin embargo, aunque no hay una definición unánime, existe consenso de que el vigor es el aspecto más importante de la calidad fisiológica de las semillas (Heydecker, 1972; Perry, 1981).

Pruebas para evaluar el vigor

Las diferencias en la velocidad de germinación, en velocidad de emergencia, en longitud de la plántula y en la acumulación de peso seco fueron los primeros parámetros que se usaron para medir el vigor de las semillas (Isely, 1957; Burris, 1977; Perry, 1981); el primer conteo (Popinigis, 1985), e incluso la prueba de germinación han sido útiles en algunas ocasiones para conocer el vigor de un lote de semillas (Boaro *et al.*, 1984). Considerando que las pruebas mencionadas evalúan la actividad del protoplasma de las semillas sometidas a condiciones favorables, se diseñaron otras metodologías en las que se trata de simular las condiciones de campo, como la prueba de frío para maíz (Pinnell, 1949) o el uso de polyethylene glycol (PEG), glicerol, cloruro de amonio u otros productos químicos capaces de imponer condiciones de estrés hídrico o salino (Parmar y Moore, 1968). Existen otras pruebas que de manera indirecta han sido utilizadas para medir el vigor de las semillas, como la de la tinción con tetrazolio (Moore, 1973), el envejecimiento acelerado (Delouche y Baskin, 1973) y la conductividad eléctrica (Matthews y Bradnock, 1968). En México poco se ha estudiado este fenómeno.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue realizado en 1985 en las instalaciones de la Universidad Federal de Pelotas en Río Grande Do Sul, Brasil, empleando muestras de 15 lotes de tres variedades de maíz producidas en el ciclo agrícola 1983-84. Dicho material se benefició y se caracterizó como se muestra en el Cuadro 1.

Las muestras representativas de cada lote se homogenizaron y se dividieron con un divisor-homogenizador para semillas tipo Boerner, en dos submuestras por lote, las cuales se envasaron en bolsas de papel de estraza y se almacenaron en condiciones naturales en el laboratorio durante la realización del trabajo.

Las semillas se sometieron a pruebas de laboratorio, invernadero y campo, tal y como se describen a continuación:

Prueba de germinación. Esta prueba se realizó en un germinador marca Biomatic, a temperatura de 25 $\pm$ 1°C, de acuerdo con ISTA (1976), excepto que el número de semillas fue de 200 (cuatro repeticiones de 50). Como sustrato se utilizó papel toalla Germitest en forma de rollo y los resultados se expresaron en porcentaje de plántulas normales.

Cuadro 1. Origen, características físicas y fisiológicas de los lotes de las semillas de maíz que se utilizaron en la evaluación y comparación de diferentes pruebas de vigor.

Genotipo	Origen	Lote No.	Criba No.	Tratamiento químico	Germinación (%)
Var. EMPASC-151 C	Sta. Catarina 83/84	007	24	si	91
Var. EMPASC-152 O	Pelotas 83/84	008	--	no	81
Var. EMPASC-152 O	Sta. Catarina 83/8a	055	24	si	92
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	534	20	si	93
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	535	20	si	94
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	537	20	si	96
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	554	20	si	95
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	557	20	si	93
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	558	20	si	94
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	559	20	si	95
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	562	20	si	91
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	568	20	si	93
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	569	20	si	91
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	570	20	si	93
Híbrido AG64 A	Sao Paulo 83/84	571	20	si	95

Primer conteo. Esta se realizó como parte de la prueba de germinación y la evaluación se hizo al cuarto día después del inicio de la misma. El resultado se expresa en porcentaje de las plántulas normales con longitud mayor a 10 cm.

Longitud de plántula. Se sembraron cuatro repeticiones de 15 semillas c/u, que se colocaron con el eje embrionario en posición vertical y la radícula hacia abajo sobre una línea trazada en papel toalla Germitest utilizado como sustrato, que se envolvió en forma de rollo. Los rollos se colocaron en bolsas de plástico y se acomodaron dentro del germinador a 25 ± 1°C. La longitud total de las plántulas normales se midió al cuarto día de iniciada la prueba; se registró el promedio de las mediciones entre las cuatro repeticiones y se expresó en centímetros.

Prueba de frío. En esta prueba se utilizaron dos procedimientos, cuya diferencia consistió en el tipo de sustrato. En la primera (frío tradicional) se utilizó una mezcla de suelo y arena de acuerdo con la metodología descrita por Popinigis (1985); en la segunda (frío modificado), el sustrato consistió de papel toalla Germitest y las semillas se colocaron como en la prueba de germinación. En ambos casos, las semillas se

sometieron a temperaturas de 7 a 10°C durante siete días y posteriormente se colocaron en el germinador como en la prueba de germinación. En los dos casos se usaron cuatro repeticiones de 50 semillas por muestra.

Envejecimiento acelerado. Para la prueba de envejecimiento artificial o precoz, como también se le conoce, se usó una cámara de envejecimiento marca De Leo. Se prepararon cuatro repeticiones de 50 semillas de acuerdo con la metodología sugerida por McDonald y Phaneendranath (1978), que se pusieron a 42 ± 1°C y alrededor de 100% de humedad relativa durante un período de 96 horas. Posteriormente se realizó una prueba de germinación estándar.

Emergencia en invernadero. Se utilizaron ocho repeticiones de 50 semillas en un diseño experimental de bloques completos al azar. El sustrato utilizado fue arena y las semillas se colocaron en posición vertical, con la radícula hacia abajo a una profundidad de 3 cm. La humedad se mantuvo con aplicaciones diarias de agua; la evaluación se realizó al décimo día después de la siembra y los resultados se expresaron en porcentaje.

Emergencia en campo. Esta prueba se estableció en el período considerado como óptimo para la siembra de maíz en la región, según Maluf *et al.* (1983). La cantidad de semilla y el diseño experimental fueron iguales a lo realizado en invernadero, sembrando a una profundidad aproximada de 7 cm en surcos de 1.5 m de largo con separación de 30 cm entre ellos. La evaluación de las plántulas se realizó a los 21 días después de la siembra y los resultados se expresaron en porcentaje.

Los datos obtenidos para cada prueba se analizaron separadamente mediante un análisis de varianza. Las pruebas de laboratorio se analizaron de acuerdo a un diseño completamente al azar, y de bloques completos al azar para las realizadas en invernadero y campo. Se aplicó además la prueba múltiple de medias de Duncan.

Con excepción de los datos de la prueba de longitud de plántula (reportados en centímetros) todos los demás, expresados en porcentaje, fueron previamente transformados con la función arco seno de la raíz cuadrada (Little y Hills, 1976) para su análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se puede observar que para la prueba de germinación, longitud de plántula, prueba de frío tradicional, prueba de frío modificado y envejecimiento artificial, las diferencias entre lotes de semilla fueron altamente significativas. Para las pruebas de emergencia en invernadero y emergencia en campo se registraron valores de F significativos al 5% de probabilidad y diferencias no significativas en la prueba de primer conteo.

Prueba de germinación

En el Cuadro 3 se observa que con excepción del lote 008 que registró la germinación más baja de los lotes de semilla estudiados, entre los demás no hubo diferencias de importancia agronómica. La germinación baja del lote 008 ya era esperada, dadas sus características al inicio de la prueba (Cuadro 1), pues las semillas de este lote no fueron sometidas a proceso alguno de limpieza, clasificación ni tratamiento químico, lo cual es bien sabido

que mejora la calidad fisiológica de un lote al eliminar algunas semillas indeseables mediante el proceso de beneficio. Por otro lado, cabe resaltar que la prueba de germinación fue capaz de separar lotes por su diferente nivel de vigor como ha sido indicado por Boaro *et al.* (1984).

Cuadro 2. Significancia de los cuadrados medios para el factor lotes, de los análisis de varianza de cada una de las pruebas de la calidad fisiológica de 15 lotes de semillas de maíz.

Prueba	C.M.[1]	C.V. (%)[2]
Germinación	**	3
Primer conteo	ns	24
Longitud de plántula	**	6
Frío tradicional	**	15
Frío modificado	**	5
Envejecimiento acelerado	**	10
Emergencia en invernadero	*	7
Emergencia en campo	*	6

[1] Cuadrados medios; [2] Coeficiente de variación.
*, **: Significancia al 5 y al 1%, respectivamente.

Primer conteo

Esta prueba no presentó diferencias estadísticas en el análisis de varianza; no obstante, al realizar la comparación de medias dada la oscilación de los valores que van del 5 al 31%, se puede observar (Cuadro 3) que el lote 558, difiere de los lotes 055 y 007, los que a su vez difieren del lote 534 de acuerdo con la prueba de Duncan (α = 0.05); esos lotes (055 y 007) no presentaron diferencias con relación a los otros lotes. Por lo anterior, y dado que el lote 008 no presentó diferencias con la mayoría de los demás lotes, se puede afirmar que esta prueba no presentó sensibilidad para diferenciar niveles de calidad, en lotes de semillas de maíz, lo cual coincide con lo señalado por Popinigis (1985). Del mismo modo, estos datos confirman los resultados de Boaro *et al.* (1984), en relación con la incapacidad del primer conteo para medir la calidad fisiológica de las semillas.

Longitud de plántula

El crecimiento de las plántulas, de acuerdo con Popinigis (1985), es un parámetro muy variable y fuertemente influenciado por factores genéticos y ambientales. Esta premisa se pudo constatar al observar que las variedades de polinización libre presentaron longitudes de 18.7, 19.6 y 19.7 cm, en tanto que en los lotes del híbrido la longitud osciló entre 13.8 y 18.0 cm, con promedios de 19.3 y 15.7 cm para los lotes de las variedades de polinización libre y lotes del maíz híbrido, respectivamente (Cuadro 3); esto pudiera indicar que la longitud de plántula como prueba de vigor es engañosa cuando se aplica a diferentes genotipos; incluso, se puede afirmar que no es útil para diferenciar adecuadamente los niveles de vigor, lo cual queda evidenciado al observar en el mismo Cuadro 3, que el lote 008 presentó una de las mayores elongaciones, que de no considerar las características (sin limpieza, sin clasificación y sin tratamiento) expuestas en el Cuadro 1, se podría incurrir en el error de señalarlo como un lote de semillas con alto vigor.

Por otro lado, es importante resaltar la posibilidad de que este resultado esté asociado a la variabilidad genética de los materiales utilizados, pues se observó que los lotes del maíz híbrido presentaron menor longitud y mayor homogeneidad en

Cuadro 3. Comportamiento de 15 lotes de semillas de maíz, sometidos a las pruebas de germinación, primer conteo, longitud de plántula y frío tradicional.

Lote	Germinación (%)	Primer conteo (%)	Longitud de plántula (cm)	Frío tradicional (%)
537	96 a[1]	13 abc	15.5 cde	19 ef
559	95 ab	21 abc	15.6 cde	38 ab
571	95 ab	19 abc	17.7 abc	33 abc
554	95 ab	15 abc	16.7 bcd	17 ef
535	94 ab	11 abc	15.8 cde	20 def
558	94 ab	8 bc	14.8 de	34 abc
568	93 ab	21 ab	15.1 de	30 abcd
570	93 ab	17 abc	13.8 e	23 cdef
557	93 ab	17 abc	18.0 ab	34 abc
534	93 ab	5 c	14.7 de	27 bcde
055	92 ab	30 a	19.7 a	42 a
562	91 b	16 abc	15.5 cde	15 fg
569	91 b	17 abc	15.2 de	19 ef
007	91 b	31 a	18.7 ab	26 bcde
008	81 c	19 abc	19.6 a	9 g

[1] Valores con letra distinta, dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan, (α) = 0.05.

comparación con las variedades de polinización libre, situación que ha sido también documentada por Burris (1975).

Prueba de frío

Considerando el comportamiento de las semillas del lote 008 (Cuadros 3 y 4), se puede afirmar que las pruebas de frío en general, fueron eficientes para diferenciar niveles de calidad. Los resultados más bajos corresponden a las semillas de ese lote, como era de esperarse de acuerdo con la caracterización inicial (Cuadro 1).

De igual manera, se puede inferir que el uso de diferente sustrato (papel toalla y suelo) modifica considerablemente la germinación (en algunos casos más del 80%); situación que muestra la trascendencia de la selección del tipo de prueba para evaluar la calidad fisiológica de las semillas; esto es, se puede escoger una prueba adecuada y al mismo tiempo, no utilizar las especificaciones correctas de acuerdo con el potencial germinativo de las semillas, lo que puede llevar a subestimar tal potencial como ocurrió con la prueba de frío tradicional (Cuadro 3), o bien a una sobrestimación

Cuadro 4. Comportamiento de 15 lotes de semillas de maíz, sometidos a las pruebas de frío modificada, envejecimiento acelerado y emergencia en invernadero y campo.

Lote	Frío modificado (%)	Envejecimiento acelerado (%)	Emergencia en invernadero (%)	Emergencia en campo (%)
537	92 a[1]	68 ab	96 ab	92 a
559	90 ab	72 ab	97 ab	94 a
571	94 a	76 ab	97 ab	95 a
554	90 ab	74 ab	95 ab	93 a
535	93 a	70 ab	96 ab	91 ab
558	92 a	71 ab	96 ab	91 ab
568	91 a	79 ab	98 ab	91 ab
570	86 abc	64 b	97 ab	92 a
557	94 a	74 ab	97 ab	93 a
534	93 a	62 b	98 a	91 ab
055	80 c	87 a	97 ab	90 ab
562	93 a	71 ab	94 abc	93 a
569	90 ab	64 b	96 ab	91 ab
007	81 bc	79 ab	94 bc	90 ab
008	58 d	28 c	89 c	85 b

[1] Dentro de cada columna, valores con letra distinta son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan, (α) = 0.05.

como fue el caso de la prueba de frío modificada (Cuadro 4).

Lo anterior concuerda en cierta medida con lo señalado por Isely (1957) acerca de la necesidad de calibrar las pruebas de vigor de acuerdo con la capacidad germinativa del lote de semillas en cuestión; esto significa que las condiciones bajo las cuales se realizan las pruebas no deben ser extremosas, pues ello produciría resultados sobre o subestimados como ocurrió en este trabajo con las pruebas de frío. Por otro lado, estos resultados también permiten apoyar el señalamiento hecho por Burris y Navratil (1979), en el sentido de que las condiciones de la prueba de frío tradicional (usando suelo como sustrato), son muy complejas y generalmente no permiten una expresión germinativa en su exacta dimensión.

Desde el punto de vista genético se puede observar que la prueba de frío tradicional presenta la tendencia a reducir más los resultados de los lotes del híbrido que los de las variedades de polinización libre (Cuadro 3), en tanto que con la prueba de frío modificada ocurrió lo contrario; es decir, los lotes de las variedades de polinización libre fueron los que más se redujeron en comparación

con la prueba de germinación (Cuadro 4). Es muy probable que estos resultados se deban a la diferencia en la base genética de los híbridos (base reducida, cuatro líneas) y las variedades (base amplia); esto, desde luego que no pretende ignorar las diferencias de manejo en pre- y postcosecha de los genotipos que también pudieran estar contribuyendo.

Envejecimiento acelerado

En el Cuadro 4 se observa la reducción de la capacidad germinativa de las semillas causada por las condiciones artificiales de envejecimiento; resalta la sensibilidad de esta prueba para detectar niveles de vigor, particularmente al identificar el lote de bajo vigor (008). Asimismo, se puede inferir que los genotipos responden de manera diferencial al envejecimiento acelerado; en este caso, las variedades de polinización libre (lotes 007 y 055) en promedio germinaron 13% más que los lotes del híbrido. Aunque ese comportamiento no se puede considerar contundente, podría estar asociado con diferencias genéticas de las variedades para tolerar condiciones de alta humedad relativa y alta temperatura, o para decirlo en términos de almacenamiento, es posible que la variedad de polinización libre tenga una capacidad de longevidad mayor que el híbrido.

Por otro lado, es notable que al igual que en las pruebas de frío, las semillas de bajo vigor (lote 008) fueron las más afectadas por las condiciones de estrés, lo cual pudiera explicarse por el hecho de que las semillas de menor calidad son más susceptibles a las condiciones adversas, tal y como lo señalan Delouche y Baskin (1973).

Emergencia en invernadero

En el Cuadro 4 se puede observar que en general, el desempeño de las semillas en esta prueba fue excelente en comparación con los niveles de germinación correspondientes a la caracterización inicial (Cuadro 1). De esa comparación se deduce que el 86.6% de los lotes superó en más de dos unidades el porcentaje de germinación inicial; incluso el lote 008 (considerado de bajo vigor) la aumentó en 8% y sólo los lotes 537 y 554 se mantuvieron sin cambios. Además de la mejoría observada en la germinación de los lotes, esta prueba tuvo la sensibilidad para distinguir niveles de vigor como lo demuestra el hecho de que el lote 008 haya sido el de menor porcentaje de emergencia, que como ya se dijo, corresponde a su caracterización inicial (Cuadro 1). Es probable que el "mejoramiento" de la germinación haya sido debido a una interacción positiva de las condiciones en que se realizó la prueba, o bien, que en la prueba de germinación inicial las semillas no manifestaron todo su potencial por algún error metodológico, situación que ocurre con cierta frecuencia cuando se comparan trabajos de laboratorio e invernadero.

Emergencia en campo

La emergencia en campo indica que la mayoría de los lotes poseían altos niveles de calidad (Cuadro 4) pues el porcentaje de emergencia fue similar a los de germinación en la caracterización inicial (Cuadro 1); incluso, es evidente que el lote 008 registró una aparente mejoría en campo. Esto no quiere decir que la calidad de ese lote haya mejorado; es probable que esa diferencia haya sido dada por el efecto de muestreo o el daño que la humedad de la prueba de

germinación pudiera haberle causado a las semillas más deterioradas, como ha sido señalado por Delouche y Baskin (1973).

Resultados de emergencia en campo como los aquí indicados, suelen ocurrir cuando se evalúa semilla de alta calidad, en fecha óptima de siembra y con manejo escrupuloso del cultivo en sus etapas iniciales (Popinigis, 1985).

Finalmente, al analizar los resultados en forma conjunta, tomando como referencia el comportamiento del lote 008 (bajo vigor) y observando los Cuadros 1, 3 y 4, se puede constatar que con excepción de las pruebas de primer conteo y longitud de plántula, las demás mostraron tener una buena sensibilidad para diferenciar niveles de calidad en los lotes de las semillas de maíz. No obstante, se observa que en algunos casos el poder germinativo de las semillas fue más afectado que en otros; al respecto, Isely (1957) ha señalado la importancia de calibrar las pruebas de acuerdo con los niveles de calidad de los lotes, ya que en algunas ocasiones pueden ser eficientes para detectar niveles de vigor y al mismo tiempo, provocar fuertes descensos en la germinación como ocurrió en este trabajo con la prueba de frío tradicional (Cuadro 3).

En el mismo contexto, se observa cierto grado de asociación entre los genotipos y las condiciones de las pruebas; así, las variedades de polinización libre, excepto el lote 008, superaron a los lotes del híbrido en sus respuestas a las pruebas de mayor estrés (frío tradicional y envejecimiento acelerado). En casos como el presente, aunque no se incluyen evidencias de otros elementos como el ambiente de producción y las condiciones de manejo en postcosecha, es probable que el comportamiento de los diferentes genotipos esté relacionado con las diferencias genéticas de los mismos, la que ya ha sido documentado para maíz por Burris (1977).

Con respecto a la sensibilidad de las pruebas para pronosticar la emergencia en el campo, se observó que no siempre las pruebas más eficientes para diferenciar niveles de vigor son las que permiten hacer una buena predicción del desempeño de la semilla en el campo. En ese sentido, es importante recordar una de las consideraciones hechas por Isely (1957), relacionada con la selección adecuada de la(s) prueba(s) de acuerdo con la especie para evitar posibles errores. Por ejemplo, es frecuente que a la soya se le asocie con la prueba de envejecimiento acelerado, al maíz con la de frío aunque fue desarrollada para condiciones muy específicas de los Estados Unidos, y al chícharo con la prueba de conductividad eléctrica, entre otras.

En realidad, la selección y calibración de las pruebas de vigor es probable que tenga que hacerse considerando la especie y la región en donde se va a usar la semilla; por ejemplo, pudiera pensarse que así como la prueba de frío se adapta muy bien a las condiciones de la faja maicera (que son de baja temperatura y alta humedad en la época de siembra), en algunas regiones de los países tropicales como México y Brasil, la prueba de envejecimiento acelerado pudiera ser la más recomendable, de tal manera que en un momento dado, una determinada prueba permita "retratar" el estado o grado de deterioro en el que se encuentra un lote de semillas. Lo anterior como corolario a que la calidad fisiológica de las semillas es una característica dinámica y compleja, resultado del efecto directo de la interacción de factores genéticos y ambientales en función del tiempo (Heydecker, 1972). Por tanto, es posible que las condiciones de una

determinada prueba no sean igualmente eficientes en todas y cada una de las etapas por las que atraviesa un lote de semillas, desde que es cosechado hasta que pierde totalmente el poder germinativo. Por otro lado, puede suceder que una calibración inadecuada de la prueba estimule un estrés mayor a aquel que las semillas encontrarán en el campo; esto último contribuye a explicar de manera más amplia los reducidos porcentajes de germinación obtenidos en las pruebas de envejecimiento y frío tradicional.

CONCLUSIONES

La eficiencia de las pruebas de vigor estuvo asociada el tipo de variedad (híbrida o polinización libre) y a la calibración de las mismas.

Las pruebas de primer conteo y longitud de plántula no fueron eficientes para diferenciar niveles de calidad ni para predecir la emergencia en campo.

Las pruebas de germinación, emergencia en invernadero y frío modificado presentaron mayor grado de coincidencia con los resultados de la emergencia en campo; es decir, los resultados de cualquiera de ellas hubiera sido suficiente para pronosticar el comportamiento en campo de las semillas estudiadas.

Las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas de frío tradicional y envejecimiento acelerado, fueron adecuadas para separar niveles de calidad, pero no para pronosticar la emergencia de las semillas en campo.

BIBLIOGRAFIA

Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. **In:** Seed Biology. Vol. 2. Kozlowski, T. T. (ed.). Academic Press. N.Y. pp. 283-315.

Boaro, C. S. F., V. L. M. Carvalho, L. P. F. Bicudo, e J. Nakagawa. 1984. Estudo de testes em laboratorio para avaliar a qualidade fisologica de sementes de feijao. Rev. Bras. Sem. 6:77-86.

Burris, J. S. 1975. Seedling vigor and its effect on field production of corn. Proc. 30th Annual Corn and Sorghum Res. Conf. ASTA. pp. 185-193.

_____. **1977.** Effect of location of production and maternal parentage on seedling vigour in hybrid maize *Zea mays*. Seed Sci. Technol. 5:703-708.

_____ and **R. J. Navratil. 1979.** Relationship between laboratory cold test methods and field emergence in maize inbreds. Agron. J. 71:985-988.

Delouche, J. C. 1963. Seed deterioration. Seed World 92:14-15.

_____ and **C. C. Baskin. 1973.** Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. Technol. 1:427-452.

Helmer, J. D., J. C. Delouche, and M. Lienhard. 1962. Some indices of vigor and deterioration in seed of crimson clover. Proc. Assoc. Off. Seed Anal. 52: 154-161.

Heydecker, W. 1972. Vigour. **In:** Viability of Seeds. Roberts, E. H. (ed.). Syracuse Univ. Press. Syracuse, N. Y. pp. 209-252.

International Seed Testing Association. 1976. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 4:3-177.

Isely, D. 1957. Vigor tests. Proc. Assoc. Off. Seed Anal. 47: 176-182.

Little, T. M. and F. J. Hills. 1976. Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Anatolio de Paula Crespo (trad.). Edit. Trillas. México. 270 p.

Mackay, D. B. 1972. The measurement of viability. **In:** Viability of Seeds. Roberts, E. H. (ed.). Syracuse Univ. Press. Syracuse, N. Y. pp. 172-208

Maluf, J. R. T., R. Matzenauer, G. R. Cunha da, e S. L. Westphalen. 1983. Agroclimatología do Rio Grande so Sul: 11-Zoneamento agroclimatico da culda cultura do milho (*Zea mays* L.). IPAGRO Informa 26:27-37.

Matthews, S. and W. T. Bradnock. 1968. Relationship between exudation and field emergence in peas and french beans. Hort. Res. 8: 89-93.

McDonald, M. B. and B. R. Phaneendranath. 1978. A modified accelerated aging seed vigor test for soybean. J. Seed Technol. 3:27-37.

Moore, R. P. 1973. Tetrazolium staining for assessing seed quality. **In:** Seed Ecology. Heydecker, W. (ed.). Pennsylvania Univ. Press. Pennsylvania. pp. 347-366.

Parmar, M. T. and R. P. Moore. 1968. Carbowax 6000, mannitol and sodium chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong weak vigor. Agron. J. 60:192-195.

Perry, D. A. 1981. Methology and applications of vigour tests and seedling growth and evaluation tests. **In:** Handbook of Vigour Tests Methods. Perry, D. A. (ed.). Int. Seed Test. Assoc. pp. 3-20.

Pinnell, E. L. 1949. Genetic and environmental factors affecting corn seed germination at low temperatures. Agron. J. 41:562-568.

Popinigis, F. 1985. Fisiología da Semente. AGIPLAN, Brasilia, D. F. 289 p.

Roberts, E. H. 1972. Cytological, genetical and metabolic changes associated with loss of viability. **In:** Viability of Seeds. Roberts, E. H. (ed.). Syracuse Univ. Press. pp. 253-306.

Yayock, J. Y., H. Jan, and R. L. Vanderlip. 1975. Temperature, time, and NH_4Cl concentration in vigor testing of sorghum seed. Agron. J. 67:241-242.