

## Osmoacondicionamiento de seis poblaciones de maíz sometidas a envejecimiento acelerado

Jorge Covarrubias Prieto  
Manuel Jerónimo Arriaga  
Adriana Basilio-Apolinar  
J. Gabriel Ramírez-Pimentel  
Juan Carlos Raya-Pérez<sup>§</sup>

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8. Roque, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. (jor\_covarru-jrg@hotmail.com; jeross456@gmail.com; adriana.apolinar@hotmail.com; garamirez@itroque.edu.mx; juraya@itroque.edu.mx).

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: juraya@itroque.edu.mx.

### Resumen

El pretratamiento de las semillas permite mejorar su comportamiento en campo, mediante un incremento en la germinación, el vigor y alargar la vida de almacén. En esta investigación se cuantificó el efecto del pretratamiento con nitrato de potasio (3%) más giberelinas ( $GA_3$ ) (0.06%) en dos periodos: 6 y 12 h sobre la semilla de cinco razas de maíz, incluido un híbrido experimental (Roque B16). El objetivo de esta investigación fue someter a osmoacondicionamiento a estas razas de maíz y luego a envejecimiento acelerado y cuantificar su efecto sobre el porcentaje de germinación. El híbrido Roque B16 no mostró diferencias en porcentaje de germinación y mantuvo un buen porcentaje de germinación a los 60 días de almacenamiento. La raza Elotes Occidentales (pigmento morado) expone un comportamiento similar entre el testigo y la semilla tratada a los 7 y 30 días de almacenamiento, a los 60 días señaló una caída significativa. Elotes Occidentales (pigmento rojo) mostró una baja significativa a los 7, 30 y 60 días de almacenamiento con el tratamiento de 12 h. La raza Palomero manifestó una disminución significativa en germinación a los siete días con el tratamiento de 12 h, Amarillo Roque evidenció una baja significativa a los 7 y 60 días de almacenamiento con el osmoacondicionamiento de 12 h, la raza Pozolero reveló una disminución significativa a los 7 y 30 días de almacenamiento con 12 h y a los 60 días con ambos periodos de tratamiento (6 y 12 h). Las variedades Amarillo e híbrido fueron estadísticamente iguales con un mayor porcentaje de germinación durante el almacenamiento. Morado y Pozolero fueron muy afectadas por el almacenamiento a tres meses. El Rojo también fue afectado, pero en menor cuantía que los dos anteriores.

**Palabras clave:** cenizas, conductividad, giberelinas, nitrato de potasio, raza criolla.

Recibido: octubre de 2019

Aceptado: diciembre de 2019

## Introducción

Las semillas reflejan su importancia en el mantenimiento de la diversidad genética, a través de ellas se hace la propagación de las especies (Amador-Alfárez *et al.*, 2013). La semilla de buena calidad es la piedra angular para el establecimiento de una buena población en cualquier cultivo. La tendencia de la industria semillera es cada vez más especializada, con empresas dedicadas exclusivamente a la producción de semillas de buena calidad. Por esto, se ha creado una importante área de investigación en la búsqueda de semillas con mayor calidad física, sanitaria, fisiológica y genética (Jahnke *et al.*, 2016).

Evans y Turnbull (2004) consideran que las semillas con buena calidad fisiológica, son aquellas que tienen alto porcentaje de germinación y vigor, principalmente. Además, les confiere ventajas como el alargamiento de la vida de almacén, un mínimo de desperdicio y producción de plantas uniformes en viveros, semilleros y campo. Luna *et al.* (2012) menciona que la calidad fisiológica depende de factores bióticos y abióticos que pueden fácilmente alterar la maduración, dañar la cosecha, el secado, almacenamiento, distribución y su establecimiento en campo; la semilla es susceptible de ser dañada en cualquier momento de su producción, por lo que su manejo desde la maduración hasta la siembra requiere de un alto grado de especialización.

De acuerdo con Romano *et al.* (2008), uno de los componentes de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una disminución en el porcentaje de germinación, en la producción de plántulas normales y finalmente la muerte. Los factores que caracterizan el vigor de las semillas son una germinación rápida, velocidad de desarrollo después de la germinación e integridad y normalidad de las plántulas que emergen de una semilla vigorosa. Por la importancia del vigor de las semillas se realizan investigaciones para comprender la naturaleza genética y efectos en el establecimiento de las plántulas en campo, así como los efectos en rendimiento y longevidad de las semillas en almacén (Sveinsdottir *et al.*, 2009).

Se han formulado diversas teorías respecto a los fenómenos biológicos que conducen al deterioro de las semillas. Destaca la investigación realizada en los últimos quince años, relacionada con la acción de los radicales libres en el deterioro de las membranas mitocondriales, como primer evento en el deterioro de las semillas. El envejecimiento altera la actividad de la H<sup>+</sup>ATPasa de tonoplasto, peroxidasa, proteasa y DNA-polimerasa (Sveinsdottir *et al.*, 2009).

El polietilenglicol (PEG) ha sido recomendado como una sustancia osmótica ideal para semillas, debido a que no penetra en las membranas celulares, no es tóxico y mantiene constante su osmolaridad en pequeñas cantidades, que permite una aeración aceptable del medio; para evitar el efecto de hipoxia en la semilla, que provoca la acumulación de metabolitos tóxicos (Finch-Savage *et al.*, 2004), se ha encontrado que el comportamiento de plántulas de especies monocotiledóneas es diferente al de las dicotiledóneas si se desarrollan bajo estrés osmótico con PEG. En general, las monocotiledóneas resultan más sensibles al estrés a nivel del sistema radical (Campos-Álvarez *et al.*, 2002; Méndez-Natera *et al.*, 2008).

Lara *et al.* (2014) encontraron que los nitratos estimulan la germinación a través de disminuir la concentración de ABA y la producción de óxido nítrico, interrumpiendo así la dormancia, además de estimular enzimas antioxidantes. Ilbi y Eser (2002) señalan que el KNO<sub>3</sub> está involucrado en la

síntesis de proteínas y en el metabolismo de carbohidratos, y por consecuencia, retrasan el envejecimiento de las semillas. En esta investigación se evaluó el efecto del osmoacondicionamiento con nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) (3%) y giberelinas (GA3) (0.06%) en dos periodos: 6 y 12 h, sobre la semilla sometida a envejecimiento acelerado en seis poblaciones de maíz, incluidos un híbrido experimental.

## **Materiales y métodos**

La semilla se obtuvo del campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) del proyecto de mejoramiento genético de maíz de la cosecha primavera-verano (P-V) 2015. El campo se localiza a  $20^\circ 34' 53''$  latitud norte,  $100^\circ 49' 36.5''$  longitud oeste y altitud de 1 769 m. Los materiales genéticos fueron: Elotes Occidentales (pigmentado morado o rojo), Pozolero blanco, Palomero, Amarillo Roque, híbrido Roque B16. Se usaron 100 semillas por tratamiento (25 semillas por cuatro repeticiones; cada lote se sumergió durante 6 y 12 h a temperatura ambiente en 100 mL de una solución de nitrato de potasio (3%) más ácido giberélico (0.06%), el testigo no se osmoacondicionó.

Al término del tiempo del tratamiento se retiró la solución, colocando las semillas sobre una toalla de papel para pesarlas de inmediato y dejarlas secar a temperatura ambiente durante 5 días, al término de este periodo se volvió a tomar el peso, de tal manera que se recuperara el peso inicial. El envejecimiento acelerado se hizo en un vaso de precipitado con 250 ml de agua destilada, se colocó una malla metálica y sobre ésta se dispusieron 220 semillas. Los vasos de precipitado se cerraron con papel aluminio y fueron incubados en la cámara de crecimiento a  $42^\circ\text{C}$  por 96 h y una humedad de relativa de 100%.

Después de este tiempo, se evaluaron 200 semillas de cada genotipo; se hicieron tacos de papel para realizar la prueba de germinación estándar a  $25^\circ\text{C}$  por 7 días. La prueba se realizó conforme al método de Moreno (1998) con ligeras modificaciones. Conductividad eléctrica: para medirla se utilizaron 25 semillas por repetición; se manejaron por triplicado de cada población y tratamiento. Las semillas fueron colocadas en vasos de polietileno, se adiciono 50 mL de agua destilada, se dejó a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  durante 24 h, al término del tiempo se tomó la lectura directamente del vaso con la semilla sumergida con un conductímetro digital marca Acuapro y el resto de la lectura se obtuvo en el vaso con el agua testigo, los resultados se expresaron en  $\text{mS cm}^{-1}$ .

Para la medición de pH, se tomaron 10 g de semillas de maíz, estos se pusieron en remojo con 40 ml de agua destilada en un vaso de precipitado y se molieron en licuadora, el homogenizado se dejó reposar a temperatura ambiente por una hora y luego se midió el pH con ayuda de un potenciómetro de mesa.

### **Determinación de cenizas**

El método químico con referencia 08-01 1995 de la AACC para la cuantificación de cenizas totales, también se utiliza para determinación de cenizas en granos de maíz. Se estimó el porcentaje de cenizas a seis poblaciones de maíz en dos tratamientos y un testigo, se usaron tres repeticiones, se realizó por incineración a temperatura de  $500^\circ\text{C}$ . Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis de varianza se realizó con el programa SAS (2001) versión 8.0. La comparación de medias fue por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

## Resultados y discusión

No hubo diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos en ninguno de los tiempos para el Híbrido Roque B16, ninguna de las partes en esta semilla fue sensible al deterioro, ya que como lo señala Pérez de la Cerda *et al.* (2007), las diferentes partes de las semillas no se deterioran ni envejecen simultáneamente y aquellas más sensibles al deterioro deberían ser el foco de atención en estudios de calidad. El endospermo del maíz está compuesto por almidón, el cual no es tan sensible al deterioro como el embrión; este se compone de proteínas y aceite, mientras el endospermo representa 80% del peso seco de la semilla de maíz, 20% refiere al embrión.

Se sabe que las proteínas, los lípidos y el DNA son más sensibles al daño. El tipo de endospermo influye sobre la germinación y vigor de la semilla, el maíz de endospermo córneo resiste mejor el deterioro (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007). Para este genotipo B16, el vigor híbrido explicaría la resistencia al deterioro de la semilla, de acuerdo con lo señalado por Greaves *et al.* (2015). En la variable imbibición el tratamiento de 12 h absorbió mayor cantidad de solución; conforme se alarga el tiempo de remojo las semillas absorben más agua (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Comparación de medias de la población Roque B16, para las variables imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| HRoqueB16 | Imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | pH     | Cenizas (%) |
|-----------|-----------------|---------------------------------------------------|--------|-------------|
| Testigo   | 0 c             | 5.54 b                                            | 6.05 b | 1.07 b      |
| 6 h       | 13.79 b         | 20.52 a                                           | 6.20 a | 1.29 a      |
| 12 h      | 15.84 a         | 21.11 a                                           | 6.19 a | 1.29 a      |
| Tukey     | 1.45            | 2.13                                              | 0.03   | 0.13        |

Sousa Paiva *et al.* (2006) indicaron que, durante la imbibición, el incremento del peso de las semillas de *Swietenia macrophylla* fue sólo significativo en las dos primeras fases; es decir, la de absorción rápida para luego no absorber agua por un cierto tiempo (hasta la protrusión de la radícula). En conductividad eléctrica las semillas de Roque B16 en remojo por 6 y 12 h superaron al testigo ( $5.54 \mu\text{s cm}^{-1}$ ), la conductividad eléctrica se basa en el principio de que conforme las semillas se deterioran, altera la permeabilidad diferencial de las membranas celulares, de manera que, al ser colocadas en una solución acuosa, la semilla menos vigorosa sufre pérdida de compuestos citoplasmáticos como aminoácidos, iones y azúcares de bajo peso molecular, al ser rehidratadas las semillas deben tener la capacidad de reorganizar las membranas para evitar la pérdida de solutos (Yu *et al.*, 2015).

Los valores de Roque B16 fueron similares a los reportados por Hilmig and Méndez-Natera (2011), tanto en semillas jóvenes como envejecidas, con conductividad eléctrica de 20 a  $32 \mu\text{s cm}^{-1}$ .

En el Cuadro 2 se muestran los resultados para la raza Elotes Occidentales (pigmentación morada); a los 7 y 30 días después del tratamiento no se observaron diferencias entre el testigo (semilla no osmoacondicionada) y los tratamientos (osmoacondicionados y sometidos a envejecimiento acelerado), a los 60 días el testigo tuvo un porcentaje de germinación superior a los tratamientos, hubo un efecto negativo de los tratamientos ya que la germinación fue demasiado baja e inferior al testigo, en esta etapa la germinación fue inferior al 85% en testigo y tratamientos.

**Cuadro 2. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey en la variable de germinación estándar de la raza Elotes Occidentales (Morado y Rojo) a los 7, 30 y 60 días de almacenamiento, Roque, Guanajuato. 2016.**

| Tratamiento | Elotes Occidentales |        |         |         |
|-------------|---------------------|--------|---------|---------|
|             | Rojo                | Morado |         |         |
|             | 60 días             | 7 días | 30 días | 60 días |
| Testigo     | 75 a                | 80 a   | 80 a    | 77 a    |
| 6 h         | 14 b                | 77 a   | 49 b    | 30 b    |
| 12 h        | 22 b                | 45 b   | 67 ab   | 45 b    |
| Tukey       | 19.5                | 22.2   | 20.4    | 25.7    |

Tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

El endospermo de esta semilla es harinoso, lo cual explica el efecto negativo del envejecimiento acelerado sobre la germinación y concuerda con los resultados de Pérez de la Cerda *et al.* (2007) quienes señalan que el endospermo córneo confiere más resistencia al deterioro y con Durán-Hernández *et al.* (2011) quienes indican que la semilla con mayor vigor resiste mejor el envejecimiento acelerado. La germinación y el vigor son indicadores de calidad, son atributos que permiten valorar el establecimiento de la planta en el campo.

El tamaño, la forma y el tipo de endospermo, vítreo o harinoso son características de importancia en una semilla. 35 poblaciones de maíces evaluadas por Guillen-de la Cruz *et al.*, (2018) presentaron una gran variación en la germinación de semillas que va de 28-100%. Las poblaciones con endospermo vítreo tendieron a tener mayor vigor, germinación y plántulas normales que los de endospermo harinoso. Los maíces pigmentados son semillas con un endospermo de tipo harinoso (Gómez *et al.*, 2017). Gutiérrez-Hernández *et al.* (2011) reportan que la variedad de maíz Oaxaca tiene un buen comportamiento, ya que produce plántulas normales con semillas sometidas a calor húmedo, lo que contrasta con los resultados aquí obtenidos.

La semilla de maíz contiene más del 80% de ácidos grasos insaturados, como parte de los lípidos totales, lo que la hace más susceptible al deterioro (McCann *et al.*, 2007). En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la raza Elotes Occidentales (pigmentación roja) en la que se observa que a los siete días el osmoacondicionamiento a 12 h causó una baja significativa en la germinación; a los 60 días disminuyó el porcentaje de germinación de los dos tratamientos (6 y 12 h), que fueron inferiores al testigo; en esta variedad la germinación en todos los casos fue inferior al 85%.

La degradación de oligosacáridos durante la imbibición podría explicar la baja en la germinación, además del estrés debido a la prueba de envejecimiento acelerado, como lo indican Gurusinghe y Bradford, (2001). En la naturaleza, las semillas deben ser capaces de entrar en ciclos de hidratación y deshidratación y poder germinar cuando las condiciones sean propicias (Footitt *et al.*, 2015), pero el proceso de domesticación parece haber suprimido o disminuido esta propiedad.

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo en las variables imbibición, conductividad eléctrica y cenizas en la población de Elotes Occidentales pigmentación azul (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Comparación de medias de la Población Elotes Occidentales (pigmentación azul), para las variables imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| Occidental azul | imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | Cenizas (%) |
|-----------------|-----------------|---------------------------------------------------|-------------|
| Testigo         | 0 c             | 5.75 c                                            | 1.25 b      |
| 6 h             | 18.57 b         | 37.6 a                                            | 1.64 a      |
| 12 h            | 21.63 a         | 26.7 b                                            | 1.66 a      |
| Tukey           | 2.44            | 5.52                                              | 0.17        |

Tratamientos con letras iguales dentro de cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

En el Cuadro 4 se muestra la comparación de medias de la población Roque amarillo, los tratamientos a 6 y 12 h tuvieron una reducción en la germinación; fueron inferiores al testigo. Este comportamiento fue similar a los siete y a los 60 días. En el testigo y en el tratamiento a 6 h la germinación fue al menos de 85%. A 30 días no se observaron diferencias entre los tratamientos y el testigo. Al parecer, la característica córnea del endospermo influyó para obtener un buen nivel de germinación en esta población, en comparación con las poblaciones de endospermo harinoso que mostraron una baja germinación (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007).

**Cuadro 4. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey en la variable de germinación estándar de la población Roque Amarillo y Pozolero a los 7, 30 y 60 días de almacenamiento, Roque, Guanajuato. 2016.**

| Tratamientos | Amarillo | Pozolero Blanco |         |         |
|--------------|----------|-----------------|---------|---------|
|              | 7 días   | 7 días          | 30 días | 60 días |
| Testigo      | 97 a     | 47 a            | 45 a    | 44 a    |
| 6 h          | 85 ab    | 55 a            | 46 a    | 14 b    |
| 12 h         | 57 bc    | 21 b            | 28 b    | 5 b     |
| Tukey        | 31.8     | 17.14           | 15.3    | 25.5    |

Tratamientos con letras iguales dentro de cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Gutiérrez-Hernández *et al.*, (2011) mencionan que existen distintos grados de tolerancia al envejecimiento acelerado; la exposición de la semilla a calor seco provoca menor número de plántulas normales, menor acumulación de materia seca y mayor proporción de semillas muertas. En el Cuadro 4 se muestra la comparación de medias del Pozolero blanco, el tratamiento a 12 h tuvo un efecto negativo en la germinación y fue inferior al testigo en los tres tiempos de almacenamiento, el tratamiento de seis horas fue estadísticamente igual al testigo a siete y 30 días, pero a 60 días, este tratamiento mostró un efecto negativo y fue inferior estadísticamente al testigo.

Esta población es de endospermo harinoso, lo cual afecta la germinación a través del tiempo, reflejándose en una germinación muy baja. Villaroel y Méndez-Nátera (2007) señalan que las condiciones de crecimiento afectan la resistencia de la semilla de maíz a las condiciones de almacenamiento, las de zonas frías resisten mejor la refrigeración, esto y el tipo de endospermo podrían ser parte de por qué estos investigadores encontraron un efecto favorable del envejecimiento acelerado sobre la germinación, diferente de los resultados obtenidos en esta investigación.

En conductividad eléctrica, los tratamientos superaron al testigo en Roque Amarillo, la conductividad eléctrica estima la integridad de la membrana celular, las pérdidas de solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas son indicativas del rápido deterioro de las semillas (Hilmig and Méndez-Natera, 2011). Los tratamientos de 6 y 12 h no presentaron diferencias entre ellos (Cuadro 5), el nitrato de potasio no influyó sobre la fluidez a las membranas celulares. Ashley *et al.* (2006) indican que el potasio juega un papel importante en las funciones celulares básicas; así como, en la regulación de la presión osmótica y el potencial de membrana.

**Cuadro 5. Comparación de medias de la población Roque amarilla para las variables imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| Roque Amarillo | Imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | pH     | Cenizas (%) |
|----------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------|-------------|
| Testigo        | 0 c             | 1.88 b                                            | 6.15 c | 1.18 b      |
| 6 h            | 16 b            | 14.08 a                                           | 6.27 b | 1.43 a      |
| 12 h           | 21.88 a         | 14.74 a                                           | 6.29 a | 1.42 a      |
| Tukey          | 1.01            | 1.96                                              | 0.01   | 0.16        |

Tratamientos con letras iguales dentro de cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

El pH de las semillas se incrementó a las 6 y 12 h superando al testigo (6.15). Hilmig y Méndez-Natera (2011) reportaron un rango de pH muy estrecho, entre 4.9 y 5.6 en semillas de maíz, las semillas que registraron un pH mayor a 5.8 resultaron muertas; sin embargo, los pH obtenidos en esta investigación fueron superiores a los reportados por este autor, y difiere en que las semillas de este caso no resultaron muertas.

En porcentaje de cenizas, los tratamientos de 6 y 12 horas presentaron valores superiores al testigo por 18%. Sánchez (2004) determinó contenidos de ceniza de 1.4 a 1.54% en cinco genotipos de maíz amarillo, en los datos aquí presentados se observa que el testigo presentó menor contenido de cenizas, mientras en los tratamientos el porcentaje de cenizas se incrementa, los valores hallados concuerdan a los valores reportados por el citado autor, la aplicación de nitrato de potasio mejoró el contenido de cenizas en las semillas tratadas (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Comparación de medias de la población Elotes Occidentales (Rojo) para imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| Elotes Occidentales | Imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | pH     | Cenizas (%) |
|---------------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------|-------------|
| Testigo             | 0 c             | 4.78 c                                            | 6.03 c | 1.09 b      |
| 6 h                 | 10.82 b         | 34.44 a                                           | 6.24 b | 1.42 a      |
| 12 h                | 25.23 a         | 29.22 b                                           | 6.27 a | 1.57 a      |
| Tukey               | 0.95            | 2.75                                              | 0.02   | 0.22        |

Tratamientos con letras iguales dentro de cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

La FAO (1985) señala que el mineral que más abunda en la semilla es el fósforo en forma de fitatos de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión, con valores aproximadamente de 0.9% en el maíz común y cerca de 0.92% en el maíz opaco-2.

En imbibición a las seis horas el maíz Pozolero mostró absorción superior a 12 h y al testigo, en una primera fase, la semilla absorbe agua proporcionalmente al tiempo de remojo, pero llega un punto en que disminuye la absorción, a las 12 h de remojo, las semillas disminuyen el agua

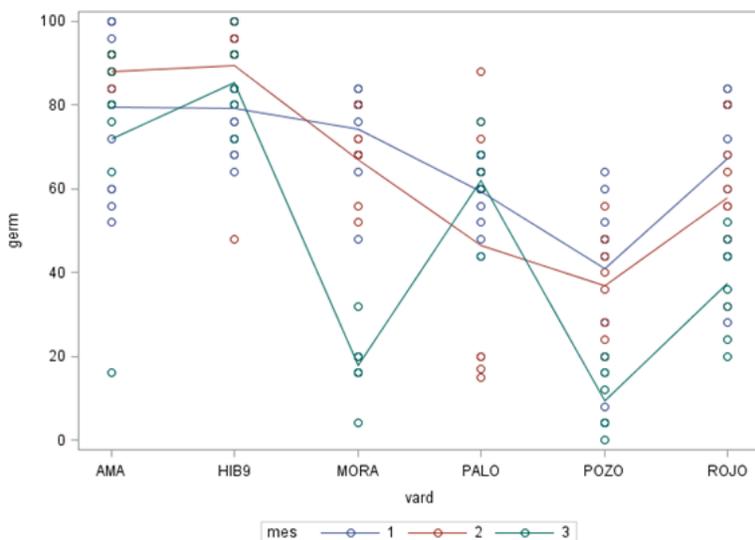
absorbida, lo cual fue observado por Méndez-Natera *et al.* (2008) para los cultivos maíz, caraota (frijol) y quinchoncho (chícharo) con incrementos de las tasas hasta las 8 y 10 h después de la imbibición, respectivamente (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Comparación de medias de la población Pozolero blanco, para imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| Pozolero blanco | Imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | pH     | Cenizas (%) |
|-----------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------|-------------|
| Testigo         | 0 c             | 8.74 b                                            | 6.17 b | 1.31 b      |
| 6 h             | 23.41 a         | 38.41 a                                           | 6.29 a | 1.53 a      |
| 12 h            | 21.43 b         | 44.88 a                                           | 6.31 a | 1.65 a      |
| Tukey           | 0.81            | 8.04                                              | 0.02   | 0.2         |

En conductividad eléctrica el testigo ( $8.74 \mu\text{s cm}^{-1}$ ) presentó menor salida de iones en comparación con los tratamientos. El nitrato está involucrado indirectamente en la síntesis de proteínas y en el metabolismo de carbohidratos, y en el retraso del envejecimiento de las semillas. Su efecto en semillas de tomate (*S. lycopersicum*) incrementó el contenido de proteína total y la actividad de nitrato reductasa, aunque no afectó el porcentaje de germinación, la uniformidad y la sincronía. El efecto del tratamiento fue de modo positivo, en semillas de baja calidad (Lara *et al.*, 2014).

En la Figura 1 se muestran las medias ajustadas por cuadrados mínimos se observa que las variedades Amarillo e híbrido fueron estadísticamente iguales con un mayor porcentaje de germinación durante el almacenamiento con poco efecto de este último. Las variedades morado y pozolero fueron muy afectadas por el almacenamiento a tres meses. Esto debido a que su endospermo es de tipo almidonado, la variedad Rojo, también fue afectada, pero en menor cuantía que los dos anteriores; este efecto de disminución en la germinación por el tiempo de almacenamiento fue notoria hasta el tercer mes.



**Figura 1. Ilustración de la interacción variedad x tiempo de almacenamiento en la germinación. Germ= porcentaje de germinación; var: variedad; AMA= amarillo; HIB9, híbrido; MORA= Elotes Occidentales Morado; PALO= maíz Palomero; POZO= maíz Pozolero blanco; ROJO= Elotes Occidentales Rojo; trat= tratamiento 1 (0 h), 2 (6 h) y 3 (12 h).**

De acuerdo con Finch-Savage *et al.* (2004) la acumulación de metabolitos dañinos, durante la prueba de remojo bajo condiciones anaeróbicas, decrece el porcentaje de germinación, sobre todo en los cultivares sensibles. Ventura *et al.* (2012) señalan que el efecto benéfico del osmoacondicionamiento puede perderse subsiguientemente debido a estrés oxidativo.

En el palomero las variables imbibición y conductividad eléctrica en los dos tratamientos no fueron significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ) pero superaron al testigo; la semilla de maíz suele poseer un pH ácido, que va entre los 4-5. El tratamiento de 6 h alcanzó valores de 6.16, algunos autores señalan que varianza de pH del maíz, es una condicionante para la calidad de la semilla, dado que alteraciones muy pequeñas suelen activar las proteínas y enzimas de la estructura interna principalmente embrión.

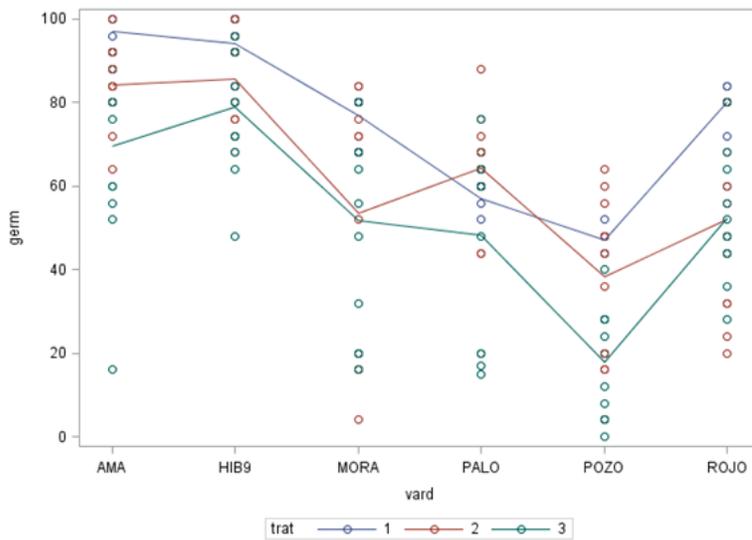
El análisis de varianza de la población Palomero Toluqueño para la variable germinación estándar indicó que no hubo diferencias significativas entre tratamientos. El porcentaje de cenizas, los dos tratamientos no son significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ), pero son superiores al testigo, la aplicación del nitrato de potasio tuvo un efecto significativo (Cuadro 8).

**Cuadro 1. Comparación de medias de la población palomero toluqueño, para las variables proteína, imbibición, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de cenizas. Roque, Guanajuato. 2016.**

| Palomero Toluqueño | Imbibición (mg) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) | pH     | Cenizas (%) |
|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------|-------------|
| Testigo            | 0 b             | 1.84 b                                            | 5.95 c | 1.11 b      |
| 6 h                | 11.85 a         | 9.93 a                                            | 6.16 a | 1.74 a      |
| 12 h               | 12.46 a         | 11.01 a                                           | 6.05 b | 1.72 a      |
| Tukey              | 1.04            | 1.82                                              | 0.01   | 0.2         |

En la Figura 2 se muestra que el tiempo de tratamiento a 12 h afectó más fuertemente a la población palomero, amarillo e híbrido fueron los menos afectados con los tratamientos, tuvieron mayor germinación que las otras poblaciones. Morado y palomero se comportaron de forma similar respecto al tratamiento. Palomero y Rojo se comportaron en forma similar.

Hay claro efecto de los tratamientos sobre la germinación de la semilla de maíz. El tratamiento a 12 afecta de manera más pronunciada la capacidad germinativa de la semilla, por lo que se podrían evaluar otros tiempos y otras sustancias para descubrir alguna sustancia que pudiera tener un efecto positivo sobre la germinación y el vigor de la semilla, que además le ayude a soportar el envejecimiento, como ha sido descrito por otros investigadores (Finch-Savage *et al.*, 2004; Villaruel y Méndez-Natera (2007), aunque es difícil determinar el tiempo correcto de imbibición para luego secar la semilla sin que sufra daño (Ventura *et al.*, 2012).



**Figura 2. Ilustración de la interacción variedad x tratamiento de osmoacondicionamiento en la variable germinación. Germ= % de germinación; var= variedad; AMA= amarillo; HIB9, híbrido; MORA= Elotes Occidentales Morado; PALO= maíz palomero; POZO= maíz Pozolero blanco; ROJO= Elotes Occidentales Rojo; trat= tratamiento 1 (0 h), 2 (6 h) y 3 (12 h).**

## Conclusiones

El osmoacondicionamiento no mejoró la resistencia de la semilla al daño por envejecimiento acelerado. Hubo un efecto negativo de los tratamientos sobre la germinación de la semilla, aunque la de origen híbrido resistió los tratamientos, seguida de la de endospermo córneo (Amarillo Roque), el palomero, aunque es de endospermo duro no mostró la resistencia de las variedades mencionadas, pero tampoco la susceptibilidad de los de endospermo blando, elotes occidentales y pozolero. El osmoacondicionamiento a 12 h tiene un efecto más adverso que el tratamiento a 6 h. los resultados apoyan la propuesta de que el envejecimiento acelerado da una buena idea de la calidad fisiológica de la semilla.

## Literatura citada

- Amador-Alferez, K.; Diaz-Gonzalez, J.; Loza-Cornejo, S. y Bivian-Castro, E. Y. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de especies de *Ferrocactus* (cactaceae). *Polibotánica*. 35:109-131.
- Ashley, M. K.; Grant, M. and Grabov, A. 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *J. Exp. Bot.* 57(2):425-436.
- Campos-Álvarez, F.; Cruz-García, F.; Torres-Espinosa, A.; Sánchez-Jiménez, M.; Colmenero-Flores, J. M.; Smith-Espinoza, C.; Covarrubias-Robles, A. y Vázquez-Ramos, J. M. 2002. Expresión de genes codificantes para proteína, abundantes en embriogénesis tardía (lea), durante el osmoacondicionamiento de semillas de maíz y frijol. *Agrociencia*. 36(4):461-470.

- Durán-Hernández, D.; Gutiérrez-Hernández, G. F.; Arellano-Vázquez, J. L.; García-Ramírez, E. y Virgen-Vargas, J. 2011. Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agron. Mesoam.* 22(1):11-20.
- Evans, J. and Turnbull, W. J. 2004. *Plantation forestry in the tropics*. Third edition. Oxford University press. New York, United States. 467 p.
- FAO. 1985. *Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano, directrices técnicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 173 p.
- Finch-Savage, W. E.; Dent, K. C. and Clark, L. J. 2004. Soak conditions and temperature following sowing influence the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (pre-sowing seed soak). *Fields Crops Res.* 90(2-3):361-374.
- Footitt, S.; Müller, K.; Kermodé, A. R. and Finch-Savage, W. E. 2015. Seed dormancy cycling in *Arabidopsis*: chromatin remodeling and regulation of DOG1 in response to seasonal environmental signals. *Plant J.* 81(3):413-425.
- Gómez, M. N. O.; Cantú, A. M. A.; Vázquez, C. M. G.; Hernández, G. C. del A.; Aragón, C. F.; Espinosa, C. A. y Tadeo, R. M. 2017. Variedad mejorada de maíz, azul 'V-239AZ' para las regiones semicálidas de Guerrero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(8):1905-1910.
- Greaves, I. K.; Gonzalez-Bayon, R.; Wang, L.; Zhu, A.; Liu, P.; Groszmann, M.; Peacock, J. W. and Dennis, E. S. 2015. Focus on chromatin/epigenetics: epigenetic changes in hybrids. *Plant Physiol.* 168(4):1197-1205.
- Guillen-de la Cruz, P.; Velázquez-Morales, R.; de la Cruz-Lázaro, E.; Márquez-Quiroz, C. and Osorio-Osorio, R. 2018. Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean J. Agric. Anim. Sci, ex Agro-Ciencia.* 34(2):108-117.
- Gurusinghe, S. and Bradford, K. J. 2001. Galactosyl-sucrose oligosaccharides and potential longevity of primed seed. *Seed Sci. Res.* 11(2):121-133.
- Gutiérrez-Hernández, G. F.; Vázquez-Ramos, J. M.; García-Ramírez, E.; Franco-Hernández, M. O.; Arellano-Vázquez, J. L. y Durán-Hernández, D. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(2):77-84.
- Hilmig, V. and Méndez-Natera, J. R. 2011. Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea Mays* L.) bajo condiciones experimentales. *Rev. Fac. Cien. Agrarias.* 39(2):91-100.
- Ilbi, H. and Eser, B. 2002. Effects of pre-storage treatments of ageing in onion seeds. *Acta Hort.* 579(108):613-618. doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.579.108.
- Jahnke, S.; Roussel, J.; Hombach, T.; Kochs, J.; Fischbach, A.; Huber, G. and Scharr, H. 2016. Pheno seeder-a robot system for automated handling and phenotyping of individual seeds. *Plant Physiol.* 172(3):1358-1370.
- Lara, T. S.; Lira, J. M. S.; Rodríguez, A. C.; Rakocevic, M. and Alvarenga, A. A. 2014. Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *J. Agric. Sci.* 6(2):72-80.
- Luna, M. B. M.; Hinojosa, R. M. A.; Ayala, G. O. J.; Castillo, G. F. y Mejía, C. J. A. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1):1-7.
- Mccann, M. C.; Trujillo, W. A.; Riordan, S. G.; Sorbet, R.; Bogdanova, N. N. and Sidhu, R. S. 2007. Comparison of the forage and grain composition from insect-protected and glyphosate-tolerant MON 88017 corn to conventional corn (*Zea mays* L.). *J. Agric. Food Chem.* 55(10):4034-4042.

- Méndez-Natera, J. R.; Merazo, J. F P. y Montaña, N. J. M. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Mill.). Revista UDO. 8(1):61-66.
- Moreno, M. E. 1998. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 383 p.
- Pérez de la Cerda, F. J.; Carballo-Carballo, A.; Santacruz-Varela, A.; Hernández-Livera, A. y Molina-Moreno, J. C. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agric. Téc. Méx. 33(1):53-61.
- Romano, A.; Teves, I.; Torres, N. y Cazón, L. 2008. Variaciones en la calidad de semilla de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) por efectos del daño mecánico y su influencia en el vigor de las plántulas. Idesia. 26(2):83-87.
- Sánchez, H. 2004. Manual tecnológico del maíz amarillo duro y de buenas prácticas agrícolas para el valle de Huaura. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). Lima, Perú. 139 p.
- SAS. 2001. Statistical Analysis System Institute. SAS user's guide. Statistics. Version 8.0. SAS.
- Sousa-Paiva, E. A.; Lemos-Filho, J. P. and Trombert-Oliveira. 2006. Imbibition of *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) seeds: a role of stomata. Ann. Bot. 98(1):213-217.
- Sveinsdottir, H.; Yan, F.; Zhu, Y.; Peiter-Voik, T. and Schubert, S. 2009. Seed aging-induced inhibition of germination and postgermination root growth is related to lower activity of plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase in maize roots. J. Plant Physiol. 166(2):128-135.
- Ventura, L.; Doña, M.; Macovei, A.; Carbonera, D.; Buttafara, A.; Mondoni, A.; Rossi, G. and Balestrazzi, A. 2012. Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. Plant Physiol Biochem. 60:196-206.
- Villaroel, N. y Méndez-Nátera, J. 2007. Calidad de semilla de nueve lotes de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) afectada por el envejecimiento acelerado. Rev. Fac. Agron. (Luz). 24(1):89-94.
- Yu, X.; Li, A. and Li, W. 2015. How membranes organize during seed germination: three patterns of dynamic lipid remodelling define chilling resistance and affect plastid biogenesis. Plant Cell Environ. 38(7):1391-1403. Doi:10.1111/pce.12494.