

EVALUACION DEL VIGOR EN SEMILLAS DE MAIZ Y SU RELACION CON EL COMPORTAMIENTO EN EL CAMPO¹

Ramiro Alizaga *
Francisco Sterling **
Jorge Herrera *

ABSTRACT

Evaluation of seed vigor in maize and its relationship to field performance. Maize seeds of cultivar Diamantes 8043 were artificially deteriorated by storing it at two different conditions: 16% water content at 30°C, and 18% water content at 30°C, for 24 days. A control was kept at 13% water content and 5°C. Seed samples were submitted to standard germination tests: germination count, hypocotyl and radicle length and weight, electrical conductivity and respiration. Except for the respiration test, the rest were good parameters for estimating differences in seed vigor. The seeds were sown, adjusting seed density to vigor level, in a field under two different watering frequencies: every 5 days and every 8 days. Field emergency, plant height (21 and 60 days after sowing) and number of ears per plant were significantly affected by seed vigor. No significant effect on the weight of ears and yield were found, even though a relationship between seed vigor and yield was observed.

INTRODUCCION

La prueba de germinación o porcentaje de plántulas normales se emplea en los programas de certificación de semillas como un indicador de la calidad fisiológica de los lotes, pues permite la máxima expresión del potencial de germinación (AOSA, 1983). Uno de los inconvenientes, sin embargo, es que todas las plántulas normales son consideradas con el mismo potencial para producir una planta en el campo, lo que no es cierto; además, desde un punto de vista práctico, la pérdida de poder germinativo puede evidenciar un

proceso de deterioro avanzado (Perry, 1981). Es por esto que en condiciones ambientales desfavorables los resultados de la prueba de germinación pueden diferir considerablemente de la emergencia en el campo. En este contexto, y en procura de metodologías con sensibilidad suficiente para determinar con mayor precisión el grado de deterioro de las semillas, se han desarrollado diversos procedimientos bajo el nombre convencional de "pruebas de vigor".

La semilla es un organismo vivo y como tal, está sujeto a procesos degenerativos graduales que culminan con su muerte. El concepto de vigor surge entonces de la necesidad de distinguir entre lotes de semillas con potenciales diferentes para producir plántulas normales, vigorosas y sanas, capaces de establecerse en el campo bajo una amplia gama de condiciones ambientales. A pesar de que no hay una definición de vigor universalmente aceptada, existe consenso general en el sentido de considerarlo como el factor más importante de la calidad fisiológica de la semilla (Abdul-Bahi y Anderson, 1972; AOSA, 1983; Delouche, 1976; Perry, 1981).

1/ Recibido para publicación el 26 de noviembre de 1991.

* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Ambos autores son miembros del programa de apoyo financiero a investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

** Compañía Palma Tica. Edificio Numar. San José, Costa Rica.

A nivel bioquímico, el vigor involucra la capacidad que tiene un organismo en la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos tales como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos, todo ello asociado con la actividad celular, la integridad de las membranas celulares y el transporte o utilización de sustancias de reserva (AOSA, 1983). A nivel de germinación incluye rapidez, uniformidad e intensidad, así como la tolerancia de las plántulas a condiciones ambientales desfavorables (Anderson, 1970; Perry, 1972; Perry, 1981). Al considerar que las pruebas de vigor deben estimar la calidad de las semillas con mayor confiabilidad que la prueba de germinación, la evaluación de cualquiera de estos factores relacionados estrechamente con el deterioro y que anteceden a la pérdida de viabilidad pueden, teóricamente, servir como pruebas para evaluar el vigor (AOSA, 1983).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el vigor de las semillas por medio de varias pruebas de laboratorio, así como determinar la influencia del vigor sobre el desarrollo de las plantas y el rendimiento en condiciones de campo tanto favorables como desfavorables de suministro de agua.

MATERIALES Y METODOS

Se empleó semilla de maíz del cultivar Diamantes 8043 recién cosechada, con una germinación inicial de 96%. Para obtener semillas con diferentes grados de vigor pero con porcentajes de germinación superiores a 80%, se almacenaron muestras de semillas de 5 kg en bolsas de polietileno selladas durante 24 días bajo las siguientes condiciones: 13% de contenido de humedad a 5°C (V1), 16% de contenido de humedad a 30°C (V2) y 18% de contenido de humedad a 30°C (V3). Posteriormente, para detener el proceso de envejecimiento artificial provocado mediante estas condiciones de almacenamiento desfavorables, el contenido de humedad de las semillas se redujo a 12% en los 3 lotes mediante una corriente de aire a temperatura ambiente y luego se almacenaron a 5°C ± 2°C. El objetivo de este procedimiento fue el mantener las diferencias de vigor inducidas hasta la ejecución de las pruebas de campo. Cabe destacar que la variabilidad existente entre lotes de semillas provocada por factores como condiciones de cosecha, secado, acondicionamiento, etc,

es uno de los aspectos que más interfieren en la evaluación del vigor. En este trabajo se usó semilla de un mismo lote, con el propósito de que la variación en la calidad fisiológica de las semillas causada por las diferentes condiciones de almacenamiento fuera la única diferencia entre las muestras.

Pruebas de laboratorio

Porcentaje de germinación. Esta se realizó en una cámara de germinación graduada a temperatura constante de 30°C, siguiendo la metodología propuesta por la AOSA (1983). Se evaluó el porcentaje de plántulas normales a los 4 días (primer recuento) y a los 7 días (recuento final) de iniciada la prueba. Se utilizaron repeticiones de 100 semillas en cada caso.

Longitud y peso seco de la raíz y de la plúmula. Para esta prueba se tomaron 15 plántulas normales escogidas en forma aleatoria de cada repetición y se les midió la longitud de la raíz primaria y de la parte aérea. Seguidamente estas estructuras se colocaron por separado en un horno de convección mecánica de aire a 80°C, hasta obtener peso constante.

Conductividad eléctrica. De cada nivel de vigor se tomaron 50 semillas por repetición y se pesaron en balanza analítica. Cada grupo se colocó en 250 ml de agua destilada durante 24 h a 30°C y se determinó la conductividad eléctrica de la solución. Los resultados se expresaron en $\mu\text{S}/\text{ml}/\text{g}$ de semilla.

Respiración. Se utilizó 10 semillas por repetición. Las semillas fueron inmersas en agua destilada durante 6 h, después de lo cual se colocaron en un respirómetro Gilson, donde se midió el consumo de oxígeno a intervalos de 15 min durante una hora. Los resultados se expresaron en μL de O_2/g de semilla.

Para el análisis de las pruebas de laboratorio se usó un diseño irrestricto al azar con 6 repeticiones.

Pruebas de campo

La semilla con los 3 grados de vigor se sembró durante la época seca en el distrito de Pozos, cantón de Santa Ana, Provincia de San José.

La parcela útil consistió de un surco de 13 m de largo. La distancia de siembra utilizada fue

de 0,25 m entre plantas y 0,6 m entre surcos. Se usó un diseño de bloques completos al azar con 6 repeticiones, en un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a los 2 regímenes de riego.

Inicialmente, en todas las parcelas se aplicó un riego a la siembra y luego cada 3 días hasta los 14 días. Posteriormente se trabajó con 2 frecuencias de riego diferentes: a- un riego cada 5 días (60% de la capacidad de campo) y b- un riego cada 8 días (40% de la capacidad de campo).

Con el fin de obtener una población de plantas similar en los 3 niveles de vigor, se empleó la técnica de siembra compensada; en la cual se calcula el número de semillas por golpe, según el porcentaje de germinación de cada una de las muestras de semillas con diferente vigor.

Se evaluó el porcentaje de emergencia a los 15 días, la altura de plantas a los 21 días y a los 60 días, el número de mazorcas por parcela, el peso del grano por mazorca y el rendimiento. Para la evaluación de la altura se tomaron 15 plantas al azar de cada parcela y para el peso del grano por mazorca se desgranó la totalidad de las mismas por parcela y se calculó el peso promedio para cada repetición. Esta variable, así como el rendimiento, se expresaron considerando un contenido de humedad de 12%.

RESULTADOS

Experimento de laboratorio

La evaluación de la germinación 4 y 7 días después de iniciado el ensayo (Figura 1) mostró grandes diferencias ($\alpha = 0,01$) en el porcentaje de germinación en función del vigor. Los resultados más altos se alcanzaron con la semilla que no fue sometida a ningún tratamiento de deterioro (V1) y que por lo tanto manifestó mayor vigor, mientras que se observa un descenso gradual en la aptitud a germinar en los tratamientos V2 y V3.

La Figura 2 muestra la longitud de la radícula en los tratamientos V1 y V2, observándose únicamente una disminución en la semilla con mayor deterioro (V3), la cual es estadísticamente significativa ($\alpha = 0,01$) con respecto a V1 y V2. Por el contrario, en el caso de la plúmula se observa una disminución gradual de su longitud conforme se redujo el vigor de la semilla, siendo

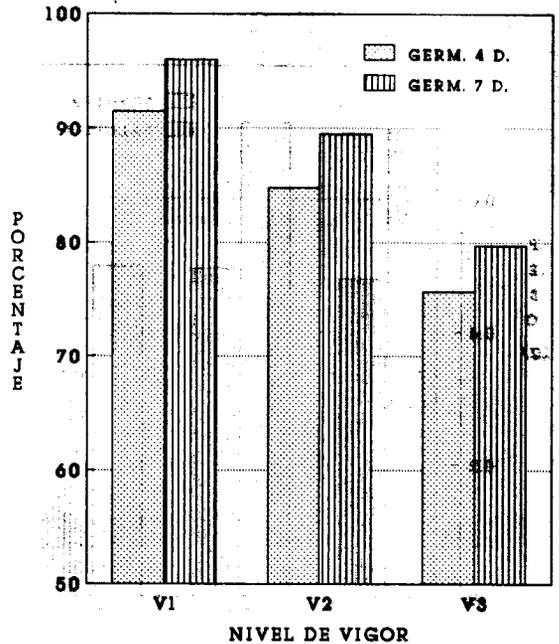


Fig. 1. Efecto de tres niveles de vigor en la semilla de maíz sobre la germinación, 4 y 7 días después de iniciada la prueba.

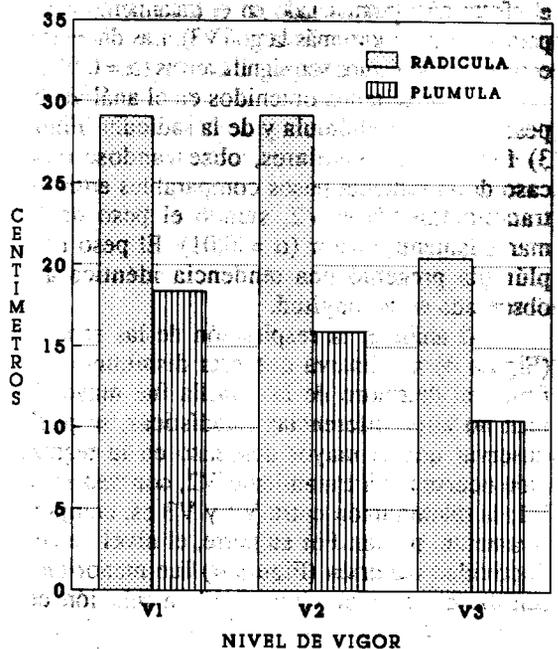


Fig. 2. Efecto de tres niveles de vigor en la semilla de maíz sobre la longitud de la plúmula y de la radícula.

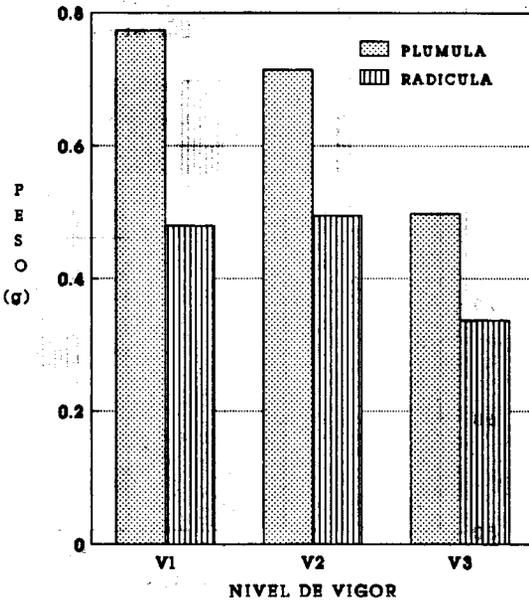


Fig. 3. Efecto de tres niveles de vigor en la semilla de maíz sobre el peso de la plúmula y de la radícula.

el efecto más pronunciado en el tratamiento con el período de deterioro más largo (V3). Las diferencias entre los tratamientos son significativas ($\alpha = 0,01$).

Los resultados obtenidos en el análisis del peso seco de la plúmula y de la radícula (Figura 3) fueron muy similares, observándose en el caso de la radícula pesos comparables entre los tratamientos V1 y V2, siendo el peso de V3 marcadamente menor ($\alpha = 0,01$). El peso de la plúmula presentó una tendencia idéntica a la observada en la longitud.

Al analizar la respiración de las semillas (Figura 4) se observa que ésta disminuyó conforme el deterioro de la semilla fue mayor. Si bien no hubo diferencias estadísticas, se puede observar que el mayor descenso en la respiración ocurre en el tratamiento V2, con respecto a V1; la disminución entre V2 y V3 es, comparativamente, menor. Por su parte, el nivel de conductividad eléctrica (Figura 4) fue menor en la semilla con mayor vigor (V1) en relación con las otras dos categorías, en las cuales la conductividad eléctrica se incrementa conforme aumenta el deterioro. Las diferencias observadas entre los tratamientos fueron estadísticamente significativas ($\alpha = 0,01$).

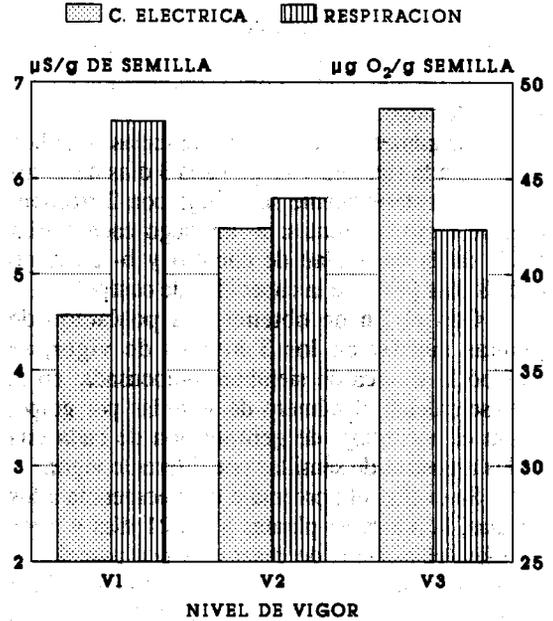


Fig. 4. Efecto de tres niveles de vigor en la semilla de maíz sobre la conductividad eléctrica y la respiración.

Experimento de campo

La emergencia de las plantas se evaluó 2 semanas después de la siembra. La Figura 5 muestra que la tendencia observada en la germinación se mantuvo durante la emergencia en el campo, siendo ésta menor conforme disminuyó el nivel de vigor de la semilla. Con respecto al riego, aunque el intervalo de 8 días produjo el menor crecimiento, en ambos tratamientos la emergencia estuvo en función de la condición de la semilla. Estadísticamente, los niveles V1 y V2 son comparables, presentando diferencias con el nivel V3 (menor vigor).

La altura de las plantas a los 21 días de la siembra (Figura 6A) siguió el mismo comportamiento que para la emergencia, siendo las diferencias entre los niveles de vigor estadísticamente significativas.

A los 60 días de la siembra (Figura 6B) la altura de las plantas en los tratamientos V1 y V2 fue similar, no así para la semilla de bajo vigor inicial (V3) cuya altura fue menor ($\alpha = 0,01$). No se observaron diferencias significativas con respecto a las frecuencias de riego.

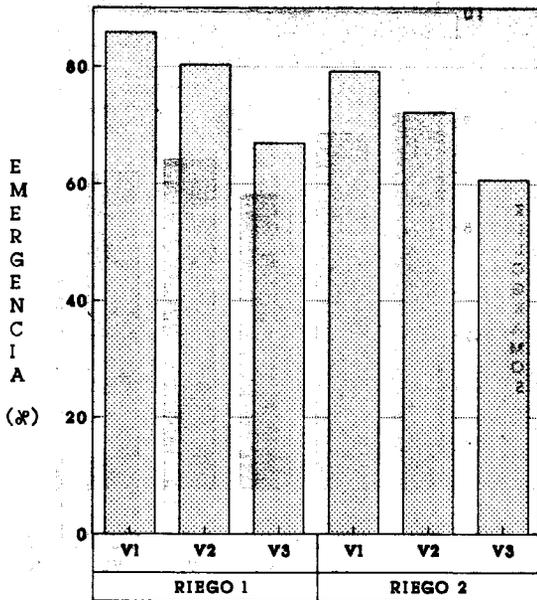


Fig. 5. Efecto de diferentes niveles de vigor y de riego sobre la emergencia de plántulas de maíz.

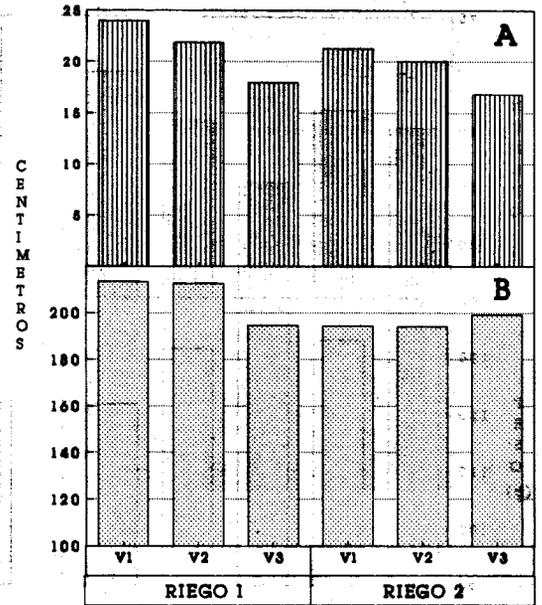


Fig. 6. Efecto de diferentes niveles de vigor y de riego sobre la altura de plántulas de maíz 21 días (A) y 60 días (B) después de la siembra.

El número de mazorcas producido (Figura 7A) fue mayor en el tratamiento V2 en comparación con V1 y V3, independientemente de la frecuencia de riego. Estadísticamente sólo hubo diferencias entre estos últimos, ya que ninguno fue significativamente diferente de V2. No se encontraron diferencias entre las frecuencias de riego.

Con respecto al peso promedio del grano por mazorca (Figura 7B), éste fue menor en el tratamiento V2, aunque no se registraron diferencias estadísticas.

Con respecto al rendimiento por parcela, se observa (Figura 8) una mejor producción al utilizar semillas con mayor vigor inicial (V1) en relación con semillas más deterioradas (V3). El análisis estadístico mostró que tanto la frecuencia de riego como el nivel de vigor no tuvieron un efecto sobre el rendimiento. Sin embargo, un análisis detallado del vigor considerado en forma independiente de la frecuencia de riego, demostró que cuando se utilizan riegos más espaciados (riego 2) se presentaron diferencias significativas entre el nivel de vigor 1 (V1) y el nivel 3 (V3).

DISCUSION

Experimento de laboratorio

Los resultados de la prueba de germinación (4 y 7 días después de iniciada) muestran claramente que el procedimiento empleado para obtener los 3 lotes de semilla con diferentes grados de vigor, pero con germinación de 80% o más, fue adecuado. En general, se considera que la pérdida de vigor en la semilla se inicia antes de que se observen mermas en su porcentaje de germinación (Copeland, 1976; Pollock y Roos, 1972). En el modelo hipotético de deterioro propuesto por Delouche y Baskin (1973) la reducción en la tasa de germinación se da después de que la semilla ha sufrido alteraciones en el vigor, tales como degradación de las membranas celulares y daños en los mecanismos de respiración y biosíntesis. Por realizarse la prueba de germinación en condiciones ideales que permitan obtener el mayor número de plántulas posible, encontrar diferencias en el potencial de germinación entre lotes de semilla es evidencia de que efectivamente presentan grados de vigor diferentes. Por el contrario, cuando las diferencias en vigor son pequeñas,

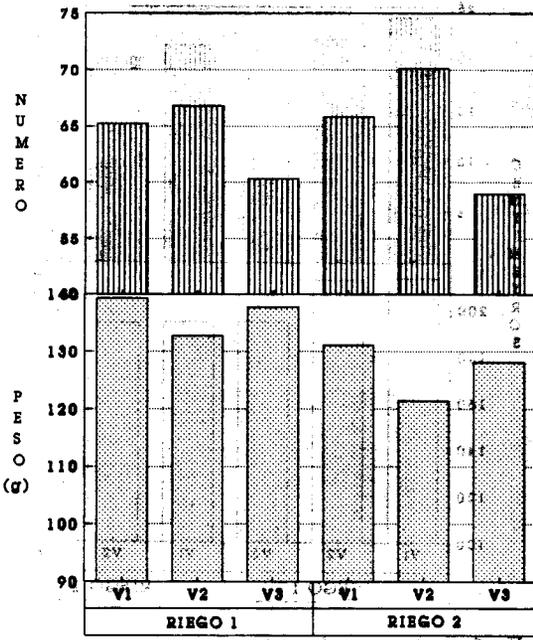


Fig. 7. Efecto del vigor de la semilla y del riego sobre el número de mazorcas por parcela y el peso del grano por mazorca.

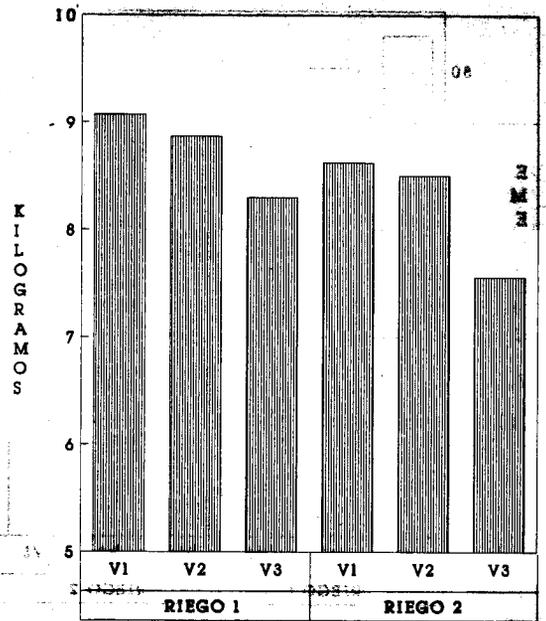


Fig. 8. Efecto de diferentes niveles de vigor y de riego sobre el rendimiento de maíz.

la prueba de germinación no posee la sensibilidad suficiente como para detectarlas (Alizaga, 1989).

La longitud de la radícula y especialmente la longitud de la plúmula también ponen de manifiesto que se logró trabajar con semillas que presentaban diferencias en su calidad fisiológica. A pesar de que las pruebas en que se evalúa el desarrollo de las plántulas pueden ser afectadas en gran medida por pequeñas variaciones bajo las cuales se realiza el ensayo (AOSA, 1983), y de que en muchos casos sólo permiten diferenciar semillas con niveles de vigor muy diferentes (Alizaga, 1989; Edge y Burris, 1970), en el presente trabajo estos parámetros permitieron clasificar los sublotos según su grado de vigor. El peso seco de la plúmula y de la radícula presentaron un comportamiento similar al de la longitud, lo que era de esperarse, pues aunque se evalúan aspectos diferentes, se realizan sobre las mismas estructuras.

La prueba de conductividad eléctrica se basa en el principio de que conforme las semillas se deterioran, se reduce la permeabilidad diferencial de las membranas celulares, de manera que al ser colocadas en una solución acuosa, la semilla menos vigorosa sufre una pérdida de compuestos

citoplasmáticos como aminoácidos, iones y azúcares de bajo peso molecular (Alizaga, 1989; Edge y Burris, 1970). En este experimento, esta prueba presentó la sensibilidad necesaria como para diferenciar las 3 categorías de semillas usadas, según su grado de vigor. Resultados similares en los cuales la conductividad eléctrica presentó una buena correlación con el vigor de la semilla, fueron encontrados por Miranda (1981) y por Oliveira *et al.* (1984) en soya y por Brower y Mulder (1982) en frijol.

Debido a que la respiración es un proceso estrictamente ligado a la integridad de las estructuras celulares y a los mecanismos de oxidación y biosíntesis, es lógico asumir que las semillas más vigorosas presenten mayores tasas de absorción de O₂, lo cual fue demostrado por Woodstock (1973). En el presente trabajo no se encontraron diferencias entre los niveles de vigor, aunque sí se observó una clara tendencia de una reducción de la actividad respiratoria conforme el vigor fue menor. Esto resulta lógico pues al avanzar el proceso de deterioro se da un aumento en la permeabilidad de las membranas por procesos de peroxidación que pueden alterar el gradiente de protones

necesario para mantener el acople respiratorio, y por tanto disminuir la capacidad respiratoria de los tejidos (Wilson y McDonald, 1986). Cabe mencionar que las semillas pertenecientes a las 3 categorías de vigor presentaron porcentajes de germinación de 79% o mayores. Esto permite suponer que las diferencias en la calidad fisiológica no fueron tan grandes como para ser detectadas categóricamente, debido a que la prueba de respiración no fue lo suficientemente sensible. Según Anderson (1970) no siempre la tasa respiratoria se correlaciona con el vigor.

Experimento de campo

El vigor de la semilla redujo la emergencia de las plántulas en el campo, a pesar de que las condiciones agroclimáticas fueron muy favorables al inicio del ciclo de cultivo, lo que reafirma la gran importancia de usar semillas de alto vigor, que permitan una buena población de plantas en el campo.

Aunque en la altura de las plantas a los 21 días se notó una disminución de la misma asociada con los niveles de vigor, a los 60 días estas diferencias se minimizaron. Esto puede explicarse en el sentido de que las plantas originadas a partir de semillas poco vigorosas, si bien tienen un desarrollo inicial lento, con condiciones climáticas adecuadas pueden alcanzar una altura similar a las plantas originadas por semillas más vigorosas. Esto coincide con lo observado por Carvalho y Toledo (1978) en semilla de maní.

Si bien las plantas originadas por semillas menos vigorosas produjeron un menor número de mazorcas por parcela, el peso promedio de éstas fue similar en los 3 niveles de vigor, posiblemente debido a un efecto compensatorio.

El rendimiento no fue tampoco claramente afectado por el grado de vigor de las semillas. Sin embargo, es evidente su tendencia a disminuir conforme decrece la calidad fisiológica de las semillas. Contrario a lo observado en las variables peso de mazorcas y rendimiento por parcela, Watson (1973) y Gill (1969) en maíz observaron que el desarrollo de las plantas, el número y el peso de las mazorcas, así como la producción total por parcela disminuyeron proporcionalmente al grado de vigor de las semillas. Esta aparente contradicción puede explicarse si se considera que para mantener una buena población de plantas en el campo en todos los trata-

mientos y evaluar el verdadero efecto del vigor de las semillas, se empleó la técnica de siembra compensada. Resulta claro que de no haberse ajustado el número de semillas sembradas en función del vigor, las diferencias en rendimiento habrían sido mucho mayores, debidas principalmente al porcentaje de emergencia y de establecimiento de plántulas en el campo y no a la influencia que pueda tener el vigor de la semilla en el desempeño de las plantas durante todo el ciclo del cultivo. Sin embargo debe considerarse que este criterio no privaría en un agricultor al sembrar su semilla.

La frecuencia de riego demuestra la importancia del uso de semilla de alta calidad, especialmente cuando las condiciones ambientales no son del todo favorables para la plantación. Bajo una condición de suministro de agua desfavorable (riego 2), la diferencia (estadísticamente significativa) en rendimiento (14%) entre los niveles de vigor V1 y V3 es mayor que bajo la condición de riego favorable (riego 1), en cuyo caso no es significativa (8%). Además, al desarrollar un modelo hipotético que ilustre el efecto del vigor sobre el rendimiento, en condiciones de suministro de agua deficientes y siembra no compensada, la reducción en rendimiento al usar semilla de baja calidad (V3) sería de 33% y no de 14%, como se obtuvo con siembra compensada. Es importante mencionar que la interacción entre el vigor y el riego no fue significativa en las variables evaluadas en el campo. Esto demuestra que la expresión relativa del vigor dentro de cada frecuencia de riego fue similar.

Según Perry (1978) el verdadero valor de una prueba de vigor se basa en su capacidad para estimar el desempeño de las semillas en el campo. Sin embargo, consistentemente las pruebas de vigor sólo consiguen clasificar los lotes según su calidad, ordenándolos de mayor a menor grado de vigor. Si se considera que las condiciones de campo pueden variar notablemente, la verdadera finalidad de las pruebas de vigor debe ser suministrar información útil y confiable que complemente la prueba de germinación respecto a la calidad de las semillas de diferentes lotes.

RESUMEN

Semilla de maíz del cultivar Diamantes 8043 se deterioró artificialmente almacenándola

bajo 2 diferentes condiciones: 16% de contenido de humedad y 30°C; 18% de contenido de humedad y 30°C. El testigo se mantuvo a 13% de humedad y 5°C. Las muestras se sometieron a pruebas de germinación estándar, germinación al primer recuento, longitud y peso de la radícula y del hipocótilo, conductividad eléctrica y respiración. Exceptuando la prueba de respiración, las demás fueron buenos parámetros para estimar las diferencias de vigor. Las semillas fueron sembradas en el campo bajo 2 frecuencias de riego: cada 5 días y cada 8 días; se usó la técnica de siembra compensada según la calidad fisiológica de las semillas. El vigor afectó significativamente la emergencia en el campo, la altura de las plantas (21 y 60 días después de la siembra) y el número de mazorcas por planta y aunque no afectó el peso promedio de las mazorcas ni el rendimiento, este último se redujo conforme disminuyó el nivel de vigor de la semilla.

LITERATURA CITADA

- ABDUL-BAKI, A.A.; ANDERSON, J.D. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. *In* Seed biology v.2. Ed. by T.T. Koslowski. New York, Academic Press p. 283-315.
- ALIZAGA, R. 1989. Avaliação de testes de vigor em sementes de feijão e sus relações com a emergência a campo. Tesis M.Sc. Río Grande do Sul, Universidade Federal de Pelotas, Facultad de Agronomía. 62 p.
- ANDERSON, J.D. 1970. Physiological and biochemical differences in deteriorating barley seed. *Crop Science*. 10:36-39.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. 1983. Seed vigour testing handbook. Contribution No. 32 to the handbook on seed testing. 88 p.
- BROWER, H.M.; MULDER, J.C. 1982. Reduced steeping time for the conductivity vigor test of *Phaseolus vulgaris* L. seed. *Journal of Seed Technology* 7(1): 84-91.
- CARVALHO, N.M.; TOLEDO, F.F. 1978. Relationships between available space for plant development and seed vigor in peanuts (*Arachis hypogea*) plant performance. *Seed Science and Technology* 6(4): 907-910.
- COPELAND, L.D. 1976. Principles of Seed Science and Technology. Minneapolis, Burgess Publishing Company. p. 149-184.
- DELOUCHE, J.C. 1976. Standardization of vigor tests. *Journal of Seed Technology* 1(2):75-85.
- DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1(2): 427-452.
- EDGE, D.T.; BURRIS, J.S. 1970. Physiological and biochemical changes in deteriorating soybean seeds. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts* 60: 168-198.
- GILL, N.S. 1969. Deterioration of seed corn during storage. Tesis Ph.D., Mississippi State University, Department of Agronomy. 199 p.
- MIRANDA, M. 1981. Evaluation of an electrical conductivity method for rapidly estimating germination and assessing deterioration of soybean (*Glycine max* Merrill) seed. Tesis Ph.D., Mississippi State University, Department of Agronomy. 96 p.
- OLIVEIRA, M.A.; MATTEWS, S.; POWELL, A.A. 1984. The role of splitseed coats in determining seed vigour in commercial seed lots of soybean, as measured by the electrical conductivity test. *Seed Science and Technology* 12(2):659-668.
- PERRY, D.A. 1972. Seed vigour and field establishment. *Horticultural Abstract* 42(1-4):334-342.
- PERRY, D.A. 1978. Report of the vigour test committee 1974-1977. *Seed Science and Technology* 6(1):159-181.
- PERRY, D.A. 1981. Introduction; methodology and application of vigour tests; seedling growth and evaluation tests. *In* Handbook of vigour tests methods. Ed. by D.A. Perry. Zurich, International Seed Testing Association. p. 3-20.
- POLLOCK, B.M.; ROOS, E.E. 1972. Seed and seedling vigor. *In* Seed Biology. v.1. Ed. by T.T. Kozlowski. New York, Academic Press. p. 314-359.
- WATSON, E.C. 1973. Effect of seed deterioration on performance and yield of corn (*Zea mays* L.) Tesis Ph.D. Mississippi State University, Department of Agronomy. 60 p.
- WILSON, D.O.; McDONALD, M.B. 1986. The lipid peroxidation model of seed aging. *Seed Science and Technology* 14:269-300.
- WOODSTOCK, L.W. 1973. Physiological and biochemical tests for seed vigour. *Seed Science and Technology* 1(1):127-157.