



DETERMINACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA EN (*Zea mays* L.) SEMILLA DE MAÍZ MEDIANTE GANANCIA DE PESO SECO Y MÉTODOS ALTERNOS

Mancera-R., A.¹; Ramírez-J., A.²

¹Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. ²Planta de Beneficio de Semillas, Centro de Capacitación e Innovación Tecnológica, Colegio de Postgraduados.

Autor responsable: artuomr@colpos.mx

RESUMEN

Se compararon diferentes métodos documentados para estimar el estado de madurez del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para semilla, encontrándose que la presencia de la capa negra es el mejor indicador para la madurez fisiológica, considerando que ésta se alcanzó cuando en la muestra, la proporción fue superior al 75%; mientras que la línea de leche (útil en monitoreos previos) tuvo un valor de 10%. Si se cuenta con el equipo de laboratorio adecuado, la determinación del peso seco y del contenido de humedad resultan los métodos de mejor precisión y son menos laboriosos que los anteriores, aunque requieren de periodos de tiempo determinados, 24 y cuatro horas, respectivamente. La evaluación de la germinación resultó

un excelente indicador al discriminar casi por completo las semillas en madurez fisiológica, siendo superior al 75% en el quinto muestreo semanal, mientras que en semillas no maduras en los primeros cuatro muestreos semanales el porcentaje fue de 0 a 20%, aunque este método requiere una semana, retrasando la obtención de resultados. La elección del método o combinación de éstos depende de las necesidades y restricciones específicas del productor de semilla.

Palabras clave: capa negra, línea de leche, humedad, germinación, vigor.

INTRODUCCIÓN

La madurez fisiológica está relacionada con la oportunidad de cosecha, la cual es importante en la preservación de la capacidad de germinación y el almacenamiento de las semillas. Al momento de llegar a la madurez fisiológica, la semilla tiene su máximo potencial para un buen establecimiento del cultivo, ya que posee el vigor que le permite soportar condiciones desfavorables, tales como mayor profundidad de siembra y tolerancia al frío y al exceso o déficit de humedad, entre otros factores. Conocer el momento en que se ha alcanzado la madurez fisiológica (MF) proporciona una herramienta estratégica en la producción de semilla de la mejor calidad y se define cuando la semilla alcanza su máxima acumulación de peso seco. En el presente estudio se compararon distintos métodos conocidos para determinar el momento en que la semilla ha alcanzado la MF (contenido de humedad, posición de la línea de leche y la intensidad en el color de la capa negra), cada uno de los cuales se comparó con la ganancia de peso seco y con la germinación en condiciones óptimas, condiciones posteriores a frío y a envejecimiento acelerado (Figura 1).

La madurez de la semilla en muchas ocasiones se cuenta a partir de la floración, dividiendo de este modo el desarrollo de las plantas en días a floración y días a madurez fisiológica.



Figura 1. Planta de maíz (*Zea mays* L.) con emisión de estigmas bajo condiciones de monitoreo de madurez fisiológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las muestras

Las muestras se obtuvieron de un lote de semilla de maíz (*Zea mays* L.), cuya fecha de siembra fue del 25 de mayo. Los muestreos se efectuaron de manera semanal a partir del 26 de septiembre y hasta el momento en que se obtuvo la máxima cantidad de materia seca. Se tomaron tres repeticiones de tres mazorcas, cada una al azar. El desgrane para la obtención de la muestra se realizó de manera manual, separando la semilla de acuerdo con su posición de la mazorca (base, centro y punta).

Determinación del Contenido de humedad

La determinación de humedad se hizo mediante el método descrito por la International Seed Testing Association (ISTA), que consiste en secar tres repeticiones de 15 semillas cada una a 130 °C por cuatro horas y determinar la pérdida de humedad (ISTA, 2005). La fórmula utilizada para ello fue: $CH = 100 \times (P_i - P_f) / P_i$; donde: CH: contenido de humedad en base húmeda (%); P_i : peso inicial, tomado antes del secado; P_f : peso final, tomado después del secado.

Determinación de peso seco

En esta cuantificación se utilizaron dos repeticiones de 100 semillas cada una para cada minilote de acuerdo con su ubicación en la mazorca, secando por un periodo de 24 h a 70 °C. El peso al final del periodo de secado se consideró de cien semillas y se extrapoló al peso de mil de éstas al multiplicarlo por el peso promedio obtenido por 10.

Determinación de la presencia y formación de la capa negra

Se realizó en una muestra de 100

semillas con base en la metodología reportada por Daynard y Duncan (1969), en la que las semillas son cortadas de manera longitudinal y se observa presencia o coloración de la capa negra en la base.

Determinación de la posición de la línea de leche

Se evaluó la presencia de “leche” en 100 semillas de maíz mediante un corte superficial (Afuakawa y Crookston, 1984) a la semilla en la cara opuesta al embrión y presionándola para estimar la ubicación de posible escurrimiento de materia lechosa ($\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ a partir de la base o pedicelo de la semilla). Se consideró el punto más cercano a la corona (opuesto al pedicelo) como línea de leche.

Determinación del porcentaje de germinación

Se hizo de acuerdo con el método conocido como “entre papel”, recomendado por la ISTA (2005), excepto en el número de semillas por repetición, ya que ésta y las pruebas

de vigor fueron hechas con cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. La prueba se realizó humedeciendo un par de hojas de papel tipo “sanitas” en las cuales se colocaron 25 semillas, cubriéndolas con más sanitas, haciendo un dobladillo en la parte inferior de las hojas y en los márgenes laterales; finalmente, se enrolló y dentro de una bolsa de plástico transparente se colocó en un estante de la cámara de germinación con temperatura de entre 20-30 °C, con presencia de luz e hidratación constante. Al final se obtuvo el porcentaje de cada repetición y calculó el promedio (Figura 2, 3).



Figura 2. A) Detección de la capa negra en semillas de maíz blanco, azul y amarillo al momento de madurez fisiológica. B) Prueba de germinación estándar para maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), realizado con la técnica “entre papel”.



Figura 3. Prueba de germinación estándar en almácigo de arena, durante su establecimiento y al final, con el techo de micro túnel para mantener la temperatura.

Determinación del vigor

La cuantificación del vigor se hizo utilizando la prueba de frío, colocando los enrollados de germinación en un refrigerador a 7 °C por una semana y, posteriormente, en condiciones de germinación estándar por cuatro días más (Figura 4). La prueba de envejecimiento acelerado se realizó colocando las semillas en cámaras con 100% de humedad relativa a temperatura de 40 °C por cuatro días y posteriormente fueron sometidas a una prueba de germinación estándar. En todos los casos se tomaron semillas provenientes de los puntos base, centro y punta de la mazorca (Figura 5).

La charola consistió en una caja de plástico con una rejilla de alambre que impide el contacto directo con el agua. La charola se tapa antes de colocarse en la estufa a 40 °C. La cantidad de agua y temperatura generan un ambiente con humedad en saturación.

Los enrollados de germinación se colocaron en refrigeración a 7 °C por siete días, antes de ponerlos en condiciones de germinación estándar.



Figura 4. Prueba de frío para determinar el vigor en semillas.



Figura 5. Semillas colocadas en charolas para envejecimiento acelerado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad y materia seca

Las Figuras 6 y 7 muestran el contenido de humedad y acumulación de peso seco promedio de las semillas por cada estrato de la mazorca (base, centro y punta), resaltando que al inicio de la prueba las semillas contenían 46% de humedad promedio (escala derecha), finalizando con 33.8%, el cual fue inferior al contenido de humedad en el momento de MF reportado por Afuakwa y Crookston (1984), quien sugiere un contenido de humedad de 35% para maíz al momento de madurez fisiológica. La acumulación de peso seco es el indicador más preciso y determinante como indicador de MF, y a este respecto se puede observar que los valores fueron semejantes en el cuarto y quinto muestreo,

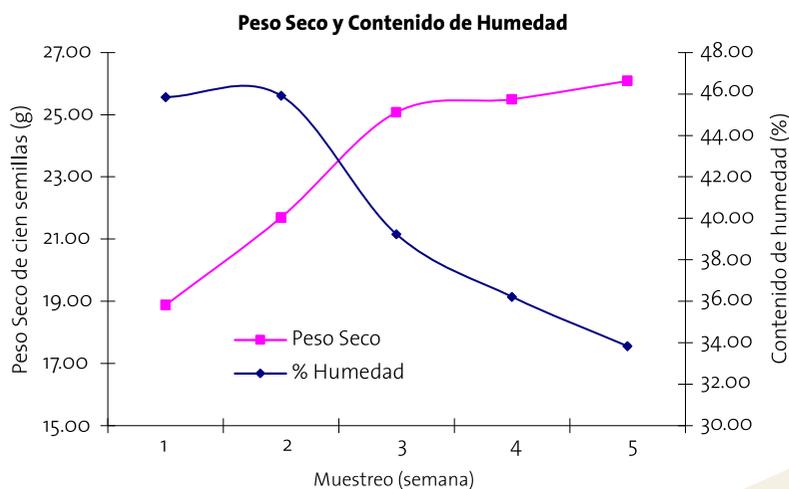


Figura 6. Peso seco y contenido de humedad de cien semillas de maíz (*Zea mays* L.) procedentes de tres estratos de la mazorca.

con ligeras diferencias únicamente en el tercero, lo cual fue indicativo de que se obtuvo la máxima cantidad de peso seco en el quinto y, con ello, la madurez fisiológica.

Intensidad en la coloración de la capa negra

La Figura 8 muestra la intensidad promedio de la capa negra a través

de los distintos muestreos; en el primero la intensidad de color fue de 1, lo que indica que la capa negra no era visible, o bien, tenía un color claro o traslúcido. Aunque el color varió un poco del primero al tercero, los colores se clasificaron como similares debido a que todos ellos eran claros. A partir del tercero y el cuarto, algunas semillas presenta-

ron capa negra o café oscuro, pero la mayoría de la muestra (lote) continuaba con un color claro, incluso con demasiada leche, lo cual fue indicativo de heterogeneidad en la tasa de maduración de las semillas. En el cuarto se registró gran cantidad de semillas con capa oscura procedentes del estrato apical. Lo anterior fue contrario a lo esperado, ya que de este estrato se suponía mayor madurez en relación con los estratos medio y basal (mayor presencia de capa negra) (Daynard y Duncan, 1969). En el quinto muestreo, el promedio de la capa negra expresó su máxima intensidad (tono negro), lo que coincidió con los resultados de la acumulación de peso seco (MF). La clave para determinar el color se graduó de acuerdo con su intensidad, como 1: claro, equivalente a una intensidad en color no perceptible o claro, hasta color amarillo; 2: oscuro, equivalente a una intensidad en verde oscuro o amarillo demasiado intenso; 3: café o gris intenso; y 4: negro.

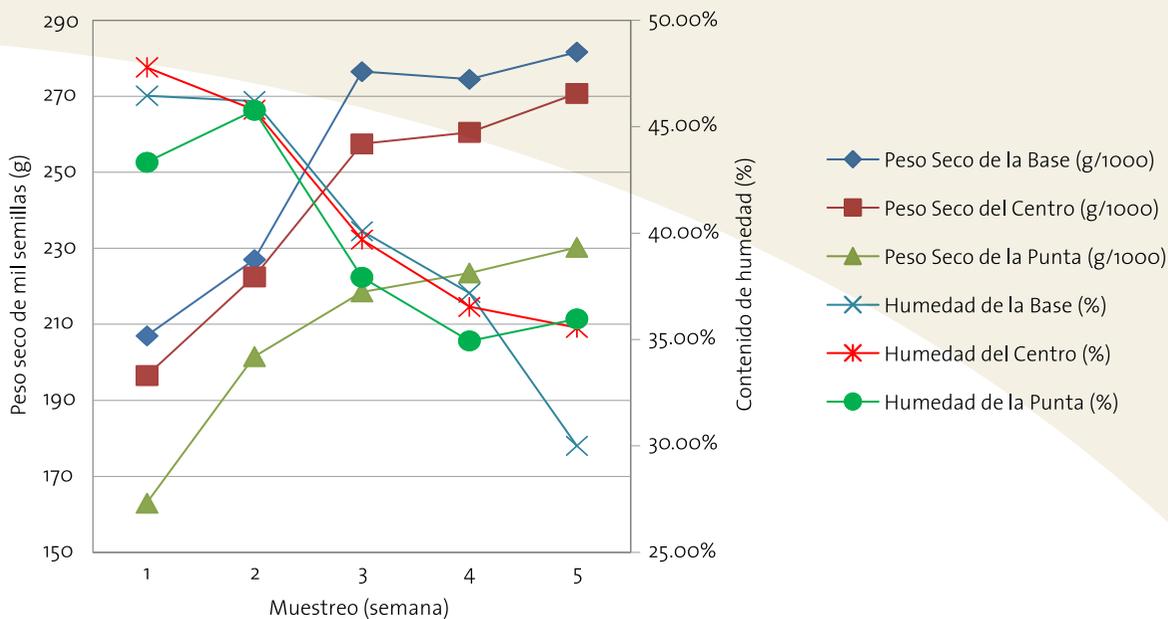


Figura 7. Peso seco y contenido de humedad de mil semillas de maíz (*Zea mays* L.) procedentes de tres estratos de la mazorca.

Posición de la línea de leche

La Figura 9 expresa la ubicación promedio de la línea de leche, donde se aprecia que en el primer muestreo la posición de la misma fue de $\frac{3}{4}$, localizando varias semillas en etapa de 100% leche, conocido como estado de *masa suave* (Afuakwa y Crookston, 1984). A medida que maduraban las semillas, la línea de leche se recorrió hacia la base o pedicelo de la semilla, hasta que en el quinto muestreo la mayoría de ellas tenía un valor cercano a cero leche, registrando una mínima cantidad con de menos de 10% mediante el corte superficial en la semilla. Se asume que este valor corresponde a cero “leche”, ya que no es perceptible a simple vista.

Porcentaje de germinación

La capacidad de germinación de las semillas se obtiene mucho antes de la madurez fisiológica (Solomon *et al.*, 2001; Flores, 2004), sin embargo, en la práctica los resultados de esta prueba en los primeros muestreos presentaron valores muy bajos de germinación, los cuales arrancaron desde 1% en promedio en los estratos medio y base del primer muestreo, hasta 5% en el estrato apical. Lo anterior podría indicar que el estrato apical maduró antes (al menos el embrión), lo cual es congruente con lo reportado por Daynard y Duncan (1969), quienes mencionan que las semillas tienen una tasa más acelerada de acumulación de materia seca en condiciones de estrés y, de acuerdo con estos autores, las semillas apicales son las que menos prioridad tienen en el suministro de asimilados, lo cual representa un estado de estrés.

Se aprecia que los máximos porcentajes de germinación se obtuvieron en el quinto muestreo, con un máximo de 88% correspondiente al estrato medio. Las barras indican los porcentajes de emergencia después de un mes de almacenamiento y se aprecia que el porcentaje de emergencia se incrementó respecto a las que se ensayaron sin previo almacenamiento, lo cual se atribuye a la disminución de ácido abscísico, que impide que las semillas germinen prematuramente en la mazorca (Camacho, 1994) (Figura 10).

Porcentaje de germinación en la prueba de frío (Vigor I)

Esta prueba sirve para determinar el vigor de las semillas y denota su capacidad de germinación bajo condiciones de campo fuera de las óptimas. De acuerdo con Delouche (1976), esta magnitud se incrementa de manera proporcional a la obtención del peso seco, aunque no siempre es constante y se puede constatar al comparar las gráficas de las Figuras 7 y 10, donde en el tercer muestreo se regis-

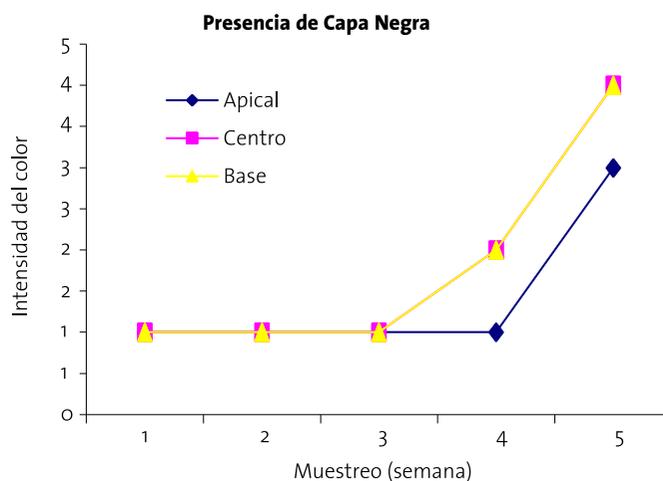


Figura 8. Intensidad promedio de la capa negra en cada muestreo. 1: claro; 2: oscuro; 3: café o gris intenso; y 4: negro.

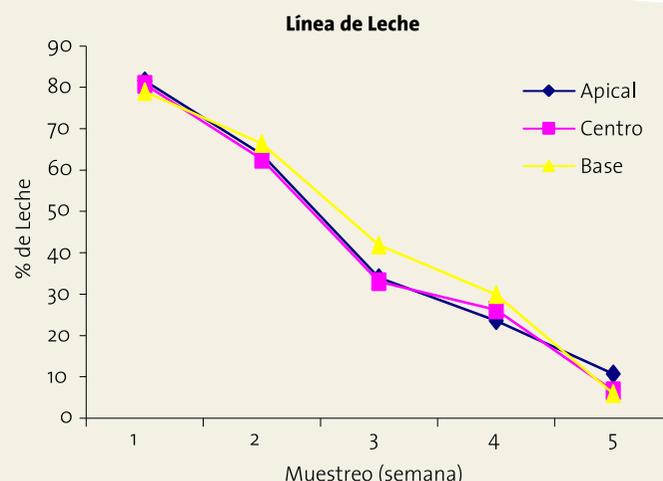


Figura 9. Posición promedio de la línea de leche en semillas de maíz (*Zea mays* L.) en cada muestreo.

tró un incremento considerable del vigor de las semillas y, aun cuando decrece en el cuarto, recupera su capacidad de emergencia en el quinto. En cuanto a las semillas almacenadas (representadas por barras), se aprecia que hubo un incremento considerable en el vigor de las mismas, a excepción de las correspondientes al quinto muestreo con ligero un decremento. Durante los ensayos se observó que las plántulas de las semillas almacenadas crecieron menos que las provenientes de semillas sin previo almacenamiento (Figura 11).

Porcentaje de germinación en la prueba de envejecimiento acelerado (Vigor II)

Se esperaría que esta prueba tuviera resultados similares

a la de frío (por ser una de vigor), sin embargo, el frío y el calor afectan de manera distinta la capacidad de emerger de la semilla y, en general, la germinación fue superior en ésta que en la de frío, lo que se aprecia comparando los porcentajes de emergencia de las Figuras 11 y 12. Esto se atribuye a que quizás el calor y la humedad promovieron la germinación de la semilla, lo cual no ocurrió en la prueba de frío donde, a excepción de la humedad, las condiciones eran más propicias para el almacenaje de la semilla (frío) que para la germinación.

CONCLUSIONES

Se compararon algunas técnicas utilizadas en el monitoreo de la madurez fisiológica. Un método comúnmente utilizado, pero que no se consideró en el presente estudio, son los días después de siembra y de polinización; existen otros indicadores, como los grados días de crecimiento (Eckert *et al.*, 1986), que han resultado ser un método muy práctico y preciso; no obstante, es importante considerar que, en todos los casos, la referencia de madurez fisiológica es la acumulación de peso seco. Los porcentajes más altos de peso seco y de emergencia tanto en la prueba de germinación estándar como en la de frío se obtuvieron al quinto muestreo, seguido del cuarto. En la de envejecimiento acelerado, la mejor emergencia se registró en el quinto muestreo y en el caso de las semillas recién cosechadas se obtuvo en el cuarto; sin embargo, se considera que hubo mayor utilidad en los análisis de semillas que fueron almacenadas durante

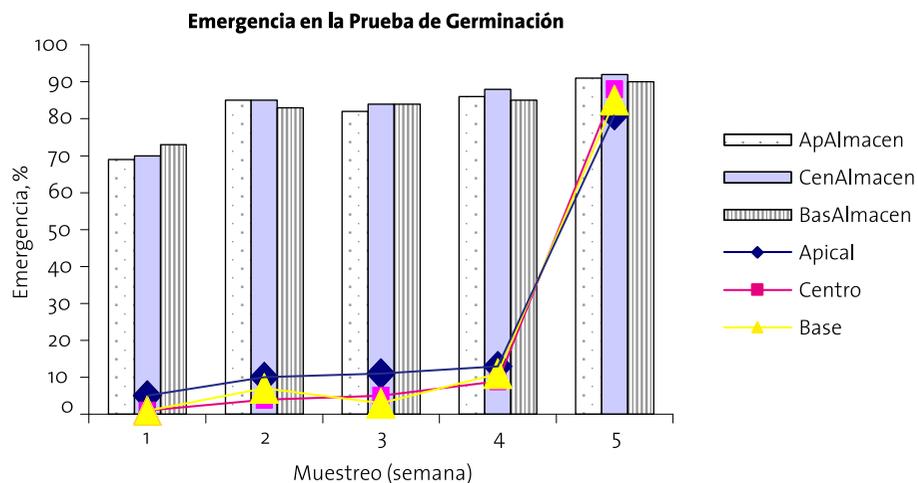


Figura 10. Porcentaje de germinación estándar en cada muestreo. ApAlmacen, CenAlmacen y BasAlmacen, se refieren a la germinación de semillas de los estratos apical, central o medio, y basal, luego de haber sido almacenados por un mes.

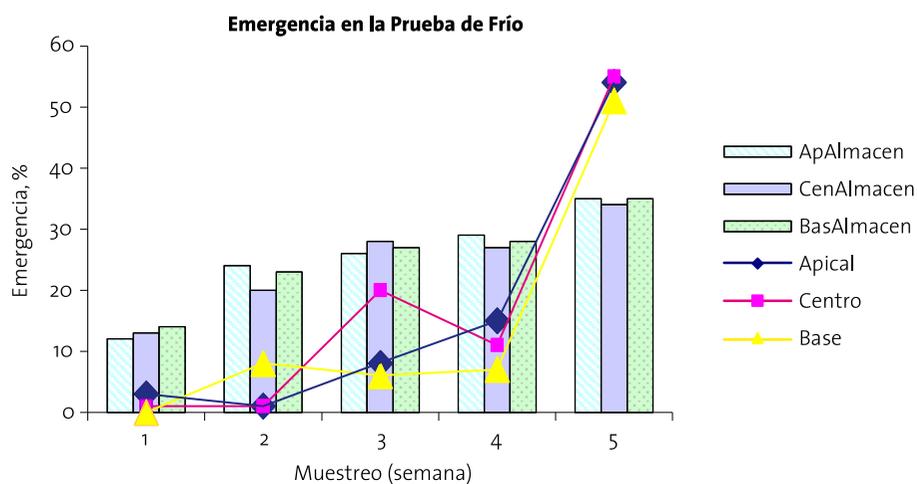


Figura 11. Porcentaje de emergencia promedio en la prueba de frío a través de los muestreos (cosechas).

un mes (considerando que el almacenamiento fue adecuado), ya que la semilla siempre se almacena por un periodo de tiempo previo a su siembra.

La mejor calidad fisiológica se obtuvo en semillas cosechadas en la quinta semana, donde el peso seco de mil semillas (promedio de los tres estratos) fue de 260.9 g, mientras que en el cuarto muestreo fue de 255 g. Los indicadores línea de leche y capa negra coincidieron en el momento de madurez, considerando que la primera fue menor a 10% en el quinto muestreo y superior a 25% en el cuarto, mientras que la capa negra se presentó en el quinto, con una diferencia (menor nivel) en la intensidad de la coloración en el cuarto.

Se consideró que la presencia de capa negra es el mejor indicador, estimando que su proporción sea superior a 75% de la muestra, pero la

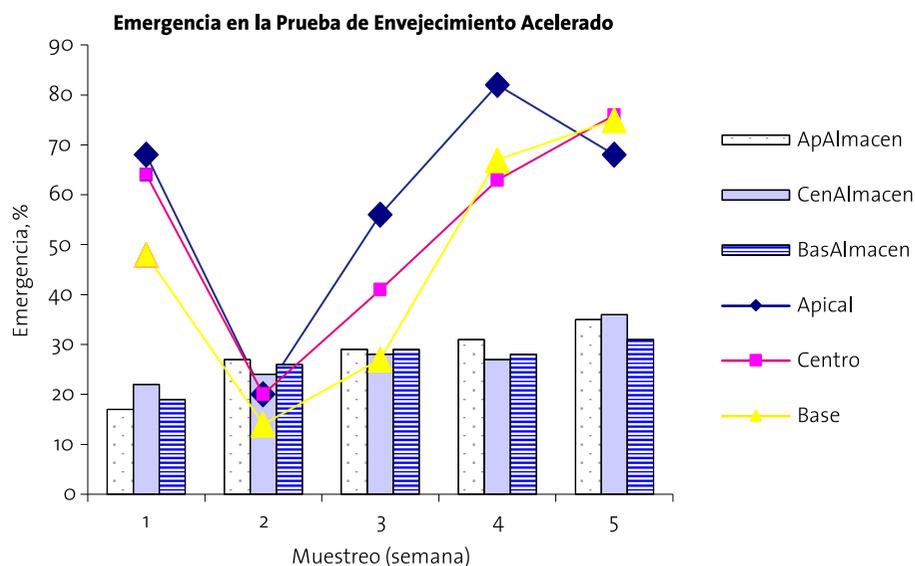
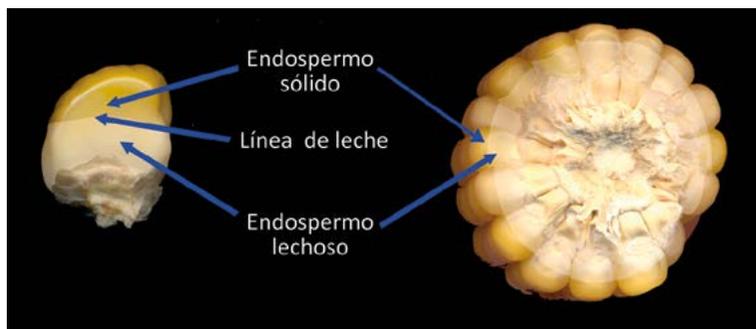


Figura 12. Porcentaje de emergencia promedio en la prueba de envejecimiento acelerado a través de los muestreos en semanas.



Semillas de maíz que muestran una línea de leche de aproximadamente 50 %, el embrión se encuentra en el plano opuesto al mostrado en la imagen.

línea de leche resultó más práctica en monitoreo previo, ya que la colocación de la capa negra podría resultar subjetiva y más difícil de medir. Al respecto, se concluye que lo mejor es combinar estos dos métodos y, en caso de tener duda o de no tener otra opción (si se trabaja con otras especies), utilizar el monitoreo de adquisición de peso seco, para lo que será necesario recurrir a un laboratorio que cuente con los equipos necesarios, tales como estufa, una variación de ± 3 °C como máximo y báscula con 0.001 g de precisión.

LITERATURA CITADA

- Afuakwa, J. J. and R. K. Crookston. 1984. Using the kernel milk line to visually monitor grain maturity in maize. *Crop Sci.* 24: 687-691.
- Camacho M.F. 1994. Dormición de semillas, causas y tratamientos. Ed. Trillas. México. Pp. 22-23.
- Daynard, T. B. and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9: 473-476.
- Delouche, J. C. 1976. Seed maturation. Notes. Seed Technology Laboratory, Mississippi State University, Mississippi State, USA.
- Eckert, D. J. and D. R. Hicks. 1986. Maturity rating systems for corn. *National Corn Handbook*. Cooperative Extension Service. Iowa State University. Ames, Iowa, USA.
- Flores, H. A. 2004. Introducción a la tecnología de semillas. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp. 61.
- ISTA International Seed Testing Association. 2005. International Rules for Seed Testing. Edition 2005. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, CH-Switzerland.
- Solomon, E. P., L. R., Berg, y D. W., Martin. 2001. *Biología*. Quinta edición. McGraw-Hill Interamericana. Pp. 781.