



Revista Fitotecnia Mexicana

ISSN: 0187-7380

revfitotecniamex@gmail.com

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

México

Molina Moreno, Juan Celestino; González Hernández, Víctor A.; Carballo Carballo, Aquiles; Livera Muñoz, Manuel; Castillo González, Fernando; Ortega Delgado, María Luisa
Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación

Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 26, núm. 4, octubre-diciembre, 2003, pp. 271-277

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61026408>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CAMBIOS EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA Y SU ASOCIACIÓN CON LA MADUREZ DE LA SEMILLA DE MAÍZ DURANTE SU FORMACIÓN

CHANGES IN PHYSIOLOGICAL QUALITY AND THEIR RELATIONSHIPS WITH MATURITY DURING SEED DEVELOPMENT IN MAIZE

Juan Celestino Molina Moreno^{1*}, Víctor A. González Hernández², Aquiles Carballo Carballo¹, Manuel Livera Muñoz², Fernando Castillo González² y María Luisa Ortega Delgado³

¹ Programa en Producción de Semillas, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Edo. de México. Tel. 01 (595) 952-0263 y 952-0200 Ext. 1555. Fax: 01 (595) 952-0262 Correo electrónico: molmor@colpos.mx ² Programas en Genética y Fisiología Vegetal, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. ³ Programa en Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.

* Autor responsable

RESUMEN

Los cambios en la germinación y vigor de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) durante su desarrollo fueron estudiados para determinar la fase en que las semillas alcanzan la madurez y máxima calidad fisiológica. La investigación se hizo en Montecillo, Méx. con cuatro variedades de maíz de polinización libre, durante dos años. Se evaluó el contenido de humedad (g H₂O g⁻¹ peso fresco), peso seco, capa negra, línea de leche, germinación estándar y germinación después de aplicar frío (prueba de vigor), en semillas cosechadas en cada uno de los siete muestreos (entre 175 y 217 días después de siembra, DDS) en 1995, y entre los 123 y 186 DDS en 1996 (diez muestreos). La máxima germinabilidad varió entre genotipos en función de su precocidad, y entre años; los demás indicadores también variaron. El indicador visual más consistente con la máxima germinación fue la capa negra, en las cuatro variedades y en los dos años de evaluación.

Palabras clave: *Zea mays* L., germinación, vigor, madurez fisiológica, capa negra, línea de leche.

SUMMARY

Changes in germination rate and vigor during seed development in corn (*Zea mays* L.) were studied to determine the development stage at which seed maturity and maximum quality is obtained. Four open pollinated varieties were evaluated at Montecillo, Méx., across two years. Moisture content (g H₂O g⁻¹ fresh weight), dry weight, black layer, milk line, germination test and could test were measured in freshly harvested seeds in seven sampling dates (175 to 217 days after planting, DAP) in 1995, and in ten sampling dates (123 to 186 DAP) in 1996. Maximum germinability varied among genotypes according to their precocity, and between years; the rest of the indicators varied too. The visual indicator most closely associated with maximum germination was the black layer, in the four varieties and the two years of evaluation.

Index words: *Zea mays* L., germination, vigor, physiological maturity, black layer, milk line.

INTRODUCCIÓN

Si bien se reconoce un comportamiento común en la formación de las semillas de diferentes especies, Hilhorst y Toorop (1997) señalan diferencias de este proceso en algunas especies. A partir de la fecundación, la primera etapa en el desarrollo de la semilla corresponde a la histodiferenciación, la segunda al crecimiento propiamente de la semilla, también conocido como periodo de llenado de grano y, finalmente, la fase de madurez o reposo. En el caso del maíz (*Zea mays* L.), Shaw y Loomis (1950) establecieron que al concluir la segunda etapa del desarrollo, las semillas se independizan de la planta madre y alcanzan la madurez fisiológica; ésta corresponde al final del periodo de llenado de grano y equivale a la máxima acumulación de materia seca.

Según Knittle y Burris (1976), la detección precisa de la madurez fisiológica facilita decidir la oportunidad de cosecha, de gran importancia para la industria semillera de maíz, pero su determinación no es sencilla. Como criterios de decisión se han utilizado la acumulación máxima de peso seco (Aldrich, 1943; Shaw y Loomis, 1950), el contenido de humedad (Hillson y Penny, 1965), la presencia de la capa negra (Daynard y Duncan, 1969) y de la “línea de leche” (Afuakwa y Crookston, 1984), entre otros, pero aún no se cuenta con un indicador preciso que permita identificar el estado de madurez fisiológica de la semilla.

La máxima acumulación de peso seco como indicador de la madurez fisiológica establecido por Shaw y Loomis (1950), es probablemente el criterio más aceptado para todas las especies. En cultivos destinados a la producción de semilla, este criterio adquiere mayor importancia debido a que Harrington (1972) postuló que la máxima calidad fisiológica de las semillas medida por la germinación y vigor,

coincide con la madurez fisiológica; los trabajos de Tekrony *et al.* (1980) en soya (*Glycine max* L.), Aguilar (1989) en maíz, Rasyad *et al.* (1990) en trigo (*Triticum aestivum* L.), y Galeano (1993) en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), parecen confirmar tal hipótesis.

No obstante, existen reportes que contradicen tal hipótesis, ya que los autores no encontraron coincidencia entre la máxima acumulación de materia seca y los máximos niveles de calidad fisiológica de la semilla; esto ha ocurrido en mijo (*Pennisetum glaucum* L.) (Kameswara Rao *et al.*, 1991), trigo y cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Ellis y Pieta Filho, 1992), jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.) (Demir y Ellis, 1992a), chile (*Capsicum annuum* L.) (Demir y Ellis, 1996b), arroz (*Oriza sativa* L.) (Ellis *et al.*, 1993), y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Sanhewe y Ellis, 1996).

El objetivo de la presente investigación consistió en estudiar los cambios de la calidad fisiológica en términos de germinación y vigor, y su asociación con la madurez fisiológica en semillas de maíz durante su formación. Al respecto, se postuló que la calidad fisiológica de las semillas depende en gran medida del grado de madurez de las mismas al momento de la cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cuatro variedades de maíz de polinización libre (CP20, CP21, CP22 y VS22), adaptadas a las condiciones de la región de Texcoco, Méx. Las tres primeras variedades fueron proporcionadas por el Área de Poscosecha de la Especialidad en Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados (CP), y la última es una variedad sintética comercializada por la Productora Nacional de Semillas (PRONASE).

La investigación se hizo durante 1995 y 1996, con dos experimentos (E-1 y E-2) que se sembraron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar cuya parcela útil fue de dos surcos de 10 m con cuatro repeticiones, en los terrenos del Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Méx. El manejo del cultivo se hizo de acuerdo con las recomendaciones técnicas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1981).

Cuando las semillas (aún en la planta) en el E-1, tuvieron contenidos de humedad de alrededor de 0.30 g H₂O g⁻¹ peso fresco (pf), se inició una serie de siete muestreos semanales; entre los 175 y los 217 días después de la siembra (DDS). En el experimento E-2 se hicieron diez muestreos y se iniciaron en una etapa más temprana del desarrollo de las semillas (entre 123 y 186 DDS), cuando tenían un contenido de humedad de 0.66 g H₂O g⁻¹ pf. En cada

muestreo se tomaron aleatoriamente cinco mazorcas por repetición, que inmediatamente se desgranaron en forma manual y la semilla obtenida fue utilizada para evaluar las siguientes variables.

Contenido de humedad (CH)

Se determinó en cuatro repeticiones de 100 g mediante secado en estufa a 70±1 °C hasta peso constante. Los resultados, de acuerdo con Grabe (1989), se expresan en gramos de agua por gramos de semilla (g H₂O g⁻¹ (pf).

Materia seca (MS)

Se cuantificó de manera similar al CH, en cuatro repeticiones de 100 semillas, y los resultados se expresan en gramos de materia seca acumulada por semilla (g MS semilla⁻¹).

Capa negra (CN) y línea de leche (LL)

En ambas variables se tomaron cuatro repeticiones de 100 semillas. En el primero la cuantificación se hizo de acuerdo con la metodología de Daynard y Duncan (1969). En el segundo se utilizó la técnica reportada por Afuakwa y Crookston (1984). Los resultados se reportan como porcentaje de semillas con presencia de capa negra, y como porcentaje de semillas que muestran la línea de leche.

Calidad fisiológica

Germinación (G). La prueba de germinación se hizo de acuerdo con las prescripciones de la ISTA (1993) excepto en cuanto al número de semillas que en este caso fue de 100 (cuatro repeticiones de 25) y el sustrato utilizado fue papel toalla Sanitas[®]. Se usó una germinadora Seedburo[®], calibrada a 25 ± 1 °C. Los resultados se expresan en porcentaje.

Vigor (Prueba de frío, PF). Se desarrolló con base en la metodología de Loeffler *et al.* (1985), en la que se aplica la prueba de germinación a las semillas que previamente permanecieron durante 7 d a 7±2 °C, en un refrigerador calibrado

En cada experimento, los datos se sometieron a análisis de varianza bajo el diseño de bloques completos al azar, y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey. Para ello se usó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad

En promedio de las cuatro variedades de maíz, el contenido de humedad de la semilla presentó una reducción constante, tal y como lo han reportado Egli y Tekrony (1997) e Ibrahim *et al.* (1992). En 1995 la reducción fue de 0.31 a 0.15 en seis semanas, y en 1996 de 0.65 a 0.26 g H₂O g⁻¹ pf en 9 semanas. La tasa de reducción fue de 3.7 y 6.3 mg H₂O d⁻¹, en 1995 y 1996.

Las variedades se comportaron de manera similar en los dos experimentos. Así, las semillas de CP21 presentaron los niveles de humedad más altos, y los de VS22 los más bajos (Figura 1A y 1C). Estos resultados se atribuyen a diferencias varietales en la precocidad ya que en esas dos variedades la antesis ocurrió a los 93 ± 4 y a los 84 ± 2 DDS, respectivamente. Tales diferencias varietales fueron más notorias en E-1 (Figuras 1A y 1C), que se atribuyen al mayor grado de madurez que presentaban las semillas en 1995 durante el periodo en el que fue realizado el estudio,

así como a la interacción genotipo x ambiente, ya que Egli y Tekrony (1997) señalan que para una etapa dada de la formación de las semillas, el contenido de humedad de éstas depende de las condiciones del ambiente ya que estas condiciones determinan la velocidad de desecación de las semillas. Al respecto, cabe señalar que la humedad relativa, considerada como el factor más importante del ambiente en relación con la humedad de las semillas, fue menor en 1995 (64 %) que en 1996 (69 %).

Materia seca

En promedio de las cuatro variedades de maíz, en E-1 las semillas mostraron una continua acumulación de materia seca que varió de 0.23 a 0.30 g/semilla entre los 175 y 217 DDS (Figura 1B); en E-2, el crecimiento promedio de las semillas fue de 0.11 a 0.33 g/semilla en el periodo de 123 a 186 DDS. Las variedades VS22, CP20 y CP22 mostraron un crecimiento de semilla más rápido, pues alcanzaron su máximo peso seco entre 158 y 172 DDS en E-2. Según Shaw y Loomis (1950), ese evento corresponde a la madurez fisiológica, que en este estudio ocurrió en el

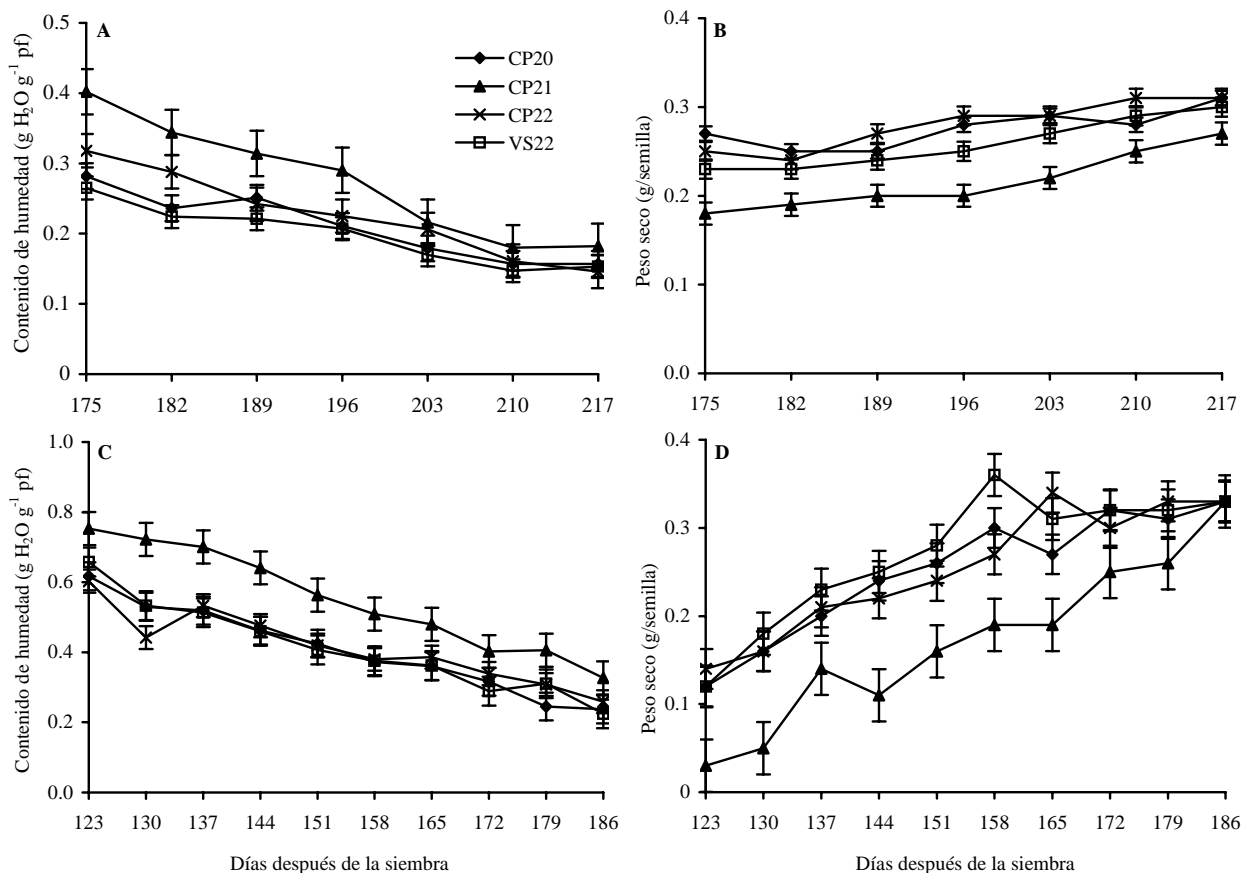


Figura 1. Cinéticas del contenido de humedad (A=1995, C=1996) y del crecimiento en peso seco (B=1995, D=1996), en semillas de cuatro variedades de maíz, durante su desarrollo.

sexto, séptimo, y octavo muestreos. En cambio, la variedad CP21 continuó acumulando biomasa hasta los 186 DDS (Figura 1D). Estas diferencias varietales corresponden con las diferencias en precocidad de los materiales, ya que CP21 fue 14 d más tardío en llegar a floración, que VS22 y CP22.

La menor capacidad en acumulación de biomasa se observó en la variedad CP21 en los dos años de prueba, pero entre las otras tres variedades hubo pocas diferencias (Figuras 1B y 1D). Sin embargo, cabe hacer notar que las semillas de CP21 alcanzaron pesos individuales semejantes al resto de variedades, hacia el final del periodo de estudio (Figuras 1B y 1D).

Capa negra

En 1995 la capa negra se detectó desde etapas muy tempranas del desarrollo de la semilla. Al respecto, nótese

que en el primer muestreo (175 DDS) las cuatro variedades de maíz tenían de 5 a 40 % de semillas con capa negra (Figura 2B). A los 203 DDS todas las semillas de las cuatro variedades ya mostraban capa negra. Según Daynard y Duncan (1969), la capa negra indica el momento en que éstas alcanzan la madurez fisiológica, por lo que de acuerdo con este criterio, a los 177 DDS (90 d después de floración), algunas semillas ya habían alcanzado la madurez.

En 1996, la presencia de la capa negra se empezó a observar desde los 144 DDS en las variedades VS22 y CP22, aunque en una proporción mínima (Figura 2D); a los 186 DDS, VS22 y CP20 ya mostraban la capa negra en todas sus semillas, mientras que CP21 apenas tenía 72 %. En este año se consideró terminado el experimento a los 186 DDS.

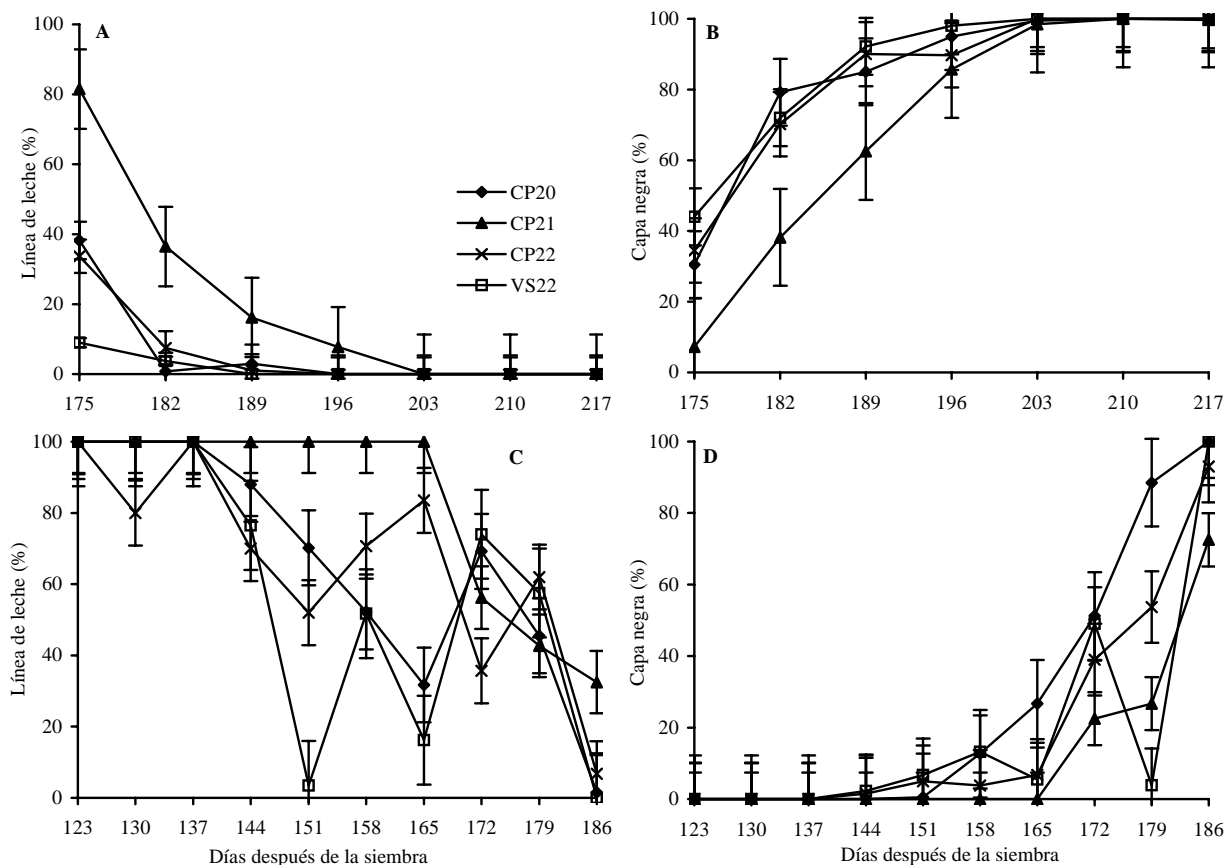


Figura 2. Cinéticas de la presencia de la línea de leche (A=1995, C=1996) y de la capa negra (B=1995, D=1996), en semillas de cuatro variedades de maíz, durante su desarrollo.

Línea de leche

Con excepción de la variedad CP21, en las otras tres variedades la línea de leche era poco frecuente a los 189 DDS en 1995 (Figura 2A). De acuerdo con Afuakwa y Crookston (1984), la línea de leche representa la transición del estado lechoso al estado masoso en las semillas, y la interpretan como el momento en el que se alcanza la madurez fisiológica, en virtud de que la fase líquida de la semilla desaparece y el endospermo se solidifica; es decir, la semilla completa su formación y sólo le falta reducir el contenido de humedad (Hilhorst y Toorop, 1997).

En 1996 el comportamiento de esta variable fue muy heterogéneo, de modo que no fue posible verificar lo ocurrido en 1995, excepto que las variedades CP20, CP22 y VS22 ya no presentaron la línea de leche a los 186 DDS (Figura 2C). Tal diferencia se atribuye a las diferencias ambientales, particularmente a la precipitación que en 1996 fue mayor y más uniforme que en 1995.

Calidad fisiológica

Germinación

El potencial germinativo se hizo evidente desde el primer muestreo en ambos experimentos (Figuras 3A y 3C), sobre todo en el de 1995, año en que a los 175 DDS las semillas en formación de la variedad CP 21 ya producían 20 % de plántulas normales en la germinación; en las tres variedades restantes el promedio de germinación fue de 80 % a los 175 DDS, y alcanzaron su máximo nivel germinativo de 95 % en el quinto muestreo (203 DDS), día en que de acuerdo con el criterio de la capa negra (Daynard y Duncan, 1969) se había alcanzado la madurez fisiológica (Figura 2B).

En 1995, a los 203 DDS se inició la reducción lenta de la capacidad germinativa en la variedad CP20, y en CP22 y VS22 una semana más tarde, a los 210 DDS; esta reducción pudiera estar asociada con el inicio del proceso de deterioro de la semilla, como lo señala Harrington (1972).

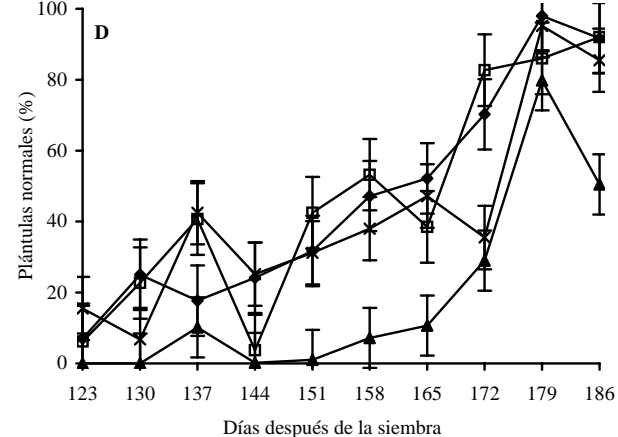
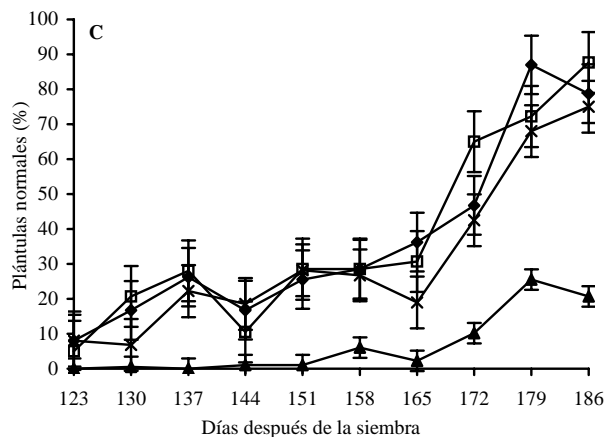
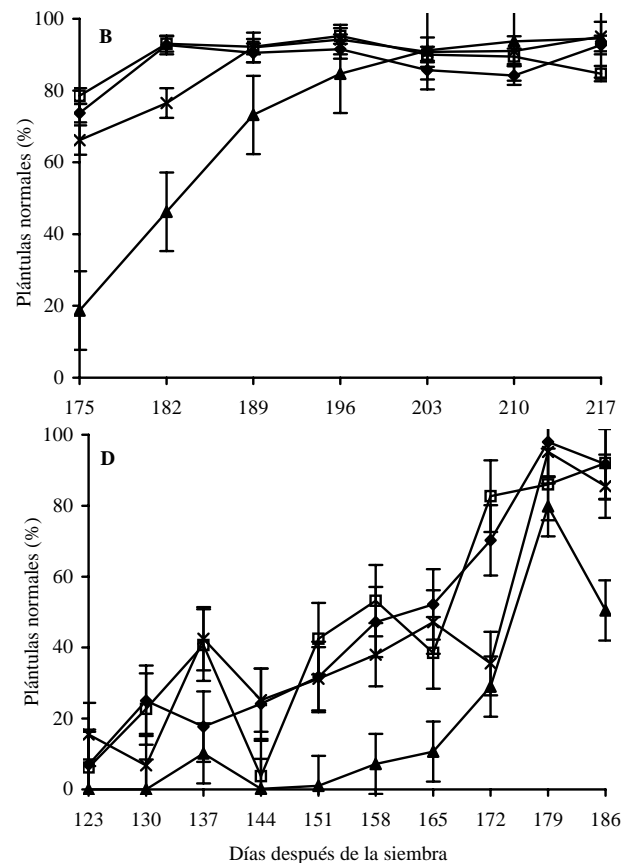
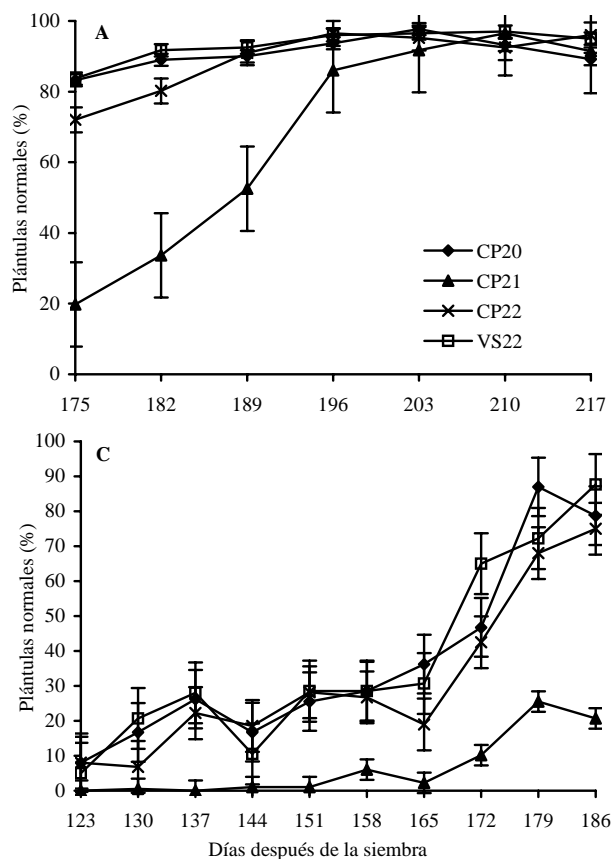


Figura 3. Cinéticas de germinación estándar (A=1995, C=1996) y en condiciones de frío (B=1995, D=1996), en semillas de cuatro variedades de maíz, a través de su desarrollo.

En 1995 (E-1) destaca la capacidad germinativa de CP21 que en sólo 21 d pasa de 20 % a más de 80 % y 14 d más tarde llega al máximo de germinabilidad, para luego empezar a disminuir (Figura 3A).

En 1996, la capacidad germinativa de las semillas creció lentamente de casi 8 % en el primer muestreo (123 DDS), a 25 % en el sexto (158 DDS), para luego incrementarse rápidamente pues en los siguientes 21 d se alcanzó 80 % de germinación, excepto en CP21 que registró valores de 20 % (Figura 3C). Llama la atención el comportamiento diferente de las variedades entre años; así, mientras que en 1995 se distingue claramente lo que pudiera ser considerado como un progreso normal de la capacidad germinativa de todas las variedades, en 1996 se observó (Figura 3C) un comportamiento irregular, ya que en el cuarto muestreo (144 DDS) se registraron reducciones en la germinación, que no concuerdan con la tendencia general a incrementar el potencial germinativo conforme avanza el desarrollo de la semilla. Según Sprague (1936) y Oishi y Bewley (1992), en el caso de maíz este comportamiento puede considerarse normal porque la habilidad de las semillas para germinar normalmente está relacionada con sus contenidos de humedad.

Hacia el final del estudio se observó que las variedades CP20 y CP21 inician una reducción del poder germinativo en contra del aumento que aún exhiben CP22 y VS22 (Figura 3C).

Vigor (Prueba de frío)

Los valores obtenidos en 1995 con semillas pretratadas con frío (Figura 3B) apenas fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en la prueba de germinación estándar (Figura 3A); ello muestra que la prueba de frío, en este caso, no fue útil para detectar las semillas con mayor vigor para establecerse en campo. Esta situación es frecuente al evaluar la calidad fisiológica de semillas que han sido cosechadas en estadios de desarrollo próximos a la madurez fisiológica, como indican Copeland y McDonald (1995). No obstante, se registraron diferencias entre variedades, puesto que VS22 fue la única variedad que presentó una reducción de vigor a los 196 DDS.

También existen evidencias (Salinas y Molina, 1996; Hilhorst y Toorop, 1997) de que las bajas temperaturas no imponen una condición adversa, sino una condición promotora de la germinación, como parece haber ocurrido con la variedad CP21, cuya cinética germinativa fue mayor en la prueba de frío (Figura 3B) que en la prueba de germinación estándar (Figura 3A), entre los 175 y 196 DDS; inclusive, en condiciones de baja temperatura no mostró la disminución de la germinación registrada en la prueba es-

tándar (Figura 3A). Salinas y Molina (1996) también reportaron un efecto favorable de las bajas temperaturas sobre la calidad fisiológica de las semillas en CP21.

En 1996 los resultados de la prueba de frío (Figura 3D) y los de la prueba de germinación (Figura 3C), fueron irregulares respecto a 1995. No obstante, en los primeros 42 d (entre 123 y 165 DDS) las condiciones de frío permitieron una mejor expresión del poder germinativo en todas las variedades (Figuras 3C y 3D). A diferencia de 1995, en 1996 se observó que la prueba de frío presentó mayor sensibilidad para detectar el inicio del deterioro en tres variedades (CP20, CP21 y CP22) a los 179 DDS (Figura 3D).

En general, la evolución ontogénica de la capacidad germinativa alcanzó los máximos niveles entre los 203 y 217 DDS en 1995, en tanto que en 1996 fue entre los 179 y 186 DDS (Cuadro 1). Este tipo de diferencias ocurren frecuentemente, por lo que se pueden considerar normales; comúnmente se asocian con las diferencias en fechas de siembra, localidades y años en que se realizan los trabajos, como lo señalan Knittle y Burris (1976) en maíz, Ellis y Pieta Filho (1992) en trigo y cebada, y Ellis *et al.* (1993) en arroz.

Cuadro 1. Tiempo transcurrido (días) entre la siembra y el momento en que las variables alcanzaron su máximo nivel en cuatro variedades de maíz. 1995 y 1996.

Variedad	Peso seco (g/semilla)	Línea de leche (%)	Capa negra (%)	Germinación (%)	Vigor (P. de frío) (%)
1995					
CP20	210	196	210	203	217
CP21	210	203	210	210	217
CP22	217	196	203	217	217
VS22	210	189	203	210	196
1996					
CP20	186	186	186	179	179
CP21	186	SD ¹	SD ¹	179	179
CP22	165	186	186	186	179
VS22	158	186	186	186	186

¹: Sin Datos.

Al comparar los criterios estudiados para detectar la máxima calidad fisiológica de la semilla, y al considerar como testigo a la germinación estándar, se aprecia que en 1995 el criterio que con mayor frecuencia dio valores más cercanos a la variable testigo, fue el peso seco de la semilla, seguido de la capa negra (Cuadro 1). En 1996, se puede considerar que tanto la capa negra como la línea de leche fueron los criterios más constantes. Por lo anterior, se considera que en cualquier ambiente, el mejor indicador de máxima calidad fisiológica de la semilla (*i.e.*, germinabilidad) es la capa negra.

La falta de consistencia entre los diversos índices de madurez y la máxima calidad fisiológica, reiteran la aseve-

ración de Shaw y Thom (1951) en cuanto a la dificultad de precisar el momento en que ocurre la madurez fisiológica. Por ello, la referencia de la madurez fisiológica debe ser considerada como un periodo y no como un “momento” durante el proceso formativo de las semillas. En virtud de la importancia que representa un referente para decidir la cosecha oportuna en cultivos de maíz destinados a la producción de semillas, la capa negra es un indicador práctico que “retrata” con suficiente nitidez la madurez en las semillas de maíz y, en consecuencia, se recomienda su uso.

CONCLUSIONES

Es posible asociar los cambios fenológicos de las semillas de maíz con los niveles de calidad fisiológica de las mismas.

La máxima calidad fisiológica (germinación y vigor) de las semillas de maíz no siempre coincidió con la máxima acumulación de materia seca, pero se asoció mejor con la aparición de la capa negra.

BIBLIOGRAFÍA

- Afuakwa J J, R K Crookston (1984) Using the kernel milk line to visually monitor grain maturity in maize. *Crop Sci.* 24:687-691.
- Aldrich S R (1943) Maturity measurements in corn and an indication that grain development continues after premature cutting. *J. Amer. Soc. Agron.* 35:667-680.
- Copeland L O, M B McDonald (1995) Principles of seed Science and Technology. Third edition. Chapman & Hall. New York. 409 p.
- Daynard T B, W G Duncan (1969) The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9: 473-476.
- Demir I, R H Ellis (1992a) Changes in seed quality during seed development and maturation in tomato. *Seed Sci. Res.* 2: 81-87.
- Demir I, R H Ellis, (1992b) Development of pepper (*Capsicum annum*) Seed quality. *Ann. Appl. Biol.* 121:385-399.
- Egli D B, D M Tekrony (1997) Species differences in seed water status during seed maturation and germination. *Seed Sci. Res.* 7:3-11.
- Ellis R H, C Pieta Filho (1992) The development seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Sci. Res.* 2:9-15.
- Ellis R H, T H Hong, M T Jackson (1993) Seed production environment, time of harvest, and the potential longevity of seeds of three cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Ann. Bot.* 72:583-590.
- Grabe D F (1989) Measurement of seed moisture. *In*: Seed moisture. Stanwood, P.C. and M.B. McDonald (eds). CSSA Special Publication Number 14. Mad. Wis. pp:69-92.
- Harrington J F (1972) Seed storage and longevity. *In*: Seed Biology. Kozlowski T.T. (ed). Volume III. Academic Press. New York. pp:145-245.
- Hilhorst H W M, P E Toorop (1997) Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. *Adv. Agron.* 61:111-165.
- Hillson M T, L H Penny (1965) Dry matter accumulation and moisture loss during maturation of corn grain. *Agron. J.* 57:150-53.
- Ibrahim A E, D M Tekrony, D B Egli, D A Van Sanford (1992) Water content and germination of immature wheat kernels. *Seed. Sci. Technol.* 20:39-46.
- ISTA (International Seed Testing Association) (1993) International rules for seed testing. Rules 1993. *Seed. Sci. Technol.* 21, supplement. 288 p.
- Kameswara Rao N S, Appa Rao M H Mengesha, R H Ellis (1991) Longevity of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) seed harvested at different stages of maturity. *Ann. Appl. Biol.* 119:97-107.
- Knittle K H, J S Burris (1976) Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. *Crop Sci.* 16:851-855.
- Loeffler N L, J L Meier, J S Burris (1985) Comparison of two cold test procedures for use in maize drying studies. *Seed Sci. Technol.* 13: 653-658.
- Oishi M Y, J D Bewley. (1992) Premature drying, fluridone-treatment, and embryo isolation during development of maize kernels (*Zea mays* L.) induce germination, but the protein synthetic responses are different. Potential regulation of germination and protein synthesis by abscisic acid. *J. Exp. Bot.* 43: 759-767.
- Rasyad A, D A Van Sanford, D M Tekrony (1990). Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. *Seed Sci. Technol.* 18:259-267.
- Salinas Y, J Molina (1996) Efecto del ácido giberélico y de la temperatura sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz. *Información Tecnológica* 7:43-49.
- Sanhew A J, R H Ellis. (1996) Seed development and maturation in *Phaseolus vulgaris* L. II. Post-harvest longevity in air-dry storage. *J. Exp. Bot.* 47:959-965.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) (1981) Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Guía para la Asistencia Técnica Agrícola. Área de Influencia del Campo Agrícola Experimental Valle de México. Chapingo, Méx. 136 p.
- SAS Institute (1988) SAS User's guide. Release 6.03 edition 1988. Raleigh, North Cary, U.S.A. 1028 p.
- Shaw R H, W E Loomis (1950) Bases for the prediction of corn yield. *Plant Physiol.* 25:225-244.
- Shaw R H, H C S Thom (1951) On the phenology of field corn, the vegetative period. *Agron. J.* 43:9-15.
- Sprague G F (1936) The relation of moisture content and time of harvest to germination of immature corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 28:472-478.
- Summer A K, W L Corle, D T Spur, J A Kernan (1987) The effect of immaturity and harvesting method on the properties and quality of barley. *Can. J. Plant Sci.* 67:953-963.
- Tekrony D M, D B Egli, A D Phillips (1980) Effect of field weathering on the viability and vigour of soybean seed. *Agron. J.* 72:749-753.