

EL RETRASO DEL SECADO ARTIFICIAL Y LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA DE MAÍZ

THE DELAY IN ARTIFICIAL DRYING AND THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF MAIZE SEED

Araceli Ramírez Jaspeado¹, Leobigildo Córdova Téllez^{1*}, Ma. Teresa Colinas León², Leopoldo Mendoza Onofre¹ y Juan C. Molina Moreno¹

¹ Orientación en Producción de Semillas, Campus Montecillo, Colegio de Posgrados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ²Departamento de Fitotecnía, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Chapingo, Edo. de México.

*Autor para correspondencia (lcordova@colpos.mx)

RESUMEN

El contenido de humedad de las mazorcas de maíz (*Zea mays* L.) a la cosecha y el retraso en el secado artificial pueden reducir la calidad fisiológica de las semillas. En Montecillo, Edo. de México, se cosecharon 2000 mazorcas de la hembra del híbrido trilineal HS2 con contenidos de humedad de 47, 39, 31, 24 y 17 % (Cosechas 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente), las que se colocaron en tres contenedores sin ventilación. A las 0, 12, 24, 36 y 48 h de retraso en el secado artificial, se tomaron semillas de 15 mazorcas en tres etapas: 1) Al término de cada tiempo de retraso, para evaluar los cambios en humedad, temperatura, respiración y germinación; 2) Al concluir el secado artificial (12 % de humedad); y 3) Posterior a seis meses de almacenamiento; en ambas etapas se evaluó la germinación y el vigor. Previo al secado artificial, se incrementó significativamente la temperatura y la respiración después de 12 h de retraso en la Cosecha 1 y después de 24 h en las Cosechas 2, 3 y 4, pero ni la germinación y ni el vigor disminuyeron. Al concluir el secado artificial hubo reducciones en la velocidad de germinación (cosechas 1, 2 y 5) conforme el tiempo del retraso fue más prolongado, pero la germinación se mantuvo superior al valor de 85 % requerido para la certificación de semillas. Después del almacenamiento se incrementó la velocidad de germinación, aunque la germinación no se redujo en ningún tratamiento por abajo de 85 %; la conductividad y velocidad de imbibición aumentaron, y la germinación en envejecimiento acelerado disminuyó, especialmente cuando la humedad de cosecha fue superior a 24 % y el retraso de secado fue más prolongado. Se concluye que el retraso del secado no redujo la germinación por abajo del mínimo requerido para certificación aún después de seis meses de almacenamiento, y que el vigor se redujo sólo después de seis meses de almacenamiento cuando se cosechó con humedades mayores a 24 %.

Palabras clave: *Zea mays* L., retraso en secado, contenido de humedad, calidad fisiológica.

SUMMARY

The moisture content of maize (*Zea mays* L.) ears at harvest time and the delay of artificial drying may decrease seed physiological

quality. In Montecillo, State of Mexico, 2000 ears from the female parent of a three-way cross hybrid HS2 were harvested at 47, 39, 31, 24, and 17 % moisture content (Harvests 1, 2, 3, 4 and 5, respectively), and placed into three containers without ventilation. At 0, 12, 24, 36, and 48 h of drying delay, seeds were removed from 15 ears at three phases: 1) At the end of each drying delay period (before artificial drying), to evaluate changes in moisture content, temperature, respiration, and germination; 2) At the end of artificial drying (12 % moisture content); and 3) After six months of storage. Germination and vigor were evaluated in both phases. Before artificial drying, temperature and respiration increased after 12 h for Harvest 1 and after 24 h for Harvests 2, 3 and 4, but seed germination and vigor did not decrease. At the end of artificial drying, the speed of germination decreased (Harvests 1, 2 and 5) as the drying delay time increased; however, germination was maintained above the limit required for seed certification (85 %). After storage the germination speed increased, although the percentage of germination declined (no treatment decreased below 85 %); electrical conductivity and imbibition rates also increased, and seed germination in the accelerated ageing test decreased, especially when the harvest moisture content was above 24 % and the drying delay was prolonged. It is concluded then that the drying delay did not reduce germination below the minimum required for seed certification even after six months of storage, and that vigor declined only after six months of storage when the seed was harvested above 24 % of moisture content.

Index words: *Zea mays* L., drying delay, moisture content, physiological quality.

INTRODUCCIÓN

Mantener la máxima calidad fisiológica de la semilla producida por la planta madre, es un objetivo primordial de las empresas semilleras dada la alta competitividad que impera en el mercado. Las grandes empresas cosechan la semilla de maíz (*Zea mays* L.) en mazorca en etapas cercanas a la madurez fisiológica y, por consiguiente, con contenidos de humedad mayores a 35 % (Navratil y

Burris, 1984). El alto contenido de humedad de la semilla obliga a un riguroso manejo del lote para evitar un secado inadecuado y los daños mecánicos que pudieran comprometer la calidad física, fisiológica y sanitaria de las semillas. Los retrasos en el secado son frecuentes cuando las instalaciones de acondicionamiento están alejadas de los campos de producción (Eichelberger *et al.*, 2002) o la capacidad de recepción y secado es insuficiente (Borba *et al.*, 1998; Eichelberger *et al.*, 2002). En estos casos, las mazorcas están en condiciones desfavorables (alto contenido de humedad y falta de aireación) que inducen incrementos en la temperatura debido al calor proveniente de la respiración de la semilla, que acelera su deterioro (Hall, 1980; Perdomo y Burris, 1998) al promover la presencia de hongos (Shade *et al.*, 2000) y la reducción de azúcares porque afectan el proceso germinativo (Perdomo y Burris, 1998).

Durante el proceso de deterioro de la semilla ocurren cambios fisiológicos y bioquímicos. Smith y Berjak (1995) encontraron una reducción en la tasa de síntesis de ARN durante el proceso de imbibición a germinación. Kosanke *et al.* (1990) observaron un decremento en el transporte de ARNr del núcleo a los ribosomas como consecuencia de incrementos en la edad de la semilla de *Agrostemma githago*. Livesley y Bray (1991) detectaron una menor tasa de síntesis de enzimas en la aleurona de semillas envejecidas de trigo (*Triticum aestivum L.*). La pérdida de la integridad física de las membranas es uno de los cambios que reducen la viabilidad de la semilla (Basavarajappa *et al.*, 1991; Dawidowicz y Podstolski, 1992); esta pérdida de integridad resulta de la producción de radicales libres y la peroxidación de lípidos, que facilita la salida de solutos celulares durante la imbibición (Smith y Berjak, 1995).

Son pocos los estudios en los que se ha evaluado el efecto de retraso del secado combinado con la época de cosecha y la duración del almacenamiento sobre la calidad fisiológica. Borba *et al.* (1998) encontraron que la calidad fisiológica de la semilla de maíz cosechada con 21 % de humedad disminuyó significativamente después de 84 h de retraso de secado, lo que no ocurrió en aquéllas cosechadas con 16 %. Eichelberger *et al.* (2002) reportaron una reducción significativa en la germinación y el vigor en semillas de *Lolium multiflorum Lam.* cuando el retraso del secado fue superior a 14 h en semilla cosechada con 35 % de humedad, así como un incremento en el contenido de aminoácidos y disminución en el contenido de azúcares solubles, almidón y proteínas; estas reducciones fueron más pronunciadas al evaluar nuevamente esas variables después de cuatro y ocho meses de almacenamiento.

Con la finalidad de determinar el deterioro que puede causar la demora del secado, en el presente trabajo se eva-

luó el efecto de la duración del retraso del secado artificial sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz con diferentes contenidos iniciales de humedad, en tres etapas: a) Al término de cada tiempo de retraso, previo al secado artificial, b) Al concluir el secado artificial, y c) A seis meses de almacenamiento. Al respecto, se postula que habría una mayor calidad fisiológica cuando el retraso sea mínimo y la humedad de cosecha sea inferior a la alcanzada en o posterior a la madurez fisiológica, y que durante el almacenamiento se conserve dicha calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembraron 5000 m² del híbrido de cruce simple (CL₁₁ x CL₁₂), hembra del híbrido trilineal HS2, en el ciclo primavera-verano del 2004, en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Se utilizaron surcos de 80 cm de ancho y una distancia entre plantas de 50 cm. Las prácticas culturales se hicieron de acuerdo con las recomendaciones del Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 1981). A partir de los 30 d después de la floración femenina se tomaron muestras de cinco mazorcas al azar, a intervalos de 8 d, para monitorear el contenido de humedad, criterio que se usó para decidir los momentos de cosecha.

Épocas de cosecha y tiempos de retraso del secado

Cuando las semillas tenían 47, 39, 31, 24 y 17 % de humedad, se cosecharon (antes de las 10 am) 2000 mazorcas con brácteas de cada nivel de humedad. Las mazorcas se colocaron en tres contenedores de cartón y se guardaron en un cuarto a 22 °C y 70 % de humedad relativa, que se mantuvieron constantes. Las paredes internas de los contenedores fueron cubiertas con una capa de unicel de 2 cm de espesor, con el propósito de conservar las condiciones iniciales de humedad y temperatura generadas por la masa de mazorcas. En el interior de los contenedores se monitoreó la temperatura y la HR mediante sensores HOBOS H8 programados para tomar lecturas cada hora. En cada cosecha se evaluaron cinco tiempos de retraso del secado: 0 (testigo), 12, 24, 36 y 48 h. El diseño experimental fue de bloques completos al azar en cada cosecha, donde los tres contenedores fueron las repeticiones, con unidades experimentales de 15 mazorcas por cada tiempo de retraso.

Las variables para determinar el efecto de retraso del secado en la calidad fisiológica de la semilla se midieron en tres etapas: 1) Previo al secado artificial (inmediatamente al término de cada tiempo de retraso); 2) Al concluir el secado artificial; y 3) A los seis meses de almacenamiento.

Evaluación del retraso previo al secado artificial

Al concluir cada tiempo de retraso del secado se tomaron 15 mazorcas al azar de cada contenedor y se separaron 15 semillas de la parte media de cada una (225 semillas por cada tiempo de secado). En éstas se evaluó inmediatamente su contenido de humedad, tasa de respiración y la calidad fisiológica (germinación estándar y velocidad de germinación), según se describe en apartado posterior.

Evaluación del retraso al concluir el secado artificial

Las 15 mazorcas de donde se desprendieron las semillas, se sometieron a secado artificial en un secador prototípico, a 35 ± 1 °C y un flujo de aire de 1.6 m s^{-1} , para reducir su humedad a 12 %. Posteriormente, se desgranó la parte media de cada mazorca y del total se tomaron 400 semillas al azar por cada tiempo de retraso, para evaluar la calidad fisiológica mediante las pruebas de germinación estándar, envejecimiento acelerado, velocidad de germinación y conductividad eléctrica.

Evaluación del retraso después de seis meses de almacenamiento

La semilla remanente (alrededor de 1200 semillas) se almacenó durante seis meses a 21 °C y 60 % de HR, y así simular el tiempo requerido para su comercialización. En una muestra de 500 semillas por cada tiempo de retraso, se midió la cinética de imbibición y la calidad fisiológica mediante las pruebas de germinación estándar, velocidad de germinación, envejecimiento acelerado y conductividad eléctrica.

Variables evaluadas

Temperatura y humedad relativa en el interior de los contenedores. En cada repetición (contenedor) se tomaron únicamente los valores de temperatura correspondientes a los tiempos en que se removieron las muestras (0, 12, 24, 36 y 48 h) previas al secado artificial.

Contenido de humedad de la semilla entera y del embrión. Se aplicó el método de la estufa a 130 °C (ISTA, 2004), en tres repeticiones de 10 semillas y 10 embriones (extraídos con una navaja) por cada tiempo de retraso. El peso seco de la semilla completa se utilizó para graficar la acumulación de materia seca y determinar el punto de madurez fisiológica.

Germinación estándar e índice de velocidad de germinación. La primera prueba se hizo de acuerdo con las

recomendaciones de la ISTA (2004), excepto que se usaron 100 semillas por tratamiento divididas en cuatro repeticiones de 25. Se utilizó el método “entre papel” enrollado en forma de “taco”, colocados en bolsas de plástico y en una cámara de germinación a 25 ± 1 °C. Para evaluar la velocidad de germinación, los tacos se abrieron diariamente durante 7 d y se contabilizaron las semillas con radícula emergida, con lo que se calculó el índice de velocidad de germinación (Maguire, 1962). En el día 7° se contó también el número de plántulas normales y anormales.

Envejecimiento acelerado. Se aplicó la metodología propuesta por Delouche (1996), que consiste en mantener las semillas a 45 ± 1 °C y 100 % de HR por 72 h, en una cámara de ambiente controlado. En cajas de plástico con tapa hermética (10 x 10 x 3.5 cm) se agregaron 40 mL de agua destilada, se colocó una malla de alambre (3 cm sobre el nivel del agua) y sobre ésta se depositaron 100 semillas por cada tiempo de retraso. Al finalizar este tratamiento se hizo la prueba de germinación estándar.

Conductividad eléctrica. Se efectuó de acuerdo con Matthews y Powell (1981): 150 semillas por cada tiempo de retraso (tres submuestras de 50) se colocaron en vasos de 250 mL, que contenían 75 mL de agua desionizada. El vaso se cubrió con papel aluminio para evitar evaporación y contaminación, y el contenido se dejó reposar por 24 h a 20 °C. Enseguida se midió la conductividad eléctrica (OAKTON WD-35607) de la solución, la que se reporta en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Tasa de respiración. Se evaluó únicamente al término de las 0, 24 y 48 h de los tiempos de retraso de secado previos al secado artificial en cada una de las épocas de cosecha. Se pesaron cinco semillas por repetición y se incubaron en tubos Vacutainer de 7 mL por 1 h. Enseguida se extrajo el gas del espacio libre de los tubos, se inyectó en nuevos y se conservaron a -4 °C. Posteriormente, para determinar la emisión de CO₂, 1 mL del contenido gaseoso de cada tubo fue inyectado directamente en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400CX) provisto con una columna capilar empacada, tipo abierta con capa porosa de sílica fundida, con fase estacionaria poraplot tipo Q (Chrompack) y un detector de conductividad térmica. La temperatura de la columna, del inyector y del detector fueron 80, 150 y 170 °C, respectivamente. La presión manométrica de la columna fue 158.5 kPa. Se utilizó helio como gas de arrastre, con un flujo de 32.3 mL min^{-1} . Los resultados se expresan en $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Cinética de imbibición. Se determinó en los tiempos de 0, 24 y 48 h de retraso del secado después de seis meses de almacenamiento, a partir de 50 semillas colocadas entre toallas húmedas, de las que se removían cinco

semillas cada 8 h (0 a 48 h), para ser secadas y luego determinar el contenido de humedad (ISTA, 2004).

Análisis estadístico

El efecto de la duración del retraso del secado se analizó por cosecha, conforme al diseño de bloques completos al azar y con arreglo factorial para determinar la interacción con las épocas de cosecha en forma combinada, mediante el procedimiento PROC ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999). Asimismo, se aplicó la prueba de Tukey para comparar los promedios de las variables que resultaron significativas en el análisis de varianza. También se calcularon los errores estándar de las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del retraso previo al secado artificial

El contenido de humedad de la semilla completa y del embrión no difirió significativamente entre los cinco tiempos del retraso de secado, en ninguna de las cosechas (información no mostrada), pero ambas variables resultaron diferentes entre las cinco épocas de cosechas. Esto indica que no hubo flujo de aire entre el interior y el exterior de cada contenedor y que la HR al interior del contenedor fue constante durante las 48 h previas al secado artificial, lo que corrobora la efectividad de la capa de unicel como aislante.

A diferencia de la humedad de la semilla, la temperatura de la atmósfera del contenedor y la respiración de la semilla fueron diferentes entre las épocas de cosecha y entre los tiempos de retraso del secado, excepto en la Cosecha 5 (Figura 1A y B). Bajo el supuesto de que la temperatura de la semilla es igual a la del contenedor, se observó que al retrasar más el secado la temperatura y la respiración de la semilla aumentaron pero las tasas de incremento variaron según la duración del retraso del secado y el contenido inicial de humedad, es decir, según la época de cosecha. Así, en la Cosecha 1 la temperatura se incrementó a una tasa promedio de $0.51\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$ de 0 a 24 h y de $0.17\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$ de 24 a 36 h de retraso en secado, para posteriormente estabilizarse; en cambio, en las Cosechas 2, 3 y 4 la temperatura durante las primeras 12 h fue algo menor que a las 0 h, pero posteriormente se incrementó a tasas de 0.60, 0.42 y $0.28\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$, respectivamente (Figura 1A).

La respiración (Figura 1B) siguió una tendencia similar a la temperatura, con un incremento de 38 % en las primeras 24 h de retraso y de 8.7 % en horas posteriores, en la Cosecha 1; mientras que en las Cosechas 2, 3 y 4 la respiración se redujo en 5, 14 y 19 % durante las primeras 24 h, comparado con 0 h (temperatura del laboratorio), pero posteriormente se incrementó en 30, 45 y 19 % comparado con 24 h. Estos resultados ratifican la complejidad de la interacción entre el contenido de humedad, la temperatura y la respiración de la semilla.

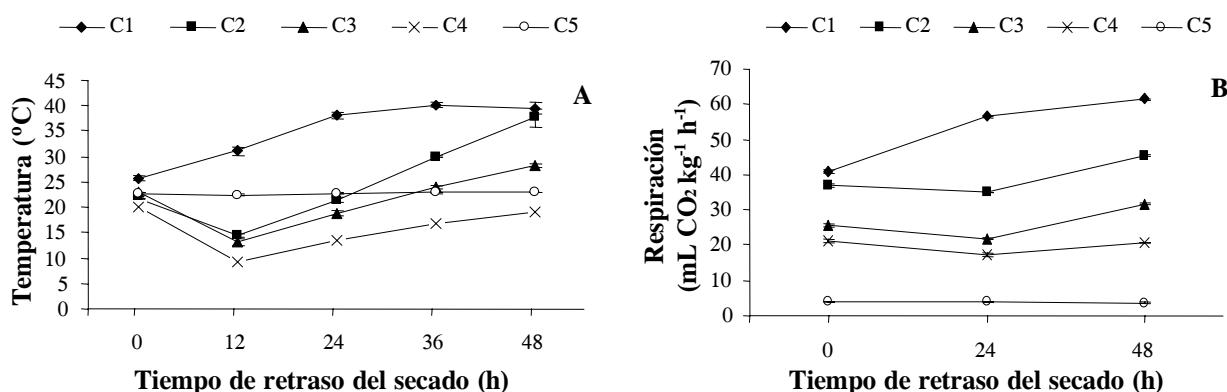


Figura 1. Temperatura del contenedor (A) y respiración de las semillas (B) durante los períodos de retraso del secado en semillas de maíz cosechadas con diferentes contenidos de humedad. Ci = Cosechas. Las barras en cada punto indican el error estándar de la media ($n = 3$).

Las disminuciones iniciales en temperatura y respiración en las Cosechas 2, 3 y 4 posiblemente se debieron a las temperaturas mínimas (4.0, 1.0, -3.5 °C, respectivamente) imperantes en el lote de producción durante esas fechas de cosecha, que se efectuaron antes de las 10 am. Según Fenaroli (1969), a 0 °C la respiración no es detectable, a 10 °C es apreciable, y entre 15 y 20 °C se incrementa rápidamente. Los incrementos en temperatura después de las 12 h de retraso en las Cosechas 2, 3 y 4, y en la Cosecha 1 a partir de las 0 h, concuerdan con los incrementos en respiración, asociados a su vez con la falta de flujo de aire en los contenedores. Hall (1980) señaló que la ausencia de aireación favorece un incremento en la temperatura, propiciado por la liberación de calor proveniente de la respiración de la semilla, lo cual se corroboró en el presente estudio. Asimismo, las tasas de incremento en respiración con respecto a la duración del retraso variaron según el contenido de humedad de la semilla, pues a mayor humedad (cuando ésta fue mayor de 24 %, Cosechas 1 a 4) fue mayor la respiración y, por ende mayor temperatura. Hor (1977) reportó que una alta humedad en la semilla de soya (*Glycine max L.*) y cacahuate (*Arachis hypogaea L.*), combinada con una alta temperatura, contribuyó a un mayor incremento en respiración, lo que coincide con los resultados aquí presentados.

La reducción de humedad en la semilla entera, al igual que la del embrión, siguió una tendencia casi lineal conforme se retrasó la época de cosecha. Además, la humedad del embrión siempre fue mayor que la de la semilla entera. En cambio, la tasa de secado fue menor en el embrión que en la semilla entera, aunque las diferencias entre estas variables dependieron del contenido inicial de la semilla (Figura 2A). Resultados similares se han observado en maíz (Córdova y Burris, 2002). La tasa lenta de secado del embrión puede estar asociada con la mayor compactación que se presenta entre las semillas cuando la mazorca posee altos contenidos de humedad (Herter y Burris, 1989), que restringen la circulación de aire entre ellas (Córdova y Burris, 2002). Esto último fue corroborado por Cortés (Com. personal)¹, quien encontró que el incremento en la tasa de pérdida de humedad del embrión está asociado con una reducción en el volumen de las semillas, a medida que la mazorca se deshidrata o avanza en su madurez, lo que facilita el flujo de aire entre éstas.

En la Figura 2A también se aprecia claramente la reducción en respiración conforme avanza la madurez de la semilla, pero la tasa de reducción difiere según el contenido

do inicial de humedad de ésta, que fue de 6.56 mLCO₂ kg⁻¹ cuando la humedad de la semilla fue mayor a 24 % (Cosechas 1 a 4), y de 17.2 mLCO₂ kg⁻¹ cuando había entre 24 y 17 % de humedad. Vertucci y Leopold (1984) encontraron que el consumo de oxígeno en semilla de soya durante el periodo de imbibición a germinación se incrementó cuando el contenido de humedad fue mayor a 24 %. El bajo consumo de oxígeno con humedad inferior a 24 % se atribuye a una pérdida de actividad enzimática o a la falta de agua libre que sirve como medio para las reacciones enzimáticas, o por ambas causas (Acker, 1969).

El retraso del secado no produjo un efecto claro en la velocidad de germinación y en el porcentaje de germinación (datos no mostrados); en cambio, los incrementos en germinación fueron evidentes al avanzar la maduración de las semillas; es decir, conforme la época de cosecha fue más tardía (Figura 2B). En las Cosechas 1 y 2 la germinación fue de 0 % y se incrementó en las Cosechas 3, 4 y 5 a 16, 71 y 98 %, respectivamente. En la Cosecha 3 se había alcanzado la máxima acumulación de materia seca en la semilla, pero en esa época apenas se obtuvo 16 % de germinación.

En general, la máxima germinación se obtiene poco antes o en madurez fisiológica, y esta etapa fenológica en cereales coincide con la máxima acumulación de materia seca. No obstante, en este caso la semilla se sometió a la prueba de germinación antes de su secado. Es probable que en las Cosechas 1 a 3 las semillas tuvieran una alta concentración de ácido abscísico (Koornneef *et al.*, 1982), que haya restringido la germinación. En cambio, las Cosechas 4 y 5 se realizaron cuando la humedad de la semilla ya había disminuido, así como los niveles de ácido abscísico (Karssen *et al.*, 1983; Hole *et al.*, 1989), lo que posiblemente permitió los incrementos observados en germinación. Esto también se corroboró al evaluar la germinación posterior al secado (Figura 2B), pues en este caso la germinación fue cercana a 100 % en todas las cosechas.

Efecto de retraso al concluir el secado artificial

Fue evidente el efecto benéfico del secado artificial en velocidad y porcentaje de germinación, con respecto a los valores previos al secado, porque ambas variables se incrementaron en cada época de cosecha y en cada tiempo de retraso. La velocidad de germinación siempre fue superior a 35 semillas por día (Figura 3A) y el porcentaje promedio de germinación superior a 94 % (Figura 3B). Sin embargo, también se manifestaron efectos de la interacción entre tiempos de retraso y épocas de cosecha; *i.e.*, en los períodos de retraso hubo ligeras reducciones en la velocidad de germinación, con un decremento acumulado a las 48 h de 4, 2 y 5 semillas germinadas por día, en las Cosechas 1, 2

¹ F Cortés C (2004) Cambios en el tamaño de la semilla de maíz y pérdida de humedad durante el secado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 105 p.

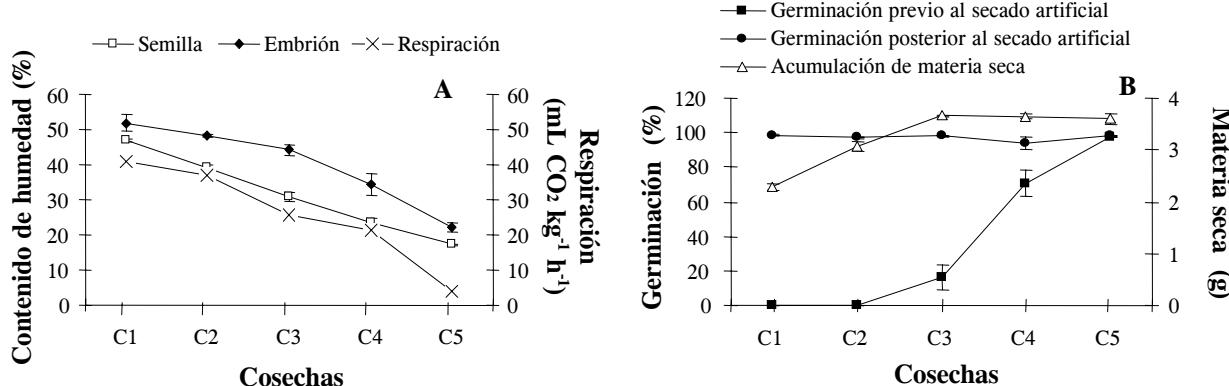


Figura 2. Contenido de humedad y respiración (A) y germinación y acumulación de materia seca (B) en semilla de maíz a medida que transcurre el tiempo de madurez. Ci = Cosechas. Las barras en cada punto indican el error estándar de la media ($n = 3$).

y 5, respectivamente (Figura 3A), aunque el porcentaje de germinación sólo fue afectado en las Cosechas 2 y 5 (Figura 3B). Aún así, todos los tratamientos mantuvieron valores superiores a 85 %, que es el mínimo requerido para la certificación de semilla de maíz (SNICS, 1975).

Los mayores incrementos en temperatura y respiración a través de los tiempos de retraso previos al secado artificial se registraron en las Cosechas 1, 2 y 3, por lo que según Anderson (1977) habría de esperarse un mayor deterioro; esto podría explicar los ligeros decrementos observados en la germinación posterior al secado artificial. Sin embargo, las Cosechas 1 y 3 conservaron la máxima germinación, lo que sugiere que en esas condiciones el deterioro de las semillas es reducido y, por consiguiente, se requeriría almacenar la semilla por un periodo mayor para que el deterioro se manifieste; esto fue previsto en el presente estudio ya que la semilla se almacenó por seis meses.

En el caso del vigor de la semilla, los tiempos de retraso una vez aplicado el secado artificial, causaron muy poco efecto en la prueba de germinación después del envejecimiento acelerado (Figura 3C) y en la de conductividad eléctrica (Figura 3D). La respuesta más contrastante fue la drástica reducción en conductividad eléctrica conforme la demora de secado fue más prolongada en la Cosecha 1, lo que puede interpretarse como un efecto positivo de los tiempos del retraso al reducir la permeabilidad de la membrana, pero tal efecto resultó insuficiente para reflejarse en incrementos en la prueba de germinación posterior al envejecimiento acelerado. Esa reducción en conductividad se debe posiblemente a cambios ultraestructurales y bioquímicos. Al respecto, Perdomo y Burris (1998) encontraron que la conductividad se redujo significativamente con períodos de preacondicionamiento (secado lento previo a un secado rápido), lo cual fue asociado con un alineamiento

de cuerpos lipídicos sobre la membrana celular durante la adquisición de la tolerancia a la desecación.

Efecto del retraso después del Almacenamiento

Las semillas almacenadas por seis meses después del secado artificial, en general presentaron mayor velocidad de germinación (Figura 4A) y menor porcentaje de germinación (Figura 4B) que las semillas evaluadas inmediatamente al concluir el secado artificial (Figuras 3A y B). Después de seis meses de almacenamiento, la tendencia a aumentar la velocidad de germinación conforme se prolongó el tiempo del retraso, (Figura 4A) fue mayor que al término del secado artificial. En contraparte, el porcentaje de germinación de semillas almacenadas siguió una tendencia más clara a disminuir que el observado en las semillas analizadas inmediatamente después del secado artificial, pero siempre con valores superiores a 86 % (Figura 4B). En ambas variables, las Cosechas 4 y 5 mostraron una tendencia similar, pero sin diferencias significativas entre los tiempos de retraso.

En cuanto a la influencia de las épocas de cosecha, se mantuvo la tendencia observada después del secado artificial: la velocidad de germinación y el porcentaje de germinación disminuyeron a medida que la época de cosecha se retrasaba, es decir, conforme las semillas avanzaban en su maduración. Los valores observados, sin embargo, siempre fueron aceptables (superiores a 47 semillas germinadas por día y 90 % de germinación).

Como se indicó, estos cambios coinciden con los mayores incrementos en temperatura y respiración ocasionados por los tiempos del retraso en las Cosechas 1, 2 y 3 (Figura 1A y B), que provocaron un deterioro en la semilla

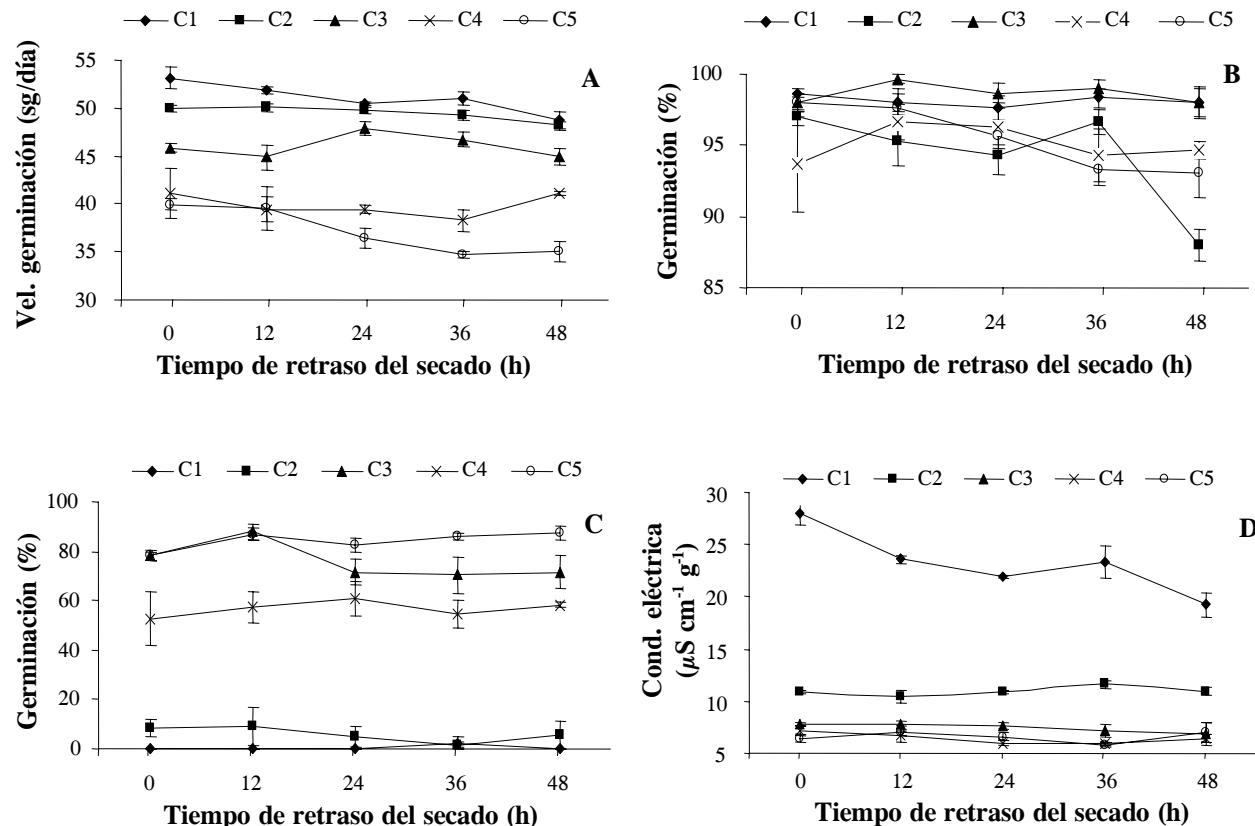


Figura 3. Velocidad de germinación (A), germinación (B), envejecimiento acelerado (C) y conductividad eléctrica (D) obtenidas después del secado artificial en semillas de maíz, cosechadas con diferentes contenidos de humedad y sometidas a tiempos de retraso en secado. Ci = Cosechas; sg = Semillas germinadas. Las barras en cada punto indican el error estándar de la media ($n = 3$).

presuntamente originado, entre otras causas, por un desequilibrio en las membranas celulares (Dawidowicz y Podstolski, 1992). Esto se midió indirectamente a través de la cinética de imbibición en todas las cosechas, aunque aquí únicamente se muestra la Cosecha 1 (Figura 5), en donde se demuestra que la absorción de agua fue mayor y más rápida a medida que los tiempos del retraso se prolongaron, lo que puede estar asociado con una mayor velocidad de emisión de radícula; esto no implica que cada semilla germinada llegue a formar una plántula normal.

En cuanto al efecto de los seis meses de almacenamiento sobre el vigor de las semillas, se observó, que en general, en la prueba de envejecimiento acelerado la germinación fue entre 5 y 15 puntos porcentuales menor (Figura 4C) que la obtenida al término del secado artificial (Figura 3C), especialmente cuando el retraso del secado fue entre 0 y 24 h, que con retrasos de 24 y 48 h, con separaciones claras entre el comportamiento de las épocas de cosecha a

favor de las semillas más maduras (Cosechas 4 y 5 vs. Cosechas 1, 2 y 3). Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Eichelberger *et al.* (2002), quienes reportaron una ligera reducción en el vigor evaluado mediante la prueba de envejecimiento acelerado en semillas de *L. multiflorum* cuando el periodo de retraso en secado fue superior a 24 h y la semilla fue almacenada por ocho meses.

Resultó evidente la tendencia a incrementar la conductividad eléctrica a medida que el retraso del secado se prolongó (Figura 4D), contrario a los decrementos obtenidos al término del secado (Figura 3D), especialmente en la cosecha en la que la semilla poseía mayor humedad (Cosecha 1). No obstante, dichos incrementos no se reflejaron en reducciones de la germinación por abajo de los estándares comerciales de la semilla de maíz, en mazorcas cosechadas con 47 % de humedad o inferiores, y hasta 48 h de retraso al secado artificial, y almacenadas durante seis meses a 21 °C y 60 % de HR.

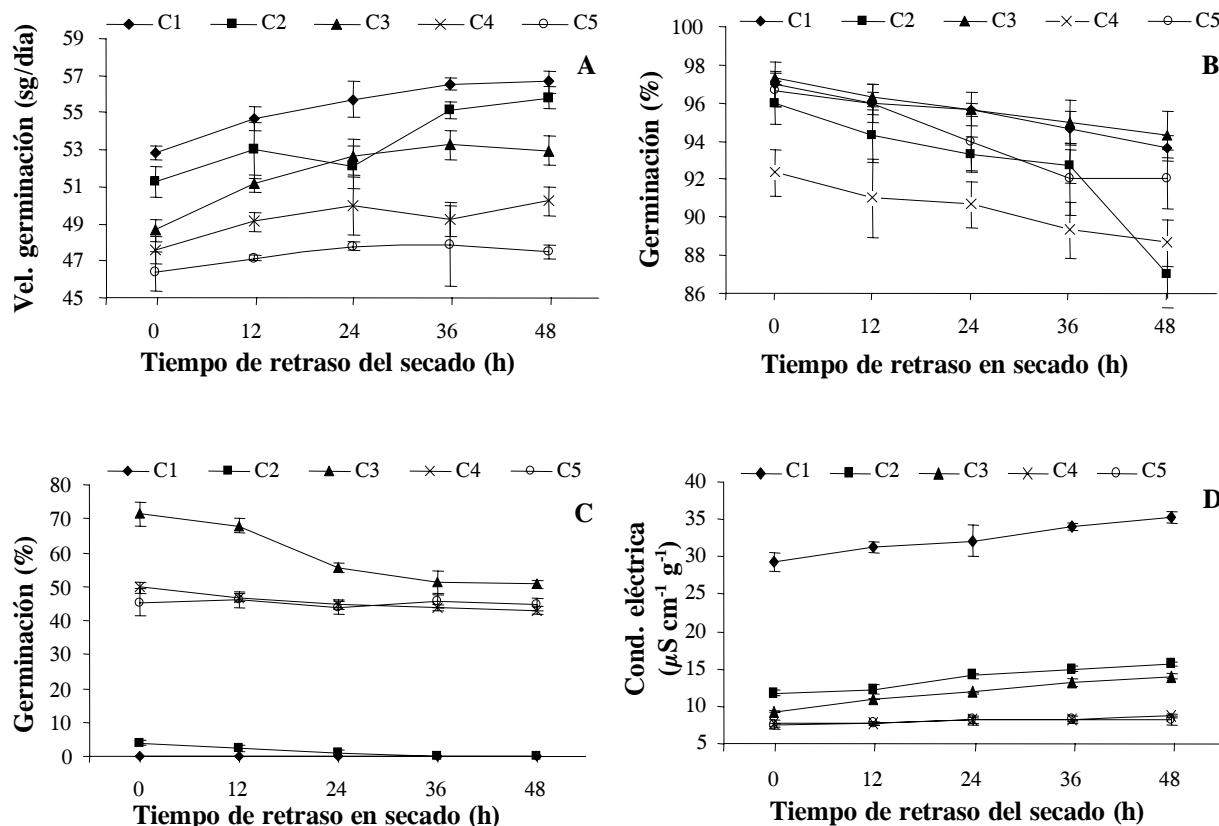


Figura 4. Velocidad de germinación (A), germinación (B), envejecimiento acelerado (C) y conductividad eléctrica (D) en semillas de maíz cosechadas con diferentes contenidos de humedad y sometidas a tiempos de retraso del secado y seis meses de almacenamiento. Ci = Cosechas; sg = Semillas germinadas. Las barras en cada punto indican el error estándar de la media ($n = 3$).

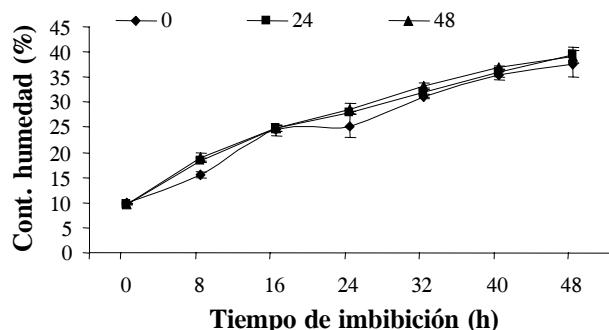


Figura 5. Cinética de imbibición en semillas de maíz cosechadas con 47 % de humedad con 0, 24 y 48 h de retraso de secado y después de seis meses de almacenamiento. Ci = Cosechas. Las barras en cada punto indican el error estándar de la media ($n = 3$).

CONCLUSIONES

La demora del secado hasta por 48 h en mazorcas de maíz cosechadas entre 17 y 47 % de humedad, no redujo la germinación de la semilla por abajo del mínimo (85 %) requerido por la norma oficial para certificación de semi-

llas, aún después de seis meses de almacenamiento. Las reducciones más severas del vigor de la semilla debido al retraso en el secado ocurrieron cuando la humedad de cosecha fue superior a 24 % y la semilla se almacenó por seis meses.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por haber facilitado la semilla del material genético utilizado en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acker L W (1969) Water activity and enzyme activity. *Food Technol.* 23:27-40.
- Anderson J D (1977) Adenylate metabolism of embryonic axes from deteriorated soybean seeds. *Plant Physiol.* 59:610-614.
- Basavarajappa B S, H S Shetty, H S Prakash (1991) Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Sci. Technol.* 19:279-286.
- Borba R V, C Andreoli, R V Andrade, J T Azevedo, e A C Oliveira (1998) Efeito do retardamento da secagem na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Pesq. Agropec. Bras.* 33:105-109.

- Córdova T L, J S Burris (2002)** Embryo drying rates during the acquisition of desiccation tolerance in maize seed. *Crop Sci.* 42:1989-1995.
- Dawidowicz G, A Podstolski (1992)** Age-related changes in ultrastructure and membrane properties of *Brassica napus* L., seeds. *Ann. Bot.* 69:39-46.
- Delouche J C (1996)** Accelerated Aging Test. AOSA Meeting. College of Agriculture, University of Kentucky, Lexington, KY. pp:1-7.
- Eichelberger L, M S Maia de, S T Peske, D M Moraes de (2002)** Composicao química de sementes de azevém em despota ao retardamento da secagem e ao armazenamento. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:693-701.
- Fenaroli L (1969)** The maize-grain. Its composition, marketing characteristics, metabolism and conditions for safe storage. *Publication No. 21. Inst. Sperimentale per le Cerealicoltura. Sezione di Bergamo. Estratto da Maydica XIV*:99-106.
- Hall C W (1980)** Drying and Storage of Agricultural Crops. Avi. Publishing Company Inc. Connecticut, USA. pp:7, 39-42, 69.
- Herter U, J S Burris (1989)** Changes in moisture, temperature, and quality of corn seed during high-temperature drying. *Can. J. Plant Sci.* 69:749-761.
- Hole D J, J D Smith, B G Cobb (1989)** Regulation of embryo dormancy by manipulation of abscisic acid in kernels and associated cob tissue of *Zea mays* L. cultured *in vitro*. *Plant Physiol.* 91:101-105.
- Hor Y L (1977)** Storage of field crops seed under Malaysian conditions. In: *Seed Technology in the Tropics*, H F Chin H F, I C Enoch, R M Raja-Hurum (eds). Faculty of Agriculture. University Pertanian Malaysian. Serdang, Selangor, Malaysian. pp:123-134.
- INIFAP (1981)** Guía Para Cultivar Maíz en el Estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícola de la Mesa Central. Campo Agrícola Experimental Valle de México. Folleto para Productores No. 14. Chapingo, México.
- ISTA (2004)** International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- KarsSEN C M, D L C Brinkhorts-Van Der Swan, A E Breekland, M Koornneef (1983)** Induction of dormancy during seed development by endogenous abscisic acid: studies on abscisic acid deficient genotypes of *Arabidopsis thaliana* L. *Heynh.* *Planta* 157:158-165.
- Koornneef M, M L Jorna, D L C Brinkhorst-van der Swan, C M Karssen (1982)** The isolation of abscisic acid (ABA) deficient mutants by selection of induced revertants in non-germinating gibberellin sensitive lines of *Arabidopsis thaliana* L. *Heynh.* *Theor. Appl. Genet.* 61:385-393.
- Kosanke R, D Bernhardt, H H Kohler, B Voigt, M Hecker (1990)** The transfer of RNA from the nucleus into the cytoplasm in imbibing embryos of *Agrostemma githago* L. seeds of different age. *Acta Physiol. Plant.* 12:131-138.
- Livesley M A, C M Bray (1991)** The effect of ageing upon α -amylase production and protein synthesis by wheat aleurone layers. *Ann. Bot.* 68:69-73.
- Maguire J D (1962)** Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Matthews S, A A Powell (1981)** Electrical conductivity test. In: *Handbook of Vigour Test Methods*, edited by Perry D A. Zurich. International Seed Testing Association (ISTA). pp:37-41.
- Navratil R J, J S Burris (1984)** The effect of drying temperature on corn seed quality. *Can. J. Plant Sci.* 64:487-496.
- Perdomo A, J S Burris (1998)** Histochemical, physiological, and ultrastructural changes in the maize embryo during artificial drying. *Crop Sci.* 38:1236-1244.
- SAS Institute, Inc (1999)** Statistical Analysis System For Windows, version 8.00. Cary, NC, USA.
- Shade T, D M Tekrony, D. B Egli, P L Cornelious (2000)** An alternative model to predict corn seed deterioration during storage. *Crop Sci.* 40:463-470.
- Smith M T, P Berjak (1995)** Deteriorative changes associated with loss of viability of store desiccation-tolerant and desiccation-sensitive seeds. In: *Seed Development and Germination*. J Kingel, G Galili (eds). Marcel Dekker Inc. N.Y., USA. pp:704-713.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, SNICS (1975)** Normas para la Certificación de Semillas. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Agricultura, México. pp:70.
- Vertucci C W, A C Leopold (1984)** Bound water in soybean seed and its relation to respiration and imbibitional damage. *Plant Physiol.* 75:114-117.