

Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero

Micaela de la O-Olán¹
Amalio Santacruz-Varela²
Dora Ma. Sangerman-Jarquín¹
Alfredo Josué Gámez-Vázquez³
José Luis Arellano-Vázquez¹
Ma. Guadalupe Valadez-Bustos^{2§}
Miguel Angel Avila Perches³

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. Tel. 01(800) 0882222, ext. 85307, 85353. (olan.micaela@inifap.gob.mx; sangerman.dora@inifap.gob.mx; arellano.jose@inifap.gob.mx). ²Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 01(595) 9520200, ext. 1570. (asvarela@colpos.mx). ³Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. Tel. 01(800) 0882222, ext. 85220. (gamez.josue@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: valadez.guadalupe@colpos.mx.

Resumen

México es centro de origen del maíz y por lo tanto, tiene la vital importancia de conservar el germoplasma y mantener la diversidad genética de este cultivo ante cualquier presencia de plagas y enfermedades o de otro tipo de fenómenos naturales que acaban con las variedades dominantes que suelen sembrarse en otros países. En México se siembra una gran diversidad de variedades de este cereal. El maíz palomero es catalogado de los más antiguos y en la actualidad se encuentra en peligro de extinción. Las palomitas de maíz tienen altos contenidos de fibra, vitaminas, minerales, proteínas y antioxidantes, además ayudan a disminuir el colesterol y a controlar la diabetes. Por lo cual, es de gran importancia establecer un protocolo estándar del método de reventado de palomitas de maíz, que permita realizar las evaluaciones de los genotipos de manera consistente en los diferentes programas de mejoramiento genético. En este trabajo se evaluó la influencia del genotipo, tamaño de muestra, tiempo de exposición a las microondas, y humedad del grano sobre las características de reventado de dos genotipos de maíz palomero, un comercial amarillo y un híbrido experimental. Se encontraron diferencias significativas en las variables evaluadas. El genotipo comercial obtuvo el mayor volumen de expansión (27.11 cm^3), utilizando 2:45 min en el microondas, y con una humedad de 12%; mientras que en el genotipo híbrido se recomienda utilizar 2:30 min y una humedad de 13%, para obtener el mayor volumen de expansión (9.48 cm^3).

Palabras clave: *Zea mays*, contenido de humedad, volumen de expansión.

Recibido: junio de 2018

Aceptado: octubre de 2018

Introducción

El maíz ha desempeñado un papel primordial en el desarrollo de la humanidad, fue el sustento de grandes culturas, como la Olmeca, Tolteca, Maya, Teotihuacana, Zapoteca, entre otras (Vázquez *et al.*, 2011). La importancia de este cereal va más allá de la alimentación porque forma parte de las ceremonias religiosas, del pensamiento, la literatura y poesía. Tiene una larga lista de centenarias dinámicas familiares de siembra, de cosecha y preparación de alimentos, por mencionar algunas (De la O *et al.*, 2015).

Actualmente la industria utiliza el maíz como forraje en la alimentación de grandes hatos y en la obtención de compuestos químicos que son comercializados como alimentos, medicinas y cosméticos, miel de maíz, azúcar de maíz, dextrosa, almidón o fécula de maíz, aceites, colorantes, alcohol e infinidad de usos (De la O *et al.*, 2015).

Las razas indígenas antiguas de maíz se originaron en México a partir de su pariente silvestre, el teocintle (*Zea mays ssp. parviglumis* Iltis & Doebley) y este grupo se caracteriza por ser palomero (Romero *et al.*, 2006). Romero *et al.* (2006) mencionan que la raza de maíz palomero posee subrazas reventadoras distribuidas en el país, por mencionar algunas; la subraza palomero de Chihuahua, palomero de Jalisco y palomero Poblano.

El maíz presenta una gran diversidad de formas, tamaños, colores, texturas y adaptaciones a diferentes ambientes, si bien todos los maíces pertenecen a la misma especie, los tipos o razas que los diferencian corresponden a una clasificación artificial, no botánica. Existe, además, una serie de genes que modifican la composición química del endospermo. La composición química del endospermo configura las características físicas que permiten establecer tipos comerciales bastantes claros. Desde el punto de vista comercial los maíces se clasifican de acuerdo con la dureza del grano: dentados, duros, harinosos, dulces, palomeros, ornamentales y maíces para usos especiales (ILSI, 2006).

El maíz palomero es el nombre que se emplea para maíces que tienen la capacidad de reventar para producir palomitas o rosetas de maíz. El maíz palomero, también conocido como maíz “rosero”, ‘reventador’ o ‘revienta ollas’ presenta granos pequeños, su endospermo es muy duro y su pericarpio es grueso (Paliwal *et al.*, 2001). El nombre proviene del hecho de que estalla cuando convierte el agua del interior en vapor (Soylu y Tekkanat, 2007). El maíz reventador se cultiva para consumo humano como rosetas de maíz o palomitas, galletas, dulces, pinole y también se puede usar para hacer tortillas (Fernández *et al.*, 2013). Por su parte, Amaral *et al.* (2010), mencionan que los programas de fitogenotecnia de maíz palomero tienen como objetivo desarrollar variedades con altos volúmenes de expansión y rendimiento de grano. Sin embargo, no es fácil la obtención de variedades con estas características, ya que varios autores han señalado que existe una correlación negativa entre el rendimiento y la capacidad de expansión y su calidad (Pereira y Amaral, 2001; Daros *et al.*, 2004; Vieira *et al.*, 2009).

La capacidad de reventar del maíz palomero está condicionada a varios factores, tales como: tamaño, volumen y contenido de humedad del grano, genotipo, peso de 1 000 semillas, procedimiento de secado, cantidad de daño en el pericarpio y endospermo, entre otros (Allred-Coyle *et al.*, 2000; Karababa, 2006; Mishra *et al.*, 2014). Además, también son importantes los parámetros que incluyen

el sabor, la textura, el color y la forma, para obtener unas palomitas de buena calidad (Sweley *et al.*, 2013). Ya que, entre mayor volumen tenga el grano, proporcionará mejor textura una vez reventado. Los granos revientan cuando se calientan alrededor de 177 °C (Pajic, 2007).

La norma NMX-FF-034/2-SCFI-2003 menciona que la clasificación del maíz puede realizarse con diferentes niveles de humedad; sin embargo, se considera que el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento, es 14%. La mayor influencia de la humedad y tiempo de reventado pudiera estar relacionada con la composición del pericarpio (hemicelulosa, celulosa y lignina), que cumple la función de impedir la salida de humedad del grano, logrando de esta forma que la presión de vapor se incremente a tal grado que permita el reventado para la formación de la roseta o palomita.

La raza palomero Toluqueño es empleada comúnmente en la Mesa Central. Debido a que esta raza de maíz se cultiva en gran medida en el valle de Toluca, se le dio el nombre de palomero Toluqueño (Gámez *et al.*, 2014). El uso de variedades convencionales de maíz palomero como el toluqueño puede ser limitado en algunas regiones, ya que sólo se han localizado plantaciones por arriba de los 2000 msnm (Romero *et al.*, 2006).

Existen varios factores de gran importancia a los maíces palomeros: a) son catalogados de los más antiguos, debido que una de las primeras formas del consumo del maíz fue reventando sus granos al calor del fuego; b) las palomitas de maíz son un alimento 100% mexicano; c) en la actualidad los maíces palomeros mexicanos se encuentran en grave peligro de extinción, debido que son escasos los agricultores que siembran maíz palomero en nuestro país; d) SIAP-SAGARPA (2017), publico que México tiene que importar aproximadamente 80 000 toneladas de maíz palomero de países como Estados Unidos de América y Argentina, esto provoca la enorme necesidad de impulsar programas nacionales para realizar el rescate de este cultivo; e) las palomitas de maíz contienen niveles muy altos de polifenoles, los cuales son antioxidantes que previenen el daño celular y que pueden ayudar a combatir enfermedades cardiovasculares y problemas de cáncer; y f) tienen altos contenidos de fibra, vitaminas del complejo B, vitamina E, aportan minerales y proteínas, disminuyen el colesterol y a controlar la diabetes (Arendt y Zannini, 2013; Paraginski *et al.*, 2016).

Debido a la gran importancia que tiene el maíz palomero en nuestro país, los objetivos en el presente estudio fueron: a) determinar la relación de causalidad entre el contenido de humedad de la semilla de maíces palomeros y su atmósfera circundante modificada mediante diferentes concentraciones de soluciones salinas y b) establecer un protocolo estándar del método de reventado de palomitas de maíz, que permita realizar las evaluaciones de los genotipos de manera consistente en los diferentes programas de mejoramiento genético, optimizando la expansión del grano mediante la manipulación de los principales factores que inciden en el reventado del mismo.

Materiales y métodos

Material genético

Se utilizaron dos genotipos de maíz palomero, uno comercial amarillo de la raza North American Yellow Pearl y un híbrido experimental resultado de un cruzamiento entre una línea de North American Yellow Pearl por una línea de una población de la raza nativa palomero Toluqueño, resultando en la siguiente genealogía: NAYPP-II × MEX5-77 (Figura 1).



Figura 1. A la izquierda el genotipo NAYPP-II × MEX5-77, a la derecha maíz palomero comercial de la raza North American Yellow Pearl.

Equilibrio de humedad de la semilla bajo atmósferas modificadas con soluciones salinas de diferente concentración

Con el fin de conocer la concentración de cloruro de sodio (sal común), a utilizar para crear una atmósfera para que la semilla entre en equilibrio higroscópico con el ambiente que le rodea a fin de alcanzar el contenido de humedad deseado, se realizó una prueba, con base en la propuesta de Brenes (2007), utilizando soluciones de diferentes concentraciones de sal común para modificar la atmósfera circundante, tomando como base la concentración de 175 g de cloruro de sodio disueltos en un litro de agua (Cuadro 1), bajo la premisa de que a mayor concentración de sal se generaría una humedad relativa baja, colocando para ello 1 kg de grano en almacenamiento en bolsas de manta dentro de recipientes herméticos tipo “pecera” durante 7 días. Dentro de los recipientes de plástico se introdujo una estructura de madera con malla de alambre por encima de la solución salina, manteniendo a la muestra fuera de contacto con la solución; se colocaron ventiladores para homogeneizar el ambiente y se colocó un registrador de datos HOB0 dentro de cada recipiente para monitorear a intervalos regulares la humedad relativa y la temperatura. El montaje anteriormente descrito se muestra en la Figura 2.

Cuadro 1. Inducción de diferentes humedades relativas en maíz palomero mediante atmósferas modificadas con sal común.

Ambiente	Concentración (g NaCl L ⁻¹ de agua)
1	186.1
2	238
3	292.7



Figura 2. Estructura hermética para generar las atmósferas modificadas y obtener diferentes humedades de equilibrio en el grano de maíz palomero.

Se determinó el contenido de humedad del grano bajo las diferentes atmósferas modificadas utilizando el método de secado en estufa a 103 °C, durante 17 h de acuerdo con los protocolos descritos por la ISTA (1996) en cuatro repeticiones por tratamiento.

Factores de variación utilizados para evaluar el método de reventado en maíz palomero

Para las pruebas de reventado se utilizó un horno de microondas marca Daewoo, Modelo KOR-164H con las especificaciones que se señalan en el Cuadro 2, ajustando la potencia del horno a 70%.

Cuadro 2. Especificaciones del horno de microondas utilizado para las pruebas de reventado.

Microondas Daewoo KOR-164H	Especificaciones	
Fuente de alimentación	127 V~/60Hz. Fase sencilla con tierra	
Parámetros {	Consumo	1 400 W
	Potencia de salida de microondas	1 000 W
	Frecuencia de microondas	2 450 MHz
Dimensiones externas (Ancho × Alto × fondo)	589 × 339 × 486 mm	
Dimensiones de la cavidad (Ancho × Alto × fondo)	399 × 263 × 426 mm	
Peso neto	Aproximadamente 18.5 kg	
Cronómetro	99 min 99 s	
Niveles de potencia	10 niveles	

Utilizando un horno de microondas con las especificaciones que se describieron anteriormente, se evaluó la influencia de los siguientes factores de variación sobre las características de reventado.

Genotipos: North American Yellow Pearl y NAYPP-II × MEX5-77.

Tiempo de exposición a las microondas: se evaluaron los tiempos de 2:15, 2:30, 2:45 y 3:00 min.

Humedad del grano: se utilizaron granos con diferentes contenidos de humedad generados mediante atmósferas modificadas (12, 13, 14 y 15%).

Tamaño de la muestra: se tomaron muestras de maíz de peso de 20, 30 y 40 g.

Con los factores de estudio se generaron 96 tratamientos, los cuales se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial $2 \times 4 \times 4 \times 3$, con 4 repeticiones.

El análisis estadístico se efectuó con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 SAS (2002), mediante un análisis de varianza factorial ($p \leq 0.05$) y se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$; Steel y Torrie, 1996).

Las variables de respuesta que se evaluaron en los genotipos North American Yellow Pearl y NAYPP-II \times MEX5-77 fueron: volumen de expansión en cm^3 (VE); tipo de roseta (TR), donde el valor de 1 corresponde al tipo 'mariposa' y el valor de 5 al tipo 'hongo'; pericarpio pulverizado (P), donde el valor de 1 corresponde a un pericarpio completamente pulverizado y porcentaje de granos no reventados (GNR).

Resultados y discusión

Relación de causalidad entre el contenido de humedad de la semilla de maíces palomeros y su atmósfera circundante modificada

Con los resultados obtenidos a partir de las diferentes concentraciones de sal común que se utilizaron en este estudio, para modificar la atmósfera circundante; se generó una ecuación de regresión y con esta se construyó una curva donde se representan las diferentes concentraciones salinas y sus correspondientes contenidos de humedad del grano en un rango entre 10.5 y 16.5% (Figura 3).

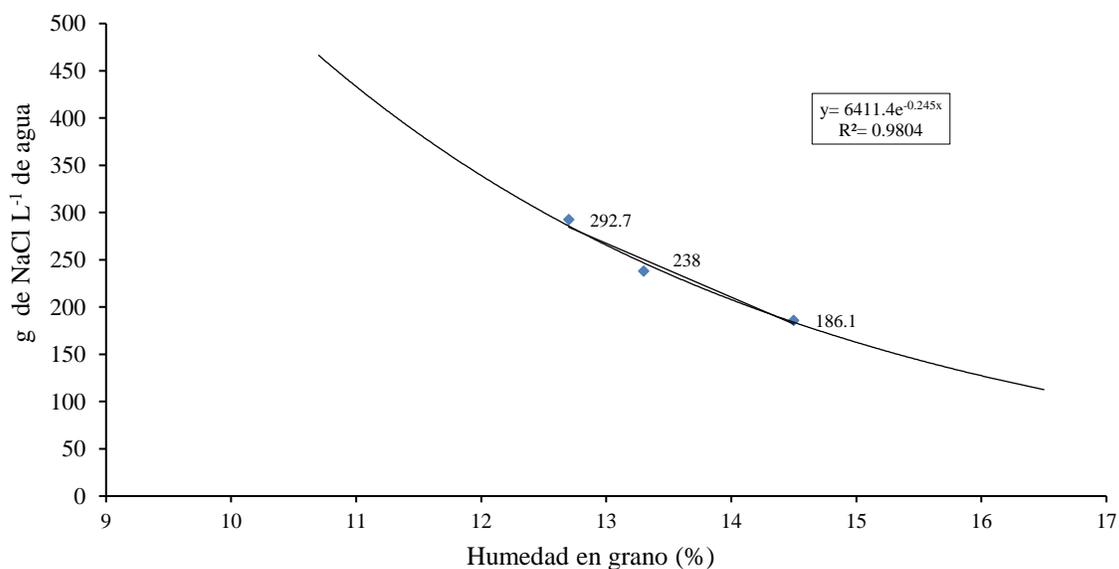


Figura 3. Curva para el porcentaje de humedad en grano en función de diferentes concentraciones salinas.

El contenido de humedad de la semilla y su calidad fisiológica, son influenciados conjuntamente por la especie y el ambiente del almacén (Brenes, 2007). La humedad de la semilla aumenta significativamente si el ambiente de almacenamiento es cálido y húmedo, por lo cual, a mayor concentración de sal utilizada en este experimento, generó una menor humedad relativa y por lo tanto, un menor contenido de humedad de equilibrio en la semilla.

En la Figura 3 se puede observar, que utilizando una concentración de 186.1 g de NaCl L⁻¹ de agua, se generó un contenido de humedad de 14.5% del grano, la concentración de 238 g de NaCl produjo un contenido de humedad de 13.3%, mientras que la concentración de 292.7 g de NaCl generó una humedad del grano 12.7%.

Genotipos

En el Cuadro 3 se presentan las medias de las variables evaluadas por genotipo, en donde se puede observar que el genotipo comercial de la raza North American Yellow Pearl, mostró un mayor volumen de expansión (23.15 cm³) y menor porcentaje de granos no reventados (40%), lo que demuestra por un lado el largo historial de mejoramiento genético en los maíces palomeros en América del Norte, como lo menciona Ziegler (2003) y por otro lado, la falta de atención en las razas de maíz palomero nativas de México.

Cuadro 3. Comparación de medias por genotipo para las variables de respuesta del maíz palomero.

Genotipo	VE	GNR	TR	P
Comercial	23.15 a*	40.14 b	2.42 b	2.85 b
Hibrido	9.2 b	57.24 a	3.45 a	4.96 a

VE= volumen de expansión en cm³; GNR= porcentaje de grano no reventado; TR= tipo de roseta; P= pericarpio pulverizado: * = medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

En cuanto al tipo de roseta, el genotipo comercial mostró una forma de palomita que se aproxima al tipo ‘mariposa’, mientras que el híbrido presentó una forma que se aproxima al tipo ‘hongo’ como se muestra en la Figura 4. Y en la variable pericarpio pulverizado, el genotipo comercial exhibió un pericarpio que se fragmentó, mientras que el híbrido presentó un pericarpio entero y pegado a la palomita.



Figura 4. Forma de roseta obtenida en las pruebas de reventado. a) rosetas del maíz híbrido experimental y b) rosetas del maíz comercial de la raza North American Yellow Pearl.

La importancia del genotipo en el VE y en el GNR, es ampliamente conocido y mencionado por varios autores (Gökmen, 2004; Soyly y Tekkanat, 2007; Ertas *et al.*, 2009). Estos resultados coinciden con los publicados anteriormente por Gökmen (2004), donde menciona que las variedades comerciales de maíz palomero producen un mayor VE y menor GNR, que las variedades criollas; y que esto puede ser debido a que las variedades criollas tienen granos grandes, pero no son uniformes.

Tiempo de exposición a las microondas

La comparación de medias para los tiempos de exposición a las microondas se presenta en el Cuadro 4. En el cual se observa que a medida que incrementa el tiempo, aumenta el volumen de expansión y disminuye el porcentaje de grano no reventado.

Cuadro 4. Comparación de medias en el factor de tiempo de exposición a las microondas para las variables evaluadas del maíz palomero.

Tiempo (min)	VE	GNR	TR	P
2:15	15.43 b*	54.06 a	2.94 b	3.95 a
2:30	15.28 b	53.54 a	2.9 c	3.89 c
2:45	16.82 a	44.15 b	2.97 a	3.88 c
3:00	17.2 a	43.01 b	2.94 b	3.92 b

VE= volumen de expansión en cm³; GNR= porcentaje de grano no reventado; TR= tipo de roseta; P= pericarpio pulverizado; *= medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

En este estudio es importante señalar, que cuando se utilizó el tiempo de 3:00 min en el microondas, se presentaron quemaduras en las palomitas, como las que se observan en la Figura 5. Por lo cual, no es recomendable utilizar este tiempo de exposición.



Figura 5. Palomitas producidas a un tiempo de exposición a las microondas de 3:00 min.

Existen muy pocos estudios donde se prueban diferentes tiempos de exposición a las microondas. Por su parte, Gökmen (2004), evaluó el VE y GNR de diferentes genotipos de maíz palomero utilizando un microondas de 230 V y 1200 W y utilizó entre 2.5 y 3 min de exposición a las microondas.

Humedad del grano

En el Cuadro 5 se puede apreciar, que se obtiene un mayor volumen de expansión a una humedad 12% en grano y con esa misma humedad se mostró el menor porcentaje de grano no reventado. La mayoría de los autores coincide en que el rango de 11% a 15.5% de humedad en el grano produce el mayor volumen de expansión (Allred-Coyle *et al.*, 2000; Shimoni *et al.*, 2002; Gökmen 2004; Ertaş *et al.*, 2009); sin embargo, el contenido óptimo depende de la variedad de maíz, el método de reventado y el tamaño del grano (Vázquez *et al.*, 2011).

Cuadro 5. Comparación de medias en el factor de humedad del grano para las variables evaluadas del maíz palomero.

Humedad (%)	VE	GNR	TR	P
12	16.62 a*	47.04 b	2.97 c	3.78 c
13	15.95 b	47.28 b	3.16 a	4 a
14	16.2 ab	51.32 a	3.05 b	3.8 b
15	15.97 b	49.12 ba	2.56 d	4 a

VE= volumen de expansión en cm³; GNR= porcentaje de grano no reventado; TR= tipo de roseta; P= pericarpio pulverizado; * = medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Tamaño de muestra

En la comparación de medias por tamaño de muestra (Cuadro 6), se puede percibir que a mayor tamaño de muestra resulta mayor el porcentaje de granos no reventados, y presenta un tipo de roseta que se aproxima más al tipo ‘mariposa’.

Cuadro 6. Comparación de medias por tamaño de muestra para las variables evaluadas del maíz palomero.

Muestra (g)	GNR	TR	P
20	45.58 b*	3.01 a	3.98 a
30	46.62 b	2.96 b	2.83 c
40	53.86 a	2.84 c	3.91 b

GNR= porcentaje de grano no reventado; TR= tipo de roseta; P= pericarpio pulverizado; * = medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Considerando que el objetivo primordial del estudio es la estandarización de un método de reventado para optimizar la expansión del grano mediante la manipulación de los principales factores como son humedad en grano, tiempo de exposición a las microondas, tamaño de muestra y genotipo, que inciden en el reventado del mismo, es necesario tomar en cuenta las observaciones individuales resultantes de las combinaciones de los diferentes niveles y factores involucrados; así, en los Cuadros 7 y 8, se presenta la comparación de las medias del volumen de expansión del maíz palomero, considerando simultáneamente los factores de variación: genotipo*humedad*tiempo, utilizando un tamaño de muestra estándar de 30 g.

Cuadro 7. Comparación de medias del volumen de expansión del maíz (cm³), utilizando un tamaño de muestra de 30 g en el genotipo comercial.

Humedad (%)	Tiempo (min)			
	2:15	2:30	2:45	3:00
12	24.12	23.96	27.11	25.96
13	22.45	23.47	25.47	26.62
14	24.1	22.77	24.79	28.42
15	21.29	21.95	26.11	24.78

Cuadro 8. Comparación de medias del volumen de expansión del maíz (cm³), utilizando un tamaño de muestra de 30 g en el genotipo híbrido.

Humedad (%)	Tiempo (min)			
	2:15	2:30	2:45	3:00
12	8.97	9.31	9.14	8.81
13	8.65	9.48	8.98	8.65
14	8.64	8.12	8.64	8.29
15	8.98	9.15	8.65	8.65

Analizando la información de los Cuadros 7 y 8, se considera conveniente proporcionar recomendaciones específicas para cada genotipo, así se considera que la mejor combinación para obtener un volumen de expansión mayor en el genotipo comercial, es exponiendo el maíz palomero a 2:45 min en el microondas y conteniendo una humedad 12%, considerando un tamaño de muestra de 30 g. Y para el genotipo híbrido, se observaron los mejores resultados, cuando se usa el tiempo de 2:30 min, con una humedad 13%, considerando el mismo tamaño de muestra.

Conclusiones

En la relación de causalidad entre el contenido de humedad de la semilla de maíces palomeros y su atmósfera circundante modificada, se logró obtener una humedad 12.7% cuando se utilizó la mayor concentración de NaCl L⁻¹ en este estudio (292.7 g).

El genotipo comercial de la raza North American Yellow Pearl, presentó mayor volumen de expansión, una forma de palomita que se aproxima más al tipo ‘mariposa’ y menor porcentaje de grano no reventado, en comparación con el híbrido experimental evaluado.

El mayor volumen de expansión en el genotipo comercial se obtuvo utilizando 2:45 min en el microondas, con una humedad 12%, mientras que el genotipo híbrido se recomienda usar 2:30 min y una humedad 13%, para obtener el mayor volumen, tomando en cuenta una muestra de 30 g.

Agradecimientos

Los autores(as) agradecen al Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo y al proyecto de diversidad varietal, vulnerabilidad y mejoramiento genético de las razas de maíz palomero en México, financiado por SINAREFI-SNICS, BEI-MAI-12-5.

Literatura citada

- Allred, C. T. A.; Toma, R. B.; Reiboldt, W. and Thakur, M. 2000. Effects of moisture content, hybrid variety, kernel size, and microwave wattage on the expansion volume of microwave popcorn. England. *Inter. J. Food Sci. Nutr.* 51(5):389-394.
- Amaral, J. A. T.; Freitas, J. S. P.; Rangel, R. M.; Pena, G. F.; Ribeiro, R. M.; Morais, R. C. and Schuelter, A. R. 2010. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. Brasil. *Gen. Mol. Res.* 9(1):340-347.
- Arendt, E. K. and Zannini, E. 2013. Maizes. *In: cereal grains for the food and beverage industries.* Arendt, E. K. and Zannini, E. (Eds). Primera edición. Woodhead Publishing, Philadelphia, USA. 67-113 pp.
- Brenes, A. E. 2007. Decremento de la calidad fisiológica durante el almacenamiento en semillas de maíz, frijol y canola. Tesis de Maestría. Montecillo, Estado de México, México. 72 p.
- Daros, M.; Amaral, J. A. T.; Pereira, M. G.; Santos, F. S.; Scapim, C. A.; Freitas, J. S. P.; Daher, R. F. and Ávila, M. R. 2004. Correlations among agronomic traits in two recurrent selection cycles in popcorn. Brasil. *Ciência Rural.* 5(34):1389-1394.
- De la O, O. M.; Sangerman- Jarquín. D. M.; Gámez, V. A. J.; Santacruz, V. A.; López, S. H. y Hernández, C. J. M. 2015. Costumbres, usos y alternativas de usos de la raza criolla de maíz palomero toluqueño: caso Estado de México. *In: desarrollo y tecnología. Aportaciones a los problemas de la sociedad.* Tepantlán, C. S.; Ayala, G. A. V. y Almaguer, V. G. (Eds.). Primera edición. Plaza y Valdés SA de CV Distrito Federal, México. 159-176 pp.
- Ertaş, N.; Soyulu, S. and Bilgiçli, N. 2009. Effects of kernel properties and popping methods on popcorn quality of different corn cultivars. United States of America. *J. Food Process Eng.* 4(32):478-496.
- Fernández, S. R.; Morales, Ch. L. A. y Gálvez, M. A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3):275-283.
- Gámez, V. A. J.; De la O, O. M.; Santacruz, V. A. y López, S. H. 2014. Conservación *in situ*, manejo y aprovechamiento de maíz palomero Toluqueño con productores custodios. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(5):1519-1530.
- Gökmen, S. 2004. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. United States of America. *J. Food Eng.* 65:357-362.
- ILSI (International Life Sciences Institute). 2006. Maíz y nutrición: informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina. Argentina. Volumen 2. 80 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 1996. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology.* 24(Supplement):243-248.
- Karababa, E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. United States of America. *J. Food Eng.* 72:100-107.
- Mishra, G.; Joshi, D. C. and Panda, B. K. 2014. Popping and puffing of cereal grains: a review. India. *J. Grain Proc. Storage.* 2(1):34-46.
- Pajic, Z. 2007. Breeding of maize types with specific traits at the maize research institute, zemun polje. Russia. *Genetika.* 2(39):167-180.
- Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO: Producción y protección vegetal. Roma, Italia. 376 p.

- Paraginski, R. T.; Souza, N. L.; Alves, G. H.; Ziegler, V.; Oliveira, M. and Cardoso, E. M. 2016. Sensory and nutritional evaluation of popcorn kernels with yellow, white and red pericarps expanded in different ways. South Africa. Journal of Cereal Science. 69:383-391.
- Pereira, M. G. and Amaral, J. A. T. 2001. Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. Brasil. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 1(1):3-10.
- Romero, C. T.; González, D. L. y Reyes, R. G. 2006. Geografía e historia cultural del maíz palomero toluqueño (*Zea mays everta*). México. Ciencia Ergo Sum. 1(13):47-56.
- SAS Institute. 2002. SAS software release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA). http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.
- Shimoni, E.; Dirks, E. M. and Labuza, T. P. 2002. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters. United States of America. LWT-Food Sci. Technol. 35(1):93-98.
- Soylu, S. and Tekkanat, A. 2007. Interactions amongst kernel properties and expansion volume in varios popcorn genotypes. United States of America. J. Food Eng. 80:336-341.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1996. Bioestadística: principios y procedimientos. Martínez, B. R. (Trad.). McGraw-Hill. Segunda edición. DF. México. 622 p.
- Sweley, J. C.; Rose, D. J. and Jackson, D. S. 2013. Quality traits and popping performance considerations for popcorn (*Zea mays Everta*). United States of America. Food Reviews International. 2(29):157-177.
- Vázquez, C. M. G.; Ortega, C. A.; Guerrero, H. M. J. y Coutiño, E. B. 2011. Evaluación bioquímica e industrial de razas nativas de maíz de la región serrana de Sonora. *In: amplitud, mejoramiento, usos y riesgos de la diversidad genética de maíz en México*. Preciado, O. R. E. y Montes, H. S. (Eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética AC. Chapingo, Estado de México, México. 97-142 pp.
- Vieira, R. A.; Souza, N. I. L.; Bignotto, L. S.; Cruz, C. D.; Amaral, J. A. T. and Scapim, C. A. 2009. Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. Brasil. Acta Scientiarum. Agronomy. 3(31):411-419.
- Ziegler, K. E. 2003. Popcorn. *In: corn: chemistry and technology*. White, P. J. and Johnson, L. A. (Eds). Segunda edición. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 783-809 pp.