



## Madurez fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays* L.) mediante marcadores morfológicos y el contenido de humedad<sup>1</sup>

### Physiological maturity in maize (*Zea mays* L.) seeds through morphological markers and moisture content

Juan Estrada-Urbina<sup>2</sup>, Emmanuel Cantú-López<sup>2</sup>, Juan Celestino Molina-Moreno<sup>2</sup>, Julio Arturo Estrada-Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Recepción: 30 de noviembre, 2022. Aceptación: 6 de marzo, 2023. Esta investigación se desarrolló como parte de las prácticas del curso SEM-605 Acondicionamiento de Semillas impartido en el cuatrimestre de otoño del 2021 de la orientación en Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, orientación en Producción de Semillas. Texcoco, estado de México, CP 56230, México. [estrada.juan@colpos.mx](mailto:estrada.juan@colpos.mx) (autor para correspondencia; <http://orcid.org/0000-0002-7857-6523>), [emanuelcantu72@gmail.com](mailto:emanuelcantu72@gmail.com) (<http://orcid.org/0000-0003-4768-1918>), [jmolinamor@hotmail.com](mailto:jmolinamor@hotmail.com) (<http://orcid.org/0000-0001-6396-1237>), [jaegomez@colpos.mx](mailto:jaegomez@colpos.mx) (<http://orcid.org/0000-0002-6969-1626>).

## Resumen

**Introducción.** La madurez fisiológica es la acumulación del máximo contenido de materia seca; inciden la línea de leche y la capa negra en la semilla de maíz, como factores morfológicos del grado de maduración. La línea de leche se relaciona con la solidificación del almidón, y la capa negra con el cese de la translocación de sustancias solubles de la planta hacia el grano. El contenido de humedad está relacionado con la madurez fisiológica y a la oportunidad de cosecha asociada con la máxima calidad. **Objetivo.** Determinar la madurez fisiológica de las semillas por medio de marcadores morfológicos y el contenido de humedad, y su relación con la calidad fisiológica. **Materiales y métodos.** El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo en los meses de septiembre y octubre del 2021. Se realizaron muestreos semanales en mazorcas del cultivar experimental (Amarillo x V-54) F6, se tomaron semillas correspondientes a las áreas ápice, media y baja de la mazorca. En función del contenido de humedad se determinó la línea de leche, la capa negra, y la relación de estos factores con la calidad fisiológica (germinación y vigor, envejecimiento acelerado y prueba de frío). **Resultados.** El contenido de humedad de semillas maduras fue inferior al reportado en la literatura (35 %), también, se logró corroborar a nivel visual la madurez fisiológica por medio de la línea de leche y la capa negra; la germinación se incrementó conforme se avanzó en los muestreos con el menor contenido de humedad y, respecto al vigor, se detectó una mejor repuesta en el envejecimiento acelerado. **Conclusiones.** En la medida que el contenido de humedad disminuyó, la germinación incrementó. Los marcadores morfológicos permitieron determinar el tiempo en que la semilla de maíz alcanzó la madurez fisiológica, y con ello la máxima calidad.

**Palabras clave:** calidad de las semillas, vigor, envejecimiento acelerado, germinación.



## Abstract

**Introduction.** Physiological maturity is the accumulation of the maximum dry matter content, the milk line and the black layer affect the corn seed, as morphological factors of the degree of maturation. The milk line is related to the solidification of starch, and the black layer with the cessation of the translocation of soluble substances from the plant to the grain. The moisture content is related to the physiological maturity and the harvest opportunity associated with the maximum quality of the product. **Objective.** Determine seeds physiological maturity, through morphological markers and moisture content, and its physiological quality relationship. **Materials and methods.** The study was carried out at Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo during the months of September-October, 2021. By weekly sampling cobs of experimental cv. (Amarillo × V-54A) F6 genotype, seeds from the apex were taken, middle section and basis. In function by its moisture content, the milk line, black layer, and the relationship of these factor with physiological quality (germination and vigor- accelerated aging and cold tests) were determined. **Results.** Moisture content was below than referred in literature (35 %), also, physiological maturity was defined visually by milk line and black layer; on the other hand, as sampling were done, there was an increase in seed germination with the less moisture content; what vigor refers, a better response was detected by accelerated aging test. **Conclusions.** As the moisture content decreased, germination increased. The morphological markers allowed to determine the time in which the maize seed reached the physiological maturity and with it, the maximum quality.

**Keywords:** seed quality, vigor, accelerated aging, germination.

## Introducción

Una semilla madura es aquella que se ha formado y desarrollado de tal modo que logró la máxima acumulación de reservas respecto a su peso seco, lo que le permite la emergencia de una plántula de manera satisfactoria después de su siembra. Por el contrario, en semillas inmaduras, la capacidad de producir plántulas es menor debido a que su acumulación de reservas fue insuficiente (Dayal et al., 2014).

Durante la maduración de las semillas ocurren diversos procesos fisiológicos e interacciones ambientales que contribuyen al deterioro de las mismas; ante esta situación, el momento oportuno de cosecha de las semillas debe ser una vez alcanzada la madurez fisiológica (MF), que está relacionada con cambios morfo-fisiológicos en la semilla de maíz como la formación de la “capa negra” (CN) (que indica el momento en que el producto alcanza la madurez fisiológica por el cese de la translocación de sustancias solubles de la planta hacia el grano), la “línea de leche” (LL) (línea que se observa en la cara del grano contraria a la posición del embrión que muestra la solidificación del endospermo y por ende, el grado de maduración) y la reducción en el contenido de humedad (CH) (de Fátima Ferreira et al., 2013; Jacob Junior et al., 2014). Estos cambios varían de acuerdo con la variedad, el tipo de semilla, y las condiciones ambientales; sin embargo, Vieira et al. (1995) mencionan que las semillas de maíz presentan una mejor calidad fisiológica cuando llegan a MF a un contenido de humedad aproximado del 35 %.

Se ha reportado que, durante la etapa de maduración de las semillas, hay una disminución en el CH debido al reemplazo de las moléculas de agua por almidón y otras macromoléculas de baja capacidad de hidratación: esta disminución es el factor principal que promueve una mejor calidad (Sakthivel et al., 2020). De igual forma, el CH juega un papel importante en el desarrollo de las semillas, aún más que la acumulación de materia seca, y por consecuencia, en la germinación, y por ello es una medida adecuada de la calidad fisiológica (Ajayi et al., 2005).

La calidad fisiológica de las semillas depende en gran medida de la integridad de las estructuras y las biomoléculas relacionadas con los procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener un alto nivel de viabilidad y germinación (Antuna-Grijalva et al., 2003). Para evaluar la calidad fisiológica, las pruebas de vigor

se consideran como una manera más completa y específica para conocer los niveles de calidad y predecir el comportamiento de un lote de semillas específico cuando es sometido a condiciones que no son del todo favorables para que emerjan las plántulas (Chacón Rubio, 2018).

En la práctica, es imprescindible contar con un método confiable que se ajuste a las condiciones reales de cada región geográfica, por medio del cual se determine la MF de las semillas de manera práctica, y que brinde información adecuada sobre sus niveles de calidad; de este modo, resultaría posible que los productores y/o empresas de semillas puedan determinar el periodo de maduración de las semillas con base en la CN, la LL y el CH para la planificación de la producción agrícola. El objetivo de este trabajo fue determinar la madurez fisiológica de las semillas por medio de marcadores morfológicos y el contenido de humedad, y su relación con la calidad fisiológica.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

La investigación se desarrolló en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Laboratorio de Análisis de Semillas, en Texcoco, México (19° 27' 54,7" LN, y 98° 54' 24,3" LO) a una altitud de 2200 m s. n. m., en los meses de septiembre a octubre del año 2021, con un total de 54 días de duración del experimento.

### Material vegetal

Como material vegetal se empleó la semilla de maíz (*Zea mays*) del cv. experimental F6 (Amarillo × V-54A) de ciclo precoz, del Programa de Recursos Genéticos y Productividad, orientación en Producción de Semillas, cuya siembra dató del 11 de mayo del 2021.

### Evaluación de cambios morfo-fisiológicos en la calidad de semillas

Se realizaron cuatro muestreos, el primero a los 124 días después de la siembra y luego a intervalos de siete días hasta que la semilla llegó a la madurez fisiológica (MF). Para cada muestreo se tomaron tres mazorcas al azar por triplicado, con base en la etapa fenológica y el desarrollo de las plantas, para asegurar condiciones homogéneas del material cosechado. Para realizar las evaluaciones correspondientes, se desgranaron las mazorcas de cada muestreo de forma manual y se separaron las semillas en tres estratos de acuerdo con su posición en la mazorca: ápice, parte media y base.

La cuantificación del contenido de humedad (CH) se llevó a cabo al secar dos repeticiones de 5 g de granos de maíz, en un horno de control eléctrico modelo HTP-41 (Lumistell<sup>MR</sup>, México) a  $130 \pm 2$  °C por 4 h (International Seed Testing Association [ISTA], 2021a). Como indicativo de la MF se evaluó en el grano la presencia en el grano de la línea de leche (solidificación del endospermo) (LL) y la capa negra (secamiento de las células en la zona de la placenta del grano) (CN), de forma visual mediante cortes longitudinales en 100 semillas (Molina Moreno et al., 2003).

### Evaluación de la calidad fisiológica

La calidad fisiológica se valoró mediante la prueba de germinación (GE), mientras que el vigor fue a través del envejecimiento acelerado (EA) y la prueba de frío (PF). La GE se realizó con cuatro réplicas de cincuenta semillas colocadas entre papel kraft enrollado, con previa hidratación. Los rollos fueron aleatorizados e incubados en una

cámara de crecimiento con fotoperiodo de 24 h a  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Las plántulas fueron evaluadas a los 7 d, con base en las normas internacionales (ISTA, 2021b), pero con el empleo de una menor cantidad de semilla que lo propuesto en la metodología internacional estandarizada.

Para el EA, se colocaron 100 semillas por duplicado sobre una malla metálica en bandejas plásticas selladas con 150 mL de agua destilada. Las semillas fueron envejecidas a  $41\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  y 100 % de humedad relativa durante 72 h (Nuño et al., 2013). En la PF, se colocaron 50 semillas en cuatro réplicas entre papel kraft hidratado para ser sometidos a condiciones de  $10\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$  y  $60\% \pm 8\%$  de HR por cinco días (Goggi et al., 2009). Luego del estrés del EA y la PF, se evaluó la germinación con la metodología antes mencionada.

## Análisis de datos

El experimento se condujo en un diseño experimental completamente al azar con tres réplicas. Las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas con la función  $\sqrt{x}$  para los análisis de varianza (ANDEVA). Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher como prueba de comparación de medias *post hoc*, con un nivel de significancia de  $p < 0,05$  con el paquete estadístico R-UCA versión 4.0.5.

## Resultados

### Contenido de humedad

La semilla del ápice mostró los niveles más bajos del contenido de humedad (CH) en los cuatro muestreos (38,5 %, 34,1 %, 27,8 % y 24,8 %, respectivamente); por el contrario, excepto en los muestreos segundo y tercero, los mayores valores de CH correspondieron a la semilla de la base con un valor inicial de 42,4 %, y 28,2 % al final. En cuanto a la semilla de la parte media, el CH se mantuvo en un nivel intermedio entre la semilla del ápice y la de la base (Figura 1).

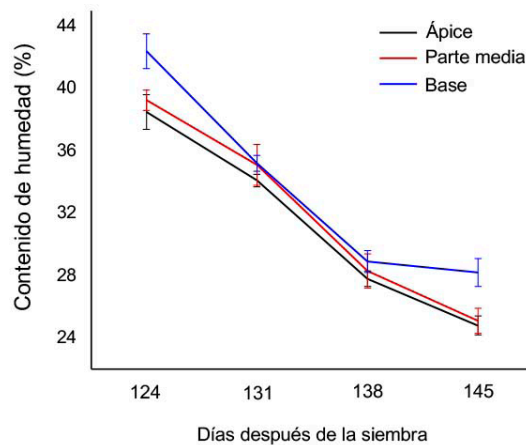
### Línea de leche y capa negra

Para el primer muestreo, la línea de leche (LL) tuvo un avance del 50 %, es decir, se localizó en la parte longitudinal media de la semilla, y desapareció de forma gradual de estado acuoso a estado sólido hacia el pedicelo en los muestreos posteriores; así, se estimó que la LL se redujo hasta 35 %, 15 %, y 10 %, para el segundo, tercero y cuarto muestreo, respectivamente (Figura 2).

Durante el primero y segundo muestreo, la evaluación fenotípica de las mazorcas no dio indicios de maduración de la semilla dado que no hubo presencia de la capa negra (CN) en la región de la placenta. En el tercer muestreo se detectó la presencia de una tonalidad grisácea, lo que permite suponer que en ese momento la semilla estaba en inicio de madurez fisiológica. La capa negra *per se*, se detectó en el cuarto muestreo cuando el contenido de humedad (CH) del ápice, la parte media, y la base, registró valores de 24,8 %, 25,1 % y 28,2 %, respectivamente. En este punto, la CN apareció en su totalidad con una coloración oscura, mientras la LL se mostró casi imperceptible visualmente, y como una masa densa en la zona del pedicelo (Figura 2).

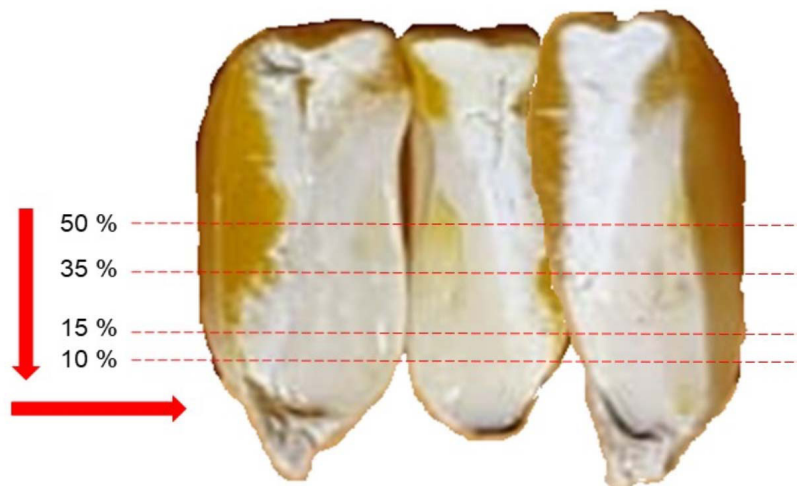
### Germinación

El porcentaje de germinación (PG) presentó un incremento directamente proporcional a medida que se avanzó en los muestreos. En el primer muestreo, la semilla proveniente del ápice y parte media de la mazorca presentaron



**Figura 1.** Contenido de humedad promedio ( $\pm$  error estándar) de la semilla de maíz (*Zea mays*) cv. experimental (Amarillo  $\times$  V-54A) F6 en diferentes momentos de su formación. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Ciclo de cultivo primavera-verano 2021.

**Figure 1.** Corn seed (*Zea mays*) average moisture content ( $\pm$  standard error) cv. experimental (Yellow  $\times$  V-54A) F6 at different moments of its development. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Crop cycle spring-summer 2021.



**Figura 2.** Línea de leche (solidificación del endospermo) y capa negra (secamiento de las células en la zona de la placenta del grano) como indicadores de la madurez fisiológica de la semilla de maíz (*Zea mays*) cv. experimental (Amarillo  $\times$  V-54A) F6 al cuarto muestreo (145 días después de la siembra). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Ciclo de cultivo primavera-verano 2021.

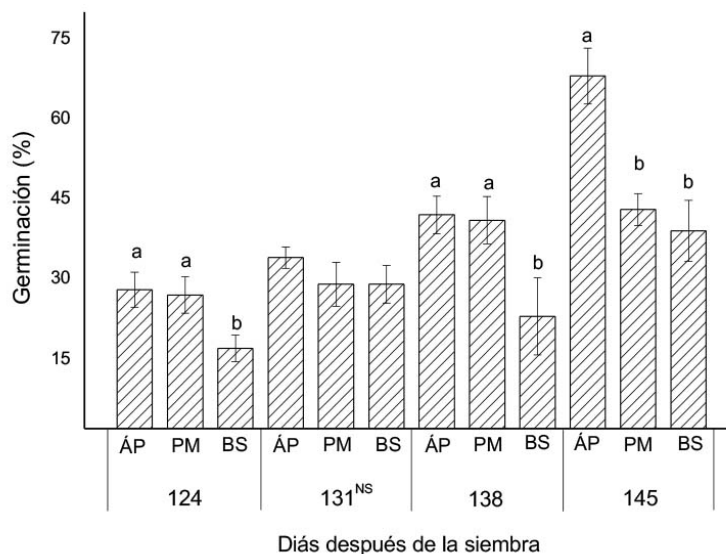
La flecha vertical señala la disminución aproximada de la línea de leche de la parte media longitudinal hacia el pedicelo de la semilla, en los cuatro muestreos realizados; la flecha horizontal señala la capa negra en la zona de la placenta de la semilla.

**Figure 2.** Milk line (solidification of the endosperm) and black layer (drying of the cells in the placenta zone of the grain) as maize (*Zea mays*) seed physiological maturity indicator of cv. experimental (Yellow  $\times$  V-54A) F6 at the four sampling (145 days after sowing). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Crop cycle spring-summer 2021.

The vertical arrow indicates the approximate decrease of the milk line from the longitudinal middle part towards the seed pedicel, in the four samplings carried out; the horizontal arrow shows the black layer in the placental area of the seed.

mayores valores de germinación (en el orden de 28 % y 27 %), con relación al estrato de la base (17 %). En el segundo muestreo no se detectaron diferencias estadísticas significativas en los tres estratos ( $p > 0,05$ ).

En el tercer muestreo, cuando la semilla presentó una humedad en el rango de 27,8 – 28,9 %, el PG del ápice y la parte media fue respectivamente de 42 % y 41 %, sin mostrar diferencias estadísticas ( $p>0,05$ ). En contraste, la semilla de la base presentó diferencias estadísticas significativas ( $p<0,05$ ) respecto de los otros dos estratos con un valor de 23 %. Cuando la semilla completó la MF, el PG del ápice presentó el mayor valor de 68 %; mientras, la parte media y la base mostraron valores de 43 % y 39 %, respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Respuesta de la germinación en cuatro fechas de muestreo como referente de la calidad fisiológica de semillas de maíz (*Zea mays*) cv. experimental (Amarillo × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Ciclo de cultivo primavera-verano 2021.

Medias con letra diferente dentro de cada muestreo, fueron diferentes estadísticamente ( $p<0,05$ ). Valor promedio  $\pm$  error estándar de la media. ÁP: ápice; PM: parte media; BS: base; NS: no significativo ( $p>0,05$ ).

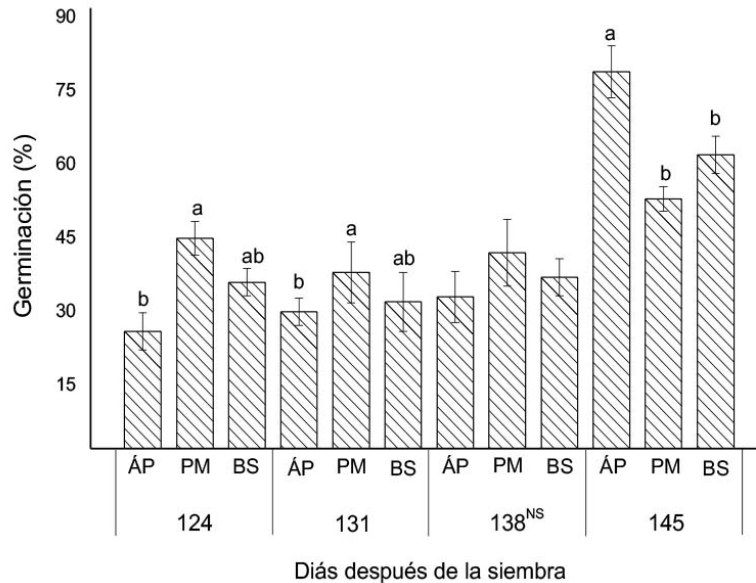
**Figure 3.** Germination response on four sampling dates as reference of maize (*Zea mays*) seed physiological quality in cv. experimental (Yellow × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Crop cycle spring-summer 2021.

Means with different letter in the same sampling show statistical differences ( $p<0.05$ ). Mean  $\pm$  standard error of the mean. ÁP: apex; PM: middle part; BS: base; NS: no significant differences ( $p>0.05$ ).

### Envejecimiento acelerado

En la evaluación del vigor de las semillas mediante la prueba del envejecimiento acelerado (EA), no se detectaron diferencias estadísticas en el porcentaje de germinación (PG) en los tres estratos de la mazorca durante los primeros tres muestreos ( $p>0,05$ ). La semilla de la parte media presentó el mayor PG en los primeros tres muestreos realizados con un 45 %, 38 %, y 42 %, respectivamente, en contraste con los estratos ápice y base. En el cuarto muestreo, a los 145 días después de la siembra, se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p<0,05$ )

en la semilla del ápice con un 79 % de PG, en relación a la parte media y base en los que se registraron valores en el orden de 53 % y 62 % de germinación (Figura 4).



**Figura 4.** Respuesta de la germinación de semillas sometidas a la prueba de vigor por envejecimiento acelerado, de cuatro fechas de muestreo del maíz (*Zea mays*) cv. experimental (Amarillo × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Ciclo de cultivo primavera-verano 2021.

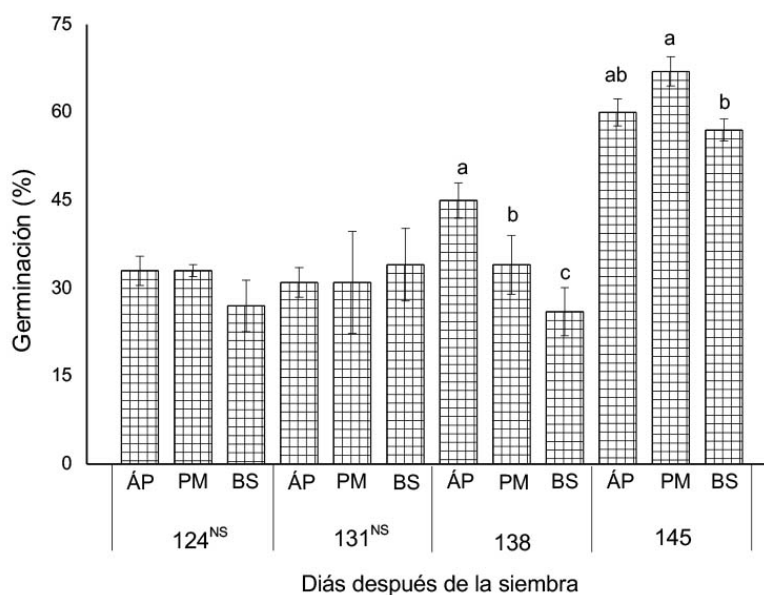
Medias con letra diferente dentro de cada muestreo, fueron diferentes estadísticamente ( $p < 0.05$ ). Valor promedio  $\pm$  error estándar de la media. ÁP: ápice; PM: parte media; BS: base; NS: no significativo ( $p < 0.05$ ).

**Figure 4.** Response of the seeds germination submitted to the accelerated aging vigour test, on four sampling dates of maize (*Zea mays*) in cv. experimental (Yellow × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Crop cycle spring-summer 2021.

Means with different letter in the same sampling show statistical differences ( $p < 0.05$ ). Mean  $\pm$  standard error of the mean. ÁP: apex; PM: middle part; BS: base; NS: no significant differences ( $p > 0.05$ ).

### Prueba de frío

El porcentaje de germinación (PG) en la prueba de frío (PF) no presentó variaciones en el primero y segundo muestreo ( $p > 0.05$ ). Para el tercer muestreo (138 días después de la siembra), el estrato del ápice, con un 45 % de germinación, presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) de manera comparativa con los estratos media y base. A los 145 días después de siembra (semilla madura), la parte media presentó el mayor PG con un 67 %, respecto del ápice y la base con 60 % y 57 %, respectivamente (Figura 5).



**Figura 5.** Respuesta de la germinación de semillas sometidas a la prueba de vigor por frío de cuatro fechas de muestreo del maíz (*Zea mays*) cv. experimental (Amarillo × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Ciclo de cultivo primavera-verano 2021.

Medias con letra diferente dentro de cada muestreo, fueron diferentes estadísticamente ( $p < 0,05$ ). Valor promedio  $\pm$  error estándar de la media. ÁP: ápice; PM: parte media; BS: base; NS: no significativo.

**Figure 5.** Response of the seeds germination submitted to the cold vigor test of four sampling dates of maize (*Zea mays*) in cv. experimental (Yellow × V-54A) F6. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Crop cycle spring-summer 2021.

Means with different letter in the same sampling show statistical differences ( $p < 0.05$ ). Mean  $\pm$  standard error of the mean. ÁP: apex; PM: middle part; BS: base; NS: no significant differences ( $p > 0.05$ ).

## Discusión

Durante la observación fenotípica de las mazorcas en los cuatro muestreos, se detectó un cambio gradual de la línea de leche de la corona hacia el pedicelo de la semilla lo que coincide con lo reportado por Mancera (2014), de tal modo que, en los dos primeros muestreos el grano se encontró en un estado acuoso que disminuyó hasta transformarse en una masa sólida en el tercero y cuarto muestreo.

La evaluación visual (fenotípica) de las mazorcas en el primero y segundo muestreo, no dio indicios sobre una posible maduración de la semilla, ya que, al momento de retirar el pedicelo, la semilla presentó un estado de masa suave-líquida, que es propia de las semillas con niveles de humedad mayor al 30 % (Tang et al., 2000).

El seguimiento realizado en este estudio mostró una ligera solidificación de los compuestos de reserva de la semilla a partir del tercer muestreo y que estuvo relacionado con la aparición temprana de la capa negra. Este segundo marcador morfológico es una característica importante que representa la máxima acumulación de la materia seca en el grano de maíz, asociado con su MF, y por ello, este factor se considera el mejor indicador para determinar la maduración de las semillas (Núñez Hernández et al., 2005).

En esta investigación se observó que la semilla alcanzó un estado temprano de MF al tercer muestreo, y de acuerdo con la desaparición de la LL y la aparición de la CN, esta se completó a los 145 días después de la siembra,



como posible consecuencia de la máxima acumulación de sustancias de reserva por la disminución del contenido de humedad de las semillas (Sakthivel et al., 2020).

El porcentaje de germinación (PG) fue bajo aun cuando la semilla alcanzó la madurez fisiológica (MF), esto debido posiblemente a que el alto contenido de humedad (CH) propició una mayor permeabilidad de la membrana celular con una lixiviación de solutos, traducido en un deterioro de las semillas y por ende, una baja germinación (Hussein et al., 2012); o bien, por una disminución en la actividad enzimática de la peroxidasa, que origina una peroxidación lipídica y una consecuente pérdida de la capacidad germinativa (Pichardo González et al., 2014).

De manera comparativa con el primero y segundo muestreo cuando la semilla estaba inmadura, la germinación en la prueba de germinación (GE) se mantuvo entre 17 % y 34 %, por lo que, a pesar de que el material vegetal se encontró en un estado de inmadurez, hubo presencia de germinación. La razón de ello es que, a medida que las semillas se maduran, hay una síntesis y acumulación paralela de almidón y lípidos como estrategia principal del desarrollo de las semillas para garantizar su desarrollo y crecimiento. El embrión acumula lípidos mientras que el endospermo acumula el almidón como almacén de reserva de nutrientes, para que el embrión emerja durante el proceso de germinación (Ajayi et al., 2005).

Los resultados de este estudio muestran que las semillas del estrato de la punta presentaron una mejor germinación con relación a la parte media y base. En general, esto porque en la punta de la mazorca se localizan las semillas de menor tamaño, y se ha reportado que las semillas pequeñas requieren una menor cantidad de agua para su germinación, ya que el volumen que ocupan es menor, y ocasiona una rápida y mejor emergencia de las plántulas (Aguilar Benitez et al., 2019).

Se ha reportado que en las semillas pequeñas, evaluadas mediante envejecimiento acelerado, hay una mayor actividad de la enzima amilasa, considerada como uno de los factores que contribuyen a promover una mejor germinación en semillas de este tamaño (Sulewska et al., 2014). También se ha indicado que con el uso de semillas pequeñas se obtiene una rápida emergencia de plántulas (Tabakovic et al., 2020), pero, si bien el tamaño de semilla *per se* no fue evaluado en este estudio, los resultados de la semilla del ápice de la mazorca son consistentes con lo antes descrito en la literatura.

Los resultados de porcentaje de germinación (PG) en el envejecimiento acelerado (EA) a los 145 días después de la siembra concuerdan con lo reportado por Feng et al. (2018) y Hussein et al. (2012), quienes registraron valores de germinación aproximados de 70 %, y 75 % - 76 % a las 72 h en la prueba de envejecimiento acelerado, el cual es un procedimiento que emplea altas temperaturas (30 - 45 °C) y 100 % de humedad relativa en maíz para determinar el vigor de las semillas y predecir su viabilidad (McDonough et al., 2004).

En la prueba de frío (PF), a los 145 días después de la siembra, los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Ilbi et al. (2009) quienes encontraron 64 % de germinación cuando sometieron semillas de maíz a 10 °C durante siete días. Es importante destacar que, en la PF, el PG fue menor al cuarto muestreo en comparación con el EA. Este bajo PG en la PF se pudo deber a que a bajas temperaturas comienza el proceso de nucleación del hielo en los espacios extracelulares, como consecuencia de una menor concentración de solutos, lo que provoca la cristalización celular que resulta en una irreversible ruptura de las membranas y, por consecuencia, la muerte celular (Battal et al., 2008).

## Conclusiones

Por medio de la línea de leche (solidificación del endospermo) y la capa negra (secamiento de las células en la zona de la placenta del grano) se identificó que la semilla del maíz cv. experimental (Amarillo × V-54A) F6 llegó a la madurez fisiológica a los 145 días después de la siembra, en el rango de humedad de 24,8 - 28,2 %.

La calidad fisiológica de la semilla guardó una relación estrecha con la madurez fisiológica de las semillas; sin embargo, la presencia de la línea de leche y la capa negra no representan la obtención de una semilla con altos niveles de calidad. En este caso, fue más eficiente identificar el contenido de humedad de las semillas en razón de que su disminución permite alcanzar una mejor calidad fisiológica.

## Referencias

- Aguilar Benítez, G., Vázquez Díaz, E. G., Castro Rivera, R., Cruz Crespo, E., & Jarquín Gálvez, R. (2019). Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(2), 239–251. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.720>
- Ajayi, S. A., Rühl, G., & Greef, J. M. (2005). Physiological basis of quality development in relation to compositional changes in maize seed. *Seed Science and Technology*, *33*(3), 605–621. <https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.3.08>
- Antuna-Grijalva, O., Rincón-Sánchez, F., Gutiérrez-del Río, E., Ruiz-Torres, N. A., & Bustamante-García, L. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana*, *26*(1), 11–18. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.1.11>
- Battal, P., Erez, M. E., Turker, M., & Berber, I. (2008). Molecular and physiological changes in maize (*Zea mays*) induced by exogenous NAA, ABA and MeJa during cold stress. *Annales Botanici Fennici*, *45*(3), 173–185. <https://doi.org/10.5735/085.045.0302>
- Chacón Rubio, M. J. (2018). *Pruebas de vigor en semillas de maíz (Zea mays L.)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3468>
- Dayal, A., Rangare, N. R., Kumar, A., & Kumari, M. (2014). Effect of physiological maturity on seed quality of maize (*Zea mays* L.). *Forage Research*, *40*(1), 1–6. <http://forageresearch.in/wp-content/uploads/2014/06/1-6.pdf>
- de Fátima Ferreira, V., Oliveira, J. A., Ferreira, T. F., Vilela Reis, L., de Andrade, V., & Costa Neto, J. (2013). Quality of maize seeds harvested and husked at high moisture levels. *Journal of Seed Science*, *35*(2), 276–283. <http://doi.org/10.1590/S2317-15372013000300001>
- Feng, L., Zhu, S., Zhang, C., Bao, Y., Feng, X., & He, Y. (2018). Identification of maize kernel vigor under different accelerated aging times using hyperspectral imaging. *Molecules*, *23*(12), Article 3078. <https://doi.org/10.3390/molecules23123078>
- Goggi, A. S., Curry, D., & Daniels, J. (2009). Cold test and saturated cold test reliability for testing carryover corn seed treated with seed-applied insecticides. *Seed Technology*, *31*(1), 7–20. <https://www.jstor.org/stable/23433502>
- Hussein, H. J., Shaheed, A. I., & Yasser, O. M. (2012). Effect of accelerated aging on vigor of local maize seeds in term of electrical conductivity and relative growth rate (RGR). *Iraqi Journal of Science*, *53*(2), 285–291. <https://www.iasj.net/iasj/download/a2b570e7394691d0>
- Ilbi, H., Kavak, S., & Eser, B. (2009). Cool germination test can be an alternative vigour test for maize. *Seed Science and Technology*, *37*(2), 516–519. <http://doi.org/10.15258/sst.2009.37.2.29>
- International Seed Testing Association. (2021a). *Determination of moisture content*. In International rules for seed testing. (2021 ed., pp. i9-12-20). International Seed Testing Association. <https://bit.ly/3NtAPSi>

- International Seed Testing Association. (2021b). *The germination test*. In International rules for seed testing. (2021 ed., pp. i5-56-64). International Seed Testing Association. <https://bit.ly/3NtAPSi>
- Jacob Junior, E. A., Marcia Mertz, L., Henning, F. A., Teichert Peske, S., Amaral Villela, F., & Baudet Labbé, L. M. (2014). Ideal seeds harvest moment of different maize hybrids. *Ciência Rural*, *44*(2), 253–260. <http://doi.org/10.1590/S0103-84782014000200010>
- Mancera, R. A. (2014). Determinación de la madurez fisiológica en semilla de maíz (*Zea mays* L.) mediante ganancia de peso seco y métodos alternos. *Agro Productividad*, *7*(1), 50–57. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/504>
- McDonough, C. M., Floyd, C. D., Waniska, R. D., & Rooney, L. W. (2004). Effect of accelerated aging on maize, sorghum, and sorghum meal. *Journal of Cereal Science*, *39*(3), 351–361. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.01.001>
- Molina Moreno, J. C., González Hernández, V. A., Carballo Carballo, A., Livera Muñoz, M., Castillo González, F., & Ortega Delgado, M. L. (2003). Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *26*(4), 271–277. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-4/8a.pdf>
- Núñez Hernández, G., Faz Contreras, R., González Castañeda, F., & Peña Ramos, A. (2005). Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México*, *43*(1), 69–78. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1391>
- Nuño, R. V., López, H. E. F., Villanueva, A. C., & Ruezga, M. D. L. Á. (2013). Determinación del vigor en semillas de maíz mediante la prueba de envejecimiento acelerado por el método ger-box. En J. A. L. Rangel, J. C. P. Raya, F. O. Cervantes, C. L. M. Aguirre, J. G. P. Ramírez, M. E. Mendoza (Eds.), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (pp. 68–71). Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- Pichardo González, J. M., Ayala Garay O. J., González Hernández, V. A., Flores Ortíz, C. M., Carrillo Salazar, J. A., Peña Lomeli, A., Robledo Paz, A., & García de los Santos, G. (2014). Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *33*(3), 231–238. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/33-3/6r.pdf>
- Sakthivel, S., Renugadvi, J., Raja, K., & Swarnapriya, R. (2020). Effect of maturity stages on seed quality in winged bean [*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.] – a multipurpose legume. *Madras Agriculture Journal*, *107*(4–6), 125–130. <http://doi.org/10.29321/MAJ.2020.000356>
- Sulewska, H., Smiatacz, K., Szymanska, G., Panasiewicz, K., Bandurska, H., & Glowicka-Woloszyn, R. (2014). Seed size effect on yield quantity and quality of maize (*Zea mays* L.) cultivated in South East Baltic region. *Zemdirbyste-Agriculture*, *101*(1), 35–40. [http://www.zemdirbyste-agriculture.lt/wp-content/uploads/2014/03/101\\_1\\_str5.pdf](http://www.zemdirbyste-agriculture.lt/wp-content/uploads/2014/03/101_1_str5.pdf)
- Tabakovic, M., Simic, M., Stanisavljevic, R., Milivojevic, M., Secanski, M., & Postic, D. (2020). Effects of shape and size of hybrid maize seed on germination and vigour of different genotypes. *Chilen Journal of Agricultural Research*, *80*(3), 381–392. <https://oes.chileanjar.cl/files/V80i3Y2020id4726.pdf>
- Tang, S. D., TeKrony, D. M., Collins, M., & McKenna, C. (2000). Determination of high seed moisture in maize. *Seed Technology*, *22*(1), 43–55. <https://www.jstor.org/stable/45133810>
- Vieira, R. D., Minohara, L., De Carvahlo, N. M., & Bergamaschi, M. C. M. (1995). Relationship of black layer and milk line development on maize seed maturity. *Science Agriculture of Piracicaba*, *52*(1), 142–147. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000100023>