

## Fijación del color en grano y características físicas, tecnológicas y nutraceuticas en maíz Elotes Occidentales

Gabriela Ballesteros Martínez<sup>1</sup>

Patricia Zarazúa Villaseñor<sup>2§</sup>

Yolanda Salinas Moreno<sup>1</sup>

Lino de la Cruz Larios<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro Altos Jalisco-INIFAP. Biodiversidad núm. 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. AP. 56. CP. 47600. Tel. 01 (800) 0882222, ext. 84520 y 84501. (gbal.mtz@gmail.com; yolasm@gmail.com).

<sup>2</sup>Departamento de Desarrollo Rural Sustentable e Instituto de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos (IMAREFI)-Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA)-Universidad de Guadalajara. Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez núm. 2100, Predio Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. CP. 45510. Tel. 01(333) 777150, ext. 33016 y 33190. (linocucba@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: pzarazua@cucba.udg.mx.

### Resumen

La raza de maíz Elotes Occidentales posee granos con pigmentación por antocianinas que tienen capacidad antioxidante y se utilizan para elaborar pozole. El objetivo fue determinar el efecto de fijar y uniformizar el color del grano, y la evaluación de características físicas, variables tecnológicas y de composición nutraceutica en maíz de una población de la raza Elotes Occidentales. El cultivo se estableció en el campo experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, en Zapopan, Jalisco, México, previa selección por apreciación visual de color del grano en tres intensidades: claros, intermedios y oscuros, en los ciclos primavera-verano 2013, otoño-invierno 2013-2014 y 2014-2015 en que se autopolinizaron. Granos de color uniforme se seleccionaron y sembraron en primavera-verano 2015 y otoño-invierno 2016-2017, obteniendo la población final por recombinación en cruces fraternales por color. Se evaluaron características físicas, variables tecnológicas (para elaboración de pozole) y nutraceuticas (antocianinas totales, fenoles solubles totales y capacidad antioxidante) en grano de las poblaciones original y final, mediante un diseño completamente al azar. El color del grano de la población final presentó uniformidad e incremento su intensidad en las tres subpoblaciones; sin embargo, el tamaño de grano, contenido de antocianinas (27.41% de diferencia) y en la capacidad antioxidante, fueron menores estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) a la población original. Las variables físicas y tecnológicas fueron las apropiadas para elaborar pozole. Con la técnica utilizada para la fijación del color, no se obtuvo ganancia por efecto del color en características nutraceuticas.

**Palabras clave:** *Zea Mays* L., pigmento, pozole.

Recibido: febrero de 2019

Aceptado: mayo de 2019

## Introducción

Entre los maíces pigmentados de alto valor agregado con potencial para usos especiales en la alimentación humana, destaca la raza Elotes Occidentales, cuyos granos presentan textura harinosa y tamaño de intermedio a grande (Salinas *et al.*, 2013; Vázquez *et al.*, 2014), por lo que se destinan principalmente al consumo en forma de pozole y elote (Ron *et al.*, 2006). En la nixtamalización, los granos de maíz con pigmento en capa de aleurona preservan su color, obteniendo productos teñidos de manera natural con propiedades nutraceuticas (Salinas-Moreno *et al.*, 2003).

La raza Elotes Occidentales prospera preferentemente en estados del occidente de México, aunque existe infiltración en maíces cultivados en Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Ron *et al.*, 2006). En mercados locales, el grano de color rojo alcanza un sobreprecio en relación a maíces de grano blanco utilizados para la elaboración de pozole (CONABIO, 2010). En el grano de maíz los tejidos de pericarpio y aleurona, son capaces de biosintetizar y almacenar antocianinas (Espinosa *et al.*, 2009; Ron-Parra *et al.*, 2016), que tienen capacidad antioxidante (Salinas *et al.*, 2017) y contribuyen a la prevención de cáncer y actividades antirradicales (Rodríguez *et al.*, 2013).

Estos pigmentos son importantes en la producción de alimentos funcionales debido a sus características nutraceuticas (Salinas *et al.*, 2017). En la raza de maíz Elotes Occidentales se presentan accesiones de grano con color morado, rojo y azul, debido a la presencia de antocianinas en la capa de aleurona (Ron *et al.*, 2006). Con la finalidad de obtener materiales con las características deseables para usos específicos, en maíz se han desarrollado diferentes métodos de mejoramiento para aprovechar los efectos aditivos y de dominancia, entre éstos el de autohermanos (Márquez, 1985), utilizado para la fijación de caracteres convenientes al incrementar la proporción de genes en condición homocigótica, que tienen una apariencia uniforme (Ron-Parra *et al.*, 2016).

En trabajos sobre fijación de pigmentos, se han utilizado diferentes métodos con la selección fenotípica como herramienta de selección. Tal es el caso de Landi *et al.* (2008), que en poblaciones F<sub>2</sub> obtenidas por autofecundaciones de una cruce simple, encontraron que la selección por color es efectiva para varios rasgos del grano; en el trabajo de Lago *et al.* (2014), se seleccionaron granos de acuerdo al contenido de antocianinas en plantas heterocigotas provenientes de retrocruzamiento y en plantas con autopolinización, en ambos casos se utilizó la selección asistida por marcadores. Espinosa *et al.* (2009), encontraron un efecto significativo de la dirección de la cruce (directa y recíproca) y de la hembra sobre el contenido de antocianinas (en pericarpio, en aleurona y grano entero) y de componentes morfológicos, vía selección recurrente.

Rodríguez *et al.* (2013), mencionan que en la selección recurrente de hermanos completos se obtiene ganancia en contenido de antocianinas en el primer ciclo de selección, pero no en los subsecuentes. En los maíces para usos especiales se requiere de la identificación de germoplasma con características sobresalientes en los parámetros que definen su calidad para uso final. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de fijar y uniformizar el color del grano y la evaluación de características físicas, variables tecnológicas y de composición nutraceutica en maíz de una población de la raza Elotes Occidentales.

## **Materiales y métodos**

### **Material genético**

Se empleó un compuesto de maíz de la raza Elotes Occidentales, obtenido de colectas realizadas en el occidente de México en los estados de Jalisco, Michoacán y Zacatecas. Una muestra de 2 kg del compuesto de la población original (PO), se dividió en tres subgrupos por apreciación visual de la intensidad de color del grano en claros (C), intermedios (I) y oscuros (O).

### **Ubicación del experimento**

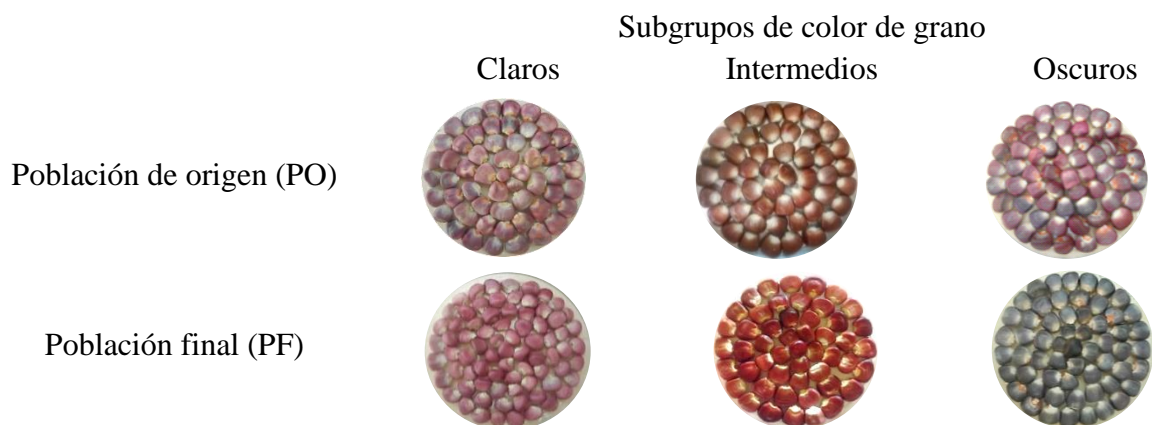
El cultivo para fijar el color en grano se estableció en el campo experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara que se localiza en Zapopan, Jalisco, México. Sus coordenadas geográficas son 20° 43' latitud norte y -103° 23' longitud oeste a una altitud de 1 650 msnm. Con temperatura media anual de 18° C y precipitación de 950 mm. Los suelos son de pH ácido y de textura franco-arenosa. En los ciclos de P/V 2013 en campo abierto bajo condiciones de temporal, en otoño-invierno (O-I) 2013-2014, O-I 2014-2015, primavera-verano (P-V) 2015 y O-I 2016-2017, en invernadero con riego. En el establecimiento del cultivo, no se evalúan los genotipos a través de los ambientes, solo se fijó el color.

### **Manejo agronómico**

El primer ciclo de cultivo se estableció en parcelas de dos surcos a una distancia de 0.75 m entre surcos y 5 m de longitud, sembrando con una densidad de siembra de 45 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se aplicó la fórmula 18 46 00 (N-P- K) a una dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> a la siembra, en una primera escarda se aplicó urea con la fórmula 46-00-00 en dosis de 30 kg ha<sup>-1</sup>. En los siguientes ciclos de cultivo en invernadero, el manejo fue similar entre ellos. Se establecieron en parcelas de dos surcos de 20 m de longitud y 0.75 m entre surcos, se sembraron 10 semillas de cada familia (familia por mazorca), considerando 20 familias por intensidad de coloración, directamente en suelo a una distancia de 0.20 m entre plantas. Se incorporó el fertilizante en el riego, realizando una aplicación con la fórmula 12-61-00, la segunda aplicación fue con las fórmulas 12-00-46 y 11-00-00-23, una tercera aplicación se hizo con la fórmula 32-04-00. Para el control de plagas, malezas y enfermedades, se monitorearon incidencias y en su caso se aplicó control químico.

### **Método de obtención de la población final (PF)**

De cada ciclo se seleccionaron por apreciación visual 20 familias por intensidad de color C, I y O. La semilla separada se sembró en el ciclo sucesor sin utilizar un diseño. Se realizaron autopolinizaciones los primeros tres ciclos (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>). En los siguientes dos ciclos, se realizaron cruza fraternales para obtener grano con intensidad de coloración uniforme por cada subpoblación (C, I y O) de la PF. Se empleó una muestra de 1 kg de grano de cada subpoblación para determinar la calidad del grano en cuanto a características físicas, variables tecnológicas para la elaboración de pozole y propiedades nutraceuticas, comparándolas con subpoblaciones de la PO (Figura 1).



**Figura 1. Clasificación de las poblaciones de origen (PO) y final (PF) de acuerdo a la intensidad de coloración.**

## Variables repuesta

### Características físicas

Se midió el color con un equipo Hunter-Lab en la escala CIELab, en las modalidades de grano crudo (Gcr) sin procesar y en el grano procesado para pozole que se denotó sólo como grano cocido (Gcd), mismo que se deshidrató en estufa por 24 h a 40 °C. Se obtuvieron los valores de las lecturas de luminosidad (Lum, %),  $a^*$  y  $b^*$ , a partir de estos dos últimos parámetros se calcularon las variables de ángulo de tono “hue” ( $h^\circ$ ) e índice de saturación de color “croma”, por medio de las expresiones:  $h^\circ = \arctg(b^*/a^*)$ ,  $croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  (McGuire, 1992).

En el Gcr se determinaron las variables: longitud (L), ancho (A) y grosor (G) en una muestra de 10 granos (mm), humedad del grano (HG, %), peso hectolítrico (PH,  $kg\ hL^{-1}$ ), peso de cien granos (PCG, g). La dureza se determinó de manera indirecta por el índice de flotación (IF, %). El espesor de pericarpio (EP,  $\mu m$ ) se midió en un bloque de cinco capas de pericarpio de la cara contraria a la ubicación del germen con un micrómetro. Las variables se realizaron por duplicado de acuerdo con lo descrito por Salinas y Vázquez (2006).

### Variables tecnológicas para la elaboración de pozole

Se consideraron 100 g de cada una de las muestras por intensidad de color (C, I y O) de ambas poblaciones (PO y PF). Para la elaboración de pozole y las pruebas de nixtamalización y cocción para floreado del grano: sólidos totales en nejayote (STN) y en caldo de cocción (STC) en  $g\ 100\ g^{-1}$ , humedad del grano nixtamalizado (HGN) y cocido (HGC) en  $g\ 100\ g^{-1}$  por el método de la estufa; tiempo de cocimiento para floreado del grano (TCF) en min; volumen de expansión (VE) en mL y (%) de granos floreados (GF) se realizaron de acuerdo con lo descrito por Bonifacio *et al.* (2005). Para la variable rendimiento de grano a pozole (RGP) se calculó según Vázquez y Santiago (2013), y se expresó como kg de producto obtenido por kg de maíz procesado.

## Variables nutraceuticas

### Obtención del extracto

Para la extracción se utilizó una muestra de 25 granos de cada una de las subpoblaciones de PO y de PF en las modalidades de Gcr y Gcd. En ambos casos el grano se trituró con un martillo y en el caso particular del germen se seccionó en trozos pequeños con ayuda de un bisturí. La muestra se desgrasó con bencina de petróleo por ocho horas en un equipo Soxhlet. Se colocó en estufa a 40 °C para remover el solvente y se molió en un molino tipo ciclónico (UDY, Tecator, City, State) con malla de 0.5 mm. Para la extracción de antocianinas se consideró 1 g de harina, a la que se le añadieron 20 mL de disolvente (metanol acidificado al 1% con ácido trifluoroacético, TFA). Las muestras se sonicaron por 15 min, posteriormente se refrigeraron durante 105 min. Se centrifugaron a 10 000 rpm (11200 G) por 9 min en una centrífuga marca Hettich zentrifugen, modelo Universal 32, para recuperar sobrenadante y eliminar turbidez. El extracto se filtró en Whatman Núm. 4 y se midió su volumen. A partir de este extracto se determinó por duplicado el CAT, FST y la CA.

### Contenido de antocianinas totales (CAT)

Se leyó la absorbancia del extracto en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lambda 25 UV/Vis) a 520 nm. Se elaboró una curva patrón de pelargonidina clorada (Sigma Aldrich, MN) para expresar el contenido de CAT en función de este compuesto, dado que las antocianinas predominantes en el color de grano analizado son derivados de pelargonidina (Salinas *et al.*, 1999; Paulsmeyer *et al.*, 2017). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de pelargonidina clorada (EPC) en 100 g de muestra seca (MS).

### Fenoles solubles totales (FST)

Se utilizó el método de Folin Ciocalteau descrito por Singleton y Rossi (1965). A una alícuota de 100 µL se puso en contacto con reactivo de Folin<sup>®</sup> (125 µL), carbonato de sodio 19% (p/v) (1 250 µL) y agua destilada (1 525 µL). Se agitó y se dejó reaccionar durante 75 min en oscuridad. Se centrifugó por 10 min a 4 000 rpm, recuperando el sobrenadante y se leyó su absorbancia a 760 nm. Se elaboró una curva patrón de ácido ferúlico (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) para expresar los resultados en función de este ácido en mg equivalentes de ácido ferúlico (EAF) por 100 g de MS.

### Capacidad antioxidante (CA) método de ABTS

Se evaluó mediante la técnica ABTS (ácido 2,2-azino-bis 3-etilbenzotriazolino-6-sulfónico) según lo descrito por Re *et al.* (1999). Se consideró una lectura al minuto y una segunda 30 min después de iniciada la reacción a una absorbancia de 734 nm. Se calculó el porcentaje de ABTS reducido. Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox (µmoles ET) (forma soluble del  $\alpha$ -tocoferol) por gramo de MS (Salinas *et al.*, 2017).

### Análisis estadístico de la información

Se analizaron los datos de las variables de calidad para el único factor de intensidad de color en tres niveles, mediante un diseño completamente al azar con dos repeticiones. Se realizó el análisis de varianza, la comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ) cuando se presentó significancia en el modelo y un análisis de correlación de variables nutraceuticas con el estadístico SAS, V.9.1 (SAS, 2004).

## Resultados y discusión

La raza de maíz Elotes Occidentales tiene coloración en el grano debido al pigmento de antocianinas presente en la capa de aleurona (Ron *et al.*, 2006). Sin embargo, se presenta segregación en el color y en la localización del pigmento. La subpoblación de intensidad de coloración I, de ambas poblaciones (PO y PF), presentó color tanto en pericarpio como en capa de aleurona en tonalidades rojizas. En el análisis de varianza se detectó diferencia significativa para las características físicas, a excepción del G. Las variables tecnológicas STN, TCF y GF, mostraron significancia y el resto de las variables no fueron significativas. En tanto que, para las variables nutraceuticas, el CAT, los FST y la CA de los extractos de ambas poblaciones (PO y PF) en Gcr y Gcd, resultaron altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) (Cuadro 1).

### Características físicas

Las variables asociadas con el color del grano, luminosidad (Lum), ángulo de tono o hue ( $h^\circ$ ) e índice de saturación de color o croma, presentaron alta significancia ( $p \leq 0.01$ ), por lo que se tiene variabilidad en el color del grano entre las subpoblaciones de la PO y PF.

**Cuadro 1. Análisis de varianza para variables de calidad de grano de Elotes Occidentales.**

Tipo de Variables	Físicas											
	Color		Tamaño									
	Lum (%)	$h^\circ$	Croma	L (mm)	A (mm)	G (mm)	HG (%)	PH (kg hL <sup>-1</sup> )	PCG (g)	IF (%)	EP ( $\mu$ m)	
GL	11	11	11	5	5	5	5	5	5	5	5	
CM	239.7**	539.69**	129.1**	6.48**	13.17**	1.43 NS	0.9**	14.08**	295.13**	25.03*	359.4**	
Error	1.28	53.9	6.82	0.79	0.62	0.73	0.02	0.16	13.96	3.77	7.08	
CV	3.59	17.36	20.21	7.72	6.11	15.3	1.28	0.57	6.77	1.99	3.64	
Tipo de variables	Tecnológicas											
	STN (g 100 g <sup>-1</sup> )	STC (g 100 g <sup>-1</sup> )	HGN (g 100 g <sup>-1</sup> )	HGC (g 100 g <sup>-1</sup> )	TCF (min)	VE (mL)	GF (%)	RGP (kg kg <sup>-1</sup> )				
	GL	5	5	5	5	5	5	5				
	CM	2.84*	0.048ns	5.78ns	16.75ns	151.42*	448.06ns	62.31*	0.006ns			
	Error	0.72	0.17	4.06	5.44	34.56	147.67	11.47	0.003			
CV	33.91	23.22	4.82	4.01	9.35	27.38	3.61	4.86				
Tipo de variables	Nutraceuticas											
	CAT (mg EPC 100 g <sup>-1</sup> MS)		FST (mg EAF 100 g <sup>-1</sup> MS)		CA ( $\mu$ moles ET 100 g <sup>-1</sup> MS)							
	GL	11		11		11						
	CM	121.11**		3091.72**		33.41**						
	Error	0.19		0.5		0.01						
CV	3.86		0.9		1.66							

\*= significancia a 5%; \*\*= significancia a 1%; ns= no significativo; C= la identidad de las variables es de acuerdo a lo descrito en materiales y métodos.



Los granos rojo claro (C e I) tienen un aspecto más brillante que los de grano azul (O) (Salinas *et al.* 2012). En cuanto a los valores de hue ( $h^\circ$ ) que describe el tono de color, es de los parámetros que mayor asociación guarda con la apreciación visual y los valores de croma se relacionan con el índice de saturación del color, con valores elevados en colores puros y valores bajos en colores mate o de menor pureza (Jha, 2010).

Para la variable  $h^\circ$  se observó que, en todos los subgrupos de color, los valores de la PO fueron mayores que los de la PF, lo que significa que el tono rojo naranja de la PO cambió a tono rojo morado en la PF. En el caso de las subpoblaciones C e I, la tendencia fue hacia tonalidades rojo-naranja y en las subpoblaciones O hacia tonalidades en morado. Lo que coincide con lo reportado por Salinas *et al.* (2013), donde separa los valores de tono entre  $0^\circ$  y  $25^\circ$  que corresponden al color morado-rojizo. Los valores de croma de las subpoblaciones C e I de la PO fueron menores con respecto a los correspondientes en la PF, lo que indica un mayor índice de saturación de color.

En cuanto al color determinado en Gcd, ambas poblaciones (PO y PF) mostraron pérdida de Lum de hasta 62% (en subpoblación I de la PO) en relación con los Gcr. A excepción de la subpoblación I de la PF, los Gcd presentaron mayor luminosidad (4.15%) con respecto a los valores obtenidos en los Gcr. Vázquez y Santiago (2013), encontraron que el nixtamal lavado fue más luminoso, está pudiera ser la razón por la que el Gcd de esta subpoblación (I de la PF) presenta mayor luminosidad. Los valores de  $h^\circ$  en Gcd que se presentaron en las subpoblaciones (C= 43.59, I= 54.64 y O= 63.66) de la PF fueron más elevados que los presentados en la PO presentando un tono rojo naranja.

El cambio de tono durante la nixtamalización es debido a que los álcali hidrolizan gran parte del pericarpio, por tanto la determinación del color en Gcd, se realiza en la capa de aleurona que adquiere una tonalidad amarillenta (Bonifacio *et al.* 2005). Los Gcd de la PF mostraron los valores más altos de croma en las intensidades C e I (18.47 y 18.28), relacionados con tonalidades rojizas y presentaron un color más puro, con respecto a la PO. En el caso de la subpoblación O para ambas poblaciones (PO y PF) en Gcd, presentaron bajos valores de croma (3.21 y 7.86, respectivamente) lo que indica un color mate con menor pureza.

En cuanto al tamaño del grano, fue mayor en las subpoblaciones de la PO que presentaron mayor L y A, ya que la subpoblación O tuvo el mayor valor de L (12.72 mm), seguida las subpoblaciones C e I y en la PF la subpoblación C presentó el menor valor de L (10.28 mm). En tanto que, para el A del grano, la subpoblación I de la PO, presentó los granos más anchos (14.17 mm) contrario a la PF que en la subpoblación I, presentó los granos más angostos (11.67 mm). Sin embargo, para el grosor (G) no hubo significancia, esto es que mediante la técnica de fijación del color, se redujo el tamaño de grano de la PF que presentó granos más cortos y angostos con respecto a la PO y ya que no presentan variación en el G del grano, se considera que esta característica no se modificó.

El promedio del PCG fue mayor en la PO (63.24 g) por sobre la PF (47.03 g). Considerando el PCG como indicador del tamaño del grano ( $>38$  g) (Salinas *et al.* 2010), los granos de esta raza de maíz son de tamaño grande. La subpoblación O de la PO presentó el mayor PCG (64.25 g). Esto coincide con Bonifacio *et al.* (2005) quienes reportaron para maíces de la raza Cacahuacintle con un tipo de endospermo harinoso, un PCG de 60 a 70 g, que comparado con valores de granos ‘duros’ (de 18 a 22 g en Palomero Toluqueño y Arrocillo, respectivamente) y coincidiendo con los valores de L y A, se consideran granos de tamaño ‘grande’, una característica deseable para su utilización en la elaboración de pozole (Bonifacio *et al.*, 2005; Vázquez y Santiago, 2013; Hernández *et al.*, 2014).

Los valores de la PF fueron inferiores con respecto a la PO; las subpoblaciones I y O de la PF (43.05 y 43.02 g, respectivamente), fueron los granos con menor PCG. El PCG sugiere el tamaño del grano, y para el proceso de nixtamalización son más favorables los granos de mayor peso (Salinas *et al.*, 2013). El tamaño de grano es una variable de interés en el proceso de nixtamalización, por su impacto en el procesamiento de cocción y absorción de agua. Bonifacio *et al.* (2005), mencionan que la diferencia en el peso del grano se debe verdaderamente al tamaño del grano y no a su densidad. Los promedios del peso hectolítrico (PH), fueron menores en la PO (67.75 kg hL<sup>-1</sup>) que los de la PF (70.05 kg hL<sup>-1</sup>), Se ha reportado para la raza Cacahuacintle el PH de 60, 59 y 58 kg hL<sup>-1</sup> (Bonifacio *et al.*, 2005; Vázquez y Santiago, 2013; Hernández *et al.*, 2014).

Estos valores de PH indican la cantidad de materia seca del grano que hay en un volumen determinado y se considera como una medida indirecta de la dureza del grano de maíz por lo que valores bajos son característicos de granos muy suaves (Vázquez y Santiago, 2013). La HG se consideró por el efecto que tiene sobre las características físicas del grano (Hernández *et al.*, 2014), la PO presentó menor humedad que la PF con 10.6 y 11.27%, respectivamente. El índice de flotación (IF) presentó poca variación sobre las 6 subpoblaciones de ambas poblaciones, la subpoblación I de la PF presentó el valor más alto de 100%, en la misma población la subpoblación O presentó el menor valor (92.67%), lo que indica que los granos tienen la característica indispensable para el floreado del grano que requiere el pozole (Vázquez y Santiago, 2013).

En los maíces pigmentados domina la textura suave, ya que presentan una gran proporción de endospermo harinoso. Wellhausen, *et al.* (1951), encontraron que en la selección por intensidad del color se tiende a mantener una raza pura en lo que respecta al gene del endospermo harinoso. En granos de endospermo harinoso se ha reportado un espesor de pericarpio (EP) de 91.5 µm en la raza Bolita (Salinas-Moreno *et al.*, 2003) coincidiendo con los valores obtenidos en granos claros (C) de la PO y en intermedios (I) de la PF que presentaron valores mayores a 80 µm. En tanto que para maíces clasificados de acuerdo a su uso final como propios para la elaboración de pozole, se reporta un promedio de 43.6 µm (Narváez-González *et al.*, 2007), presentan un contenido de pericarpio menor al promedio de los maíces criollos normales; por tanto, los maíces con menor espesor de pericarpio se consideran más aptos para este fin (Vázquez *et al.*, 2014), la subpoblación C de la PF presentó un EP de 48.6 µm, siendo el que más se asemeja al descrito anteriormente.

### **Variables tecnológicas para la elaboración de pozole**

Las variables sólidas totales del nejayote (STN), tiempo de cocción para floreado (TCF) y granos floreados (GF), mostraron con una significancia de 5% diferencias entre las dos poblaciones. En tanto que el resto de las variables tecnológicas no presentaron significancia, lo que indica la poca variación entre poblaciones para el proceso en la elaboración del pozole. El contenido de STN en promedio fue menor en la PO (6.65 g 100 g<sup>-1</sup>) que en la PF (7.46 g 100 g<sup>-1</sup>) siendo la subpoblación I de la PO la que presentó menor contenido (5.58 g 100 g<sup>-1</sup>) y la subpoblación O de la PF, el mayor contenido (8.42 g 100 g<sup>-1</sup>). Se ha reportado para maíz Cacahuacintle contenidos de 4.9 g 100 g<sup>-1</sup>. Sin embargo, los valores llegan a ser de 8 a 12% cuando el grano se procesa comercialmente (Pflugfelder *et al.* 1998), valores similares a los presentados en este estudio.

En los STC se tuvo un contenido promedio de 1.82 y 1.81 g 100 g<sup>-1</sup>, en la PO y PF, respectivamente. En otros trabajos se reportan de 2.3 a 3% (Hernández *et al.*, 2014) y de 1.78 a 3.73%. En el caso del caldo de cocimiento del pozole el pericarpio está ausente y los sólidos podrían estar formados por proteínas solubilizadas, almidón y fragmentos de granos reventados (Bonifacio *et al.* 2005).



En la HGN presentaron valores similares ambos grupos de subpoblaciones con un promedio de 42.02 g 100 g<sup>-1</sup> en la PO y de 41.61 g 100 g<sup>-1</sup> en la PF, por lo que presentaron poca variación en la absorción de agua durante el proceso de nixtamalización. Para la HGC presentaron un promedio de 56.89 y 59.5 g 100 g<sup>-1</sup> en la PO y PF, respectivamente. Vázquez y Santiago (2013), indican una correlación positiva entre la humedad del grano y las variables VE y el RGP, debido al tiempo de reposo del nixtamal.

El TCF del grano fue de 53 a 80 min en ambas poblaciones, tiempos muy por debajo de lo reportado en trabajos anteriores, que indican tiempos de 103 a 218 min en grano de maíz Cacahuacintle (Bonifacio *et al.*, 2005; Vázquez y Santiago, 2013; Hernández *et al.*, 2014). En cuanto a la reducción del tamaño de grano en PF, podría considerarse que aumentaría el TCF del grano, debido a que Bonifacio *et al.* (2005), confirman que los granos redondeados y globosos son los que requieren menor tiempo de cocimiento para el reventado. Lo que ocurrió en la subpoblación C (75 min), pero en las subpoblaciones I e O presentaron TCF más cortos con respecto a las subpoblaciones de la PO (Cuadro 2), teniendo en cuenta que fue mínima la reducción del tamaño del grano en la PF, por tanto, fue poca la diferencia de los tiempos reportados en subpoblaciones de la PO.

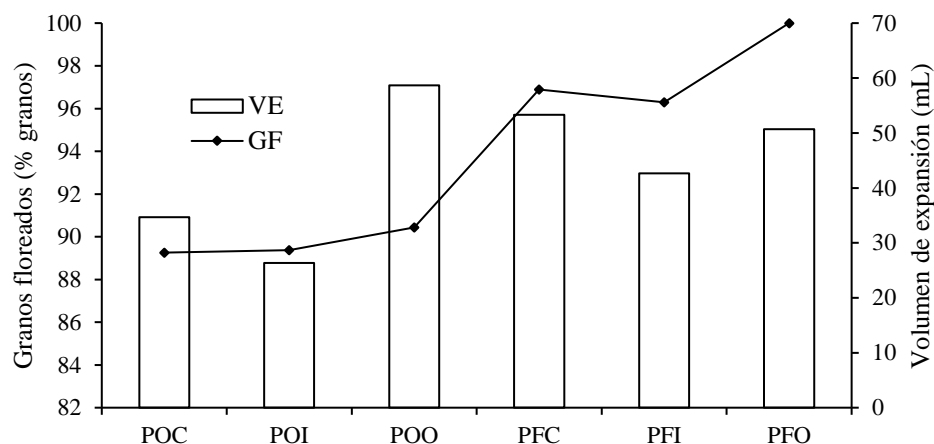
**Cuadro 2. Comparación de medias de las variables físicas y tecnológicas.**

Variables <sup>☞</sup>		Población original			Población final		
		C	I	O	C	I	O
Físicas	Lum	34.56 bc	41.2 a	34.44 bc	43.69 a	32.54 c	33.88 b
Color	h°	43.09 abcd	52.73 ab	61.18 a	28.07 d	30.67 cd	23.64 d
	croma	11.63 bcd	17.44 abc	9.06 de	21.68 a	23.21 a	7.01 de
Tamaño	L	11.77 ab	11.84 ab	12.72 a	10.28 c	11.26 bc	11.33 bc
	A	13.43 a	14.17 a	14.08 a	11.71 b	11.67 b	12.29 b
	HG	11.03 b	10.63 c	10.16 c	11.81 a	11.14 b	10.88 bc
	PH	65.5 e	70.29 b	67.45 d	68.86 c	71.6 a	69.7 bc
	PCG	62.35 a	63.14 a	64.25 a	55.03 a	43.05 b	43.02 b
	IF	98.33 ab	95.33 ab	99.33 a	99.33 a	100 a	92.67 b
	EP	82.83 ab	68.4 c	72.9 bc	48.6 d	82 ab	83.7 a
Tecnológicas	STN	7.2 ab	5.58 b	7.18 ab	7.53 ab	6.42 ab	8.42 a
	TCF	60 ab	65 ab	64 ab	75 a	59.33 ab	54 b
	GF	89.26 b	89.37 b	90.44 b	96.89 ab	96.29 ab	99.85 a

Medias con la misma letra por fila, no son significativamente diferentes. <sup>☞</sup> = la identidad de las variables es de acuerdo a los descrito en materiales y métodos. C= claros; I= intermedios; O= oscuros.

En el rendimiento de grano a pozole (RGP) ambas poblaciones (PO y PF) presentaron valores muy similares en promedio (1.33 kg kg<sup>-1</sup> y 1.4 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), lo que indica que a pesar de las variaciones en cuanto al PCG y el tamaño del grano de ambas poblaciones, presentaron rendimientos similares. La subpoblación O de la PO presentó el mayor valor con 1.48 kg kg<sup>-1</sup>, ya que fue la que presentó el grano con mayor L y PCG, en tanto que las subpoblaciones C e I presentaron el menor RGP (1.26 kg kg<sup>-1</sup>). En general la PF presentó mayor rendimiento en promedio coincidiendo con la mayor HGC. Vázquez y Santiago (2013), reportaron un rendimiento de 1.5 kg de nixtamal kg<sup>-1</sup> de maíz por el método tradicional para la elaboración de pozole en concordancia con sus contenidos de humedad.

En cuanto al volumen de expansión (VE) y porcentaje de granos floreados (GF), hubo diferencia entre poblaciones, ya que PF presentó mayores valores sobre la PO con una diferencia promedio de 10.22 mL para el VE y de 7.97% para GF, presentando una relación proporcional en cuanto al incremento del VE con respecto al mayor porcentaje de GF. A excepción de la subpoblación O de la PO que tuvo un VE de 58.67 mL (el mayor valor), superando al de las subpoblaciones de la PF (C= 53.33, I= 46.67 y O= 50.67 mL) (Bonifacio *et al.*, 2005; Narváez-González *et al.*, 2007). Sin embargo, el porcentaje de GF de la subpoblación O de la PO fue menor con respecto a VE, ya que las subpoblaciones de PF presentaron mayores porcentajes de GF (Figura 2).



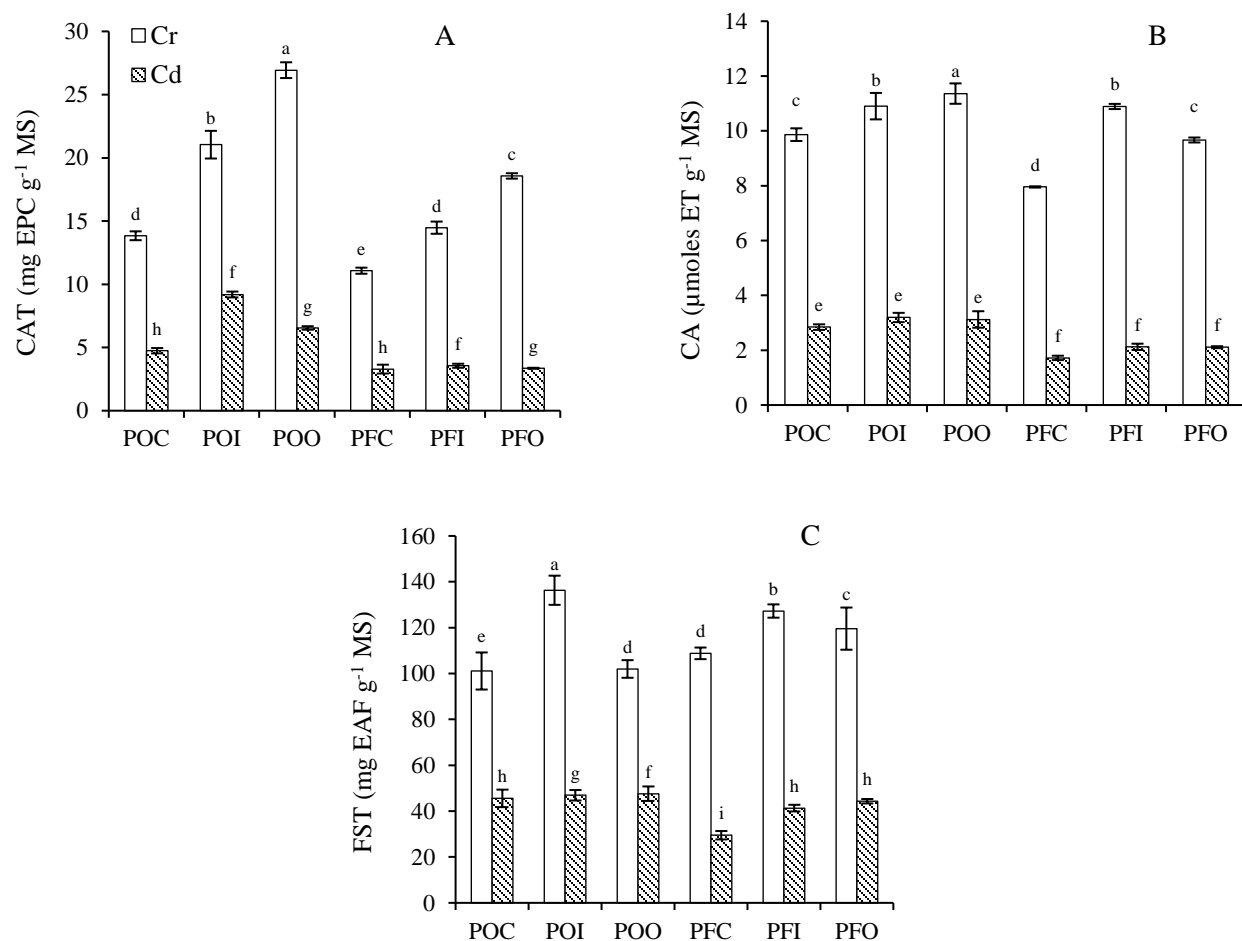
**Figura 2. Variables tecnológicas volumen de expansión (VE) y grano floreado (GF) en las subpoblaciones de intensidad C, I y O de las poblaciones original (PO) y final (PF).**

### Variables nutracéuticas

Se presentó diferencia en el CAT y la CA, entre el grano de maíz con diferente intensidad de coloración. En este estudio el Gcr de la subpoblación O de ambas poblaciones, presentó el mayor CAT promedio (22.75 mg EPC 100 g<sup>-1</sup> MS) seguido por las subpoblaciones de intensidad I y finalmente las subpoblaciones de intensidad C (17.76 y 12.45 mg EPC 100 g<sup>-1</sup> MS, respectivamente).

En tanto que, para el Gcd, las subpoblaciones de intensidad I presentaron el mayor CAT promedio (6.37 mg EPC 100 g<sup>-1</sup> MS), que el de las subpoblaciones de intensidad O y las de intensidad C (4.95 y 4.01 mg EPC 100g<sup>-1</sup> MS). Presentaron el mismo patrón de comportamiento para CAT ambas poblaciones para Gcr (en el orden O, I y C) y Gcd (I, O y C).

En general tuvo mayor CAT la PO que la PF, tanto para los Gcr como para los Gcd (Figura 3-A). La diferencia en los valores de CAT, se pueden atribuir a la proporción de diferentes agliconas (antocianidinas), pero también a la estructura química en particular de cada antocianina (Salinas *et al.* 2012). El tamaño del grano afecta la concentración de antocianinas, influye por un efecto de dilución de las antocianinas en la harina del grano usada para la cuantificación (Salinas-Moreno *et al.*, 2012), por lo que se sugiere que el menor CAT es debido al menor tamaño del grano más que por efectos de dilución en subpoblaciones de la PF.



**Figura 3. A) Contenido total de antocianinas (CAT); B) fenoles solubles totales (FST); y C) capacidad antioxidante (CA) en grano de las poblaciones original (PO) y final (PF) en intensidad C, I y O, en grano sin procesar (Cr) y cocido (Cd).**

En cuanto al CAT de Gcr comparados con Gcd, tiene relación en cuanto a los TCF, ya que, mediante el proceso de elaboración del pozole en la etapa de nixtamalización, ocurre una primera pérdida de antocianinas debido a la combinación de alcalí y cocción, por efectos de pH e incremento de temperatura (Salinas-Moreno *et al.* 2012).

En la extracción de antocianinas también se extraen otros compuestos fenólicos y otros flavonoides (Salinas-Moreno *et al.*, 2012) por lo que el contenido de FST es mayor que el CAT, las antocianinas son los fenoles predominantes en el extracto, por tanto, son los principales responsables de la CA (Yang y Zhai, 2011). El mayor contenido de FST (136.3 mg EAF g<sup>-1</sup> MS) lo presentó la subpoblación I de la PF en Gcr; sin embargo, en las subpoblaciones de intensidad C y O, los contenidos de FST fueron menores (108.8 y 119.6 mg EAF g<sup>-1</sup> MS, respectivamente) con respecto a las subpoblaciones de la PO en las mismas intensidades.

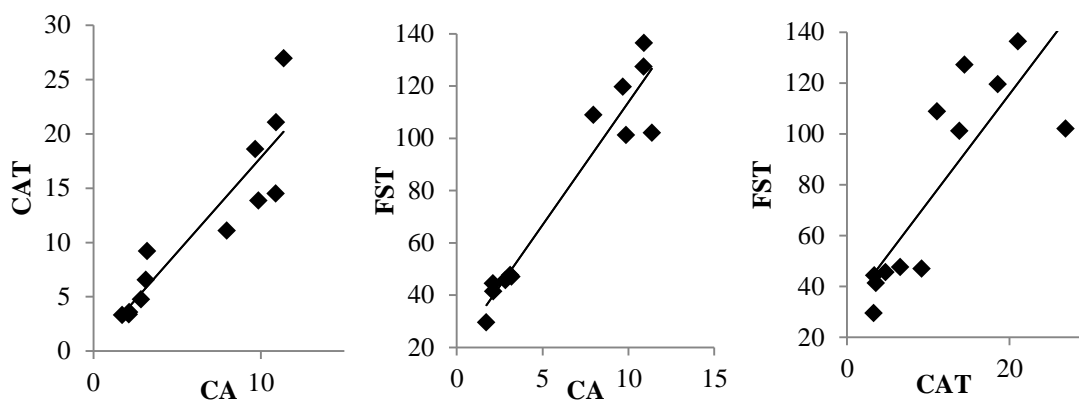
La CA es un reflejo de las variables de composición fenólica (CAT y FST), una mayor CA se presentó en granos de la PO que en Gcr, tuvo una diferencia de 1.69 μmoles ET g<sup>-1</sup> MS con respecto a la PF en las subpoblaciones O y de 1.91 μmoles ET g<sup>-1</sup> MS en las subpoblaciones C. En tanto

que para las subpoblaciones I, no se presentó mayor variación con apenas una diferencia de 0.01  $\mu\text{moles ET g}^{-1}\text{MS}$  entre poblaciones. No se encuentran diferencias significativas de la CA del Gcd en las tres subpoblaciones de la PO con respecto de la PF. Sin embargo, las subpoblaciones de la PO superaron en poco a la PF (Figura 3-C).

Un mayor CAT se asocia con mayor CA (Salinas *et al.* 2012) Sin embargo, el tipo de pigmento y diferencias en el contenido de pigmento, están relacionadas con la capacidad antioxidante en el grano de maíz, que se deben directamente a los pigmentos (Rodríguez *et al.* 2013). Por lo que en la población de maíz Elotes Occidentales de este estudio, mostró variación en el CAT y en la CA, debida a la intensidad de color, que presentaron el mismo orden en el contenido de CAT y la CA en las subpoblaciones de la PO, siendo en Gcr O> I> C y en Gcd I> O> C.

En general la PO presentó mayor CAT, contenido de FST y CA que la PF, a excepción de la subpoblación I de la PF en Gcr, que presentó mayor contenido de FST. La CA no es debida solo al CAT, sino al contenido de FST. Por lo que existe una correlación altamente significativa y positiva, entre las variables nutraceuticas de CAT, FST y CA ( $p < 1\%$ ). Dado que en la extracción de antocianinas se extraen conjuntamente ácidos fenólicos y otros flavonoides, el valor de FST es mayor que el de CAT. Sin embargo, las antocianinas son los fenoles predominantes en el extracto, por lo tanto, al incrementarse, aumentan los FST, que son las principales responsables de la CA (Salinas-Moreno *et al.*, 2012

Lo que explica la correlación positiva ( $r = 0.96$ ;  $p < 0.01$ ) entre el contenido de FST y la CA, entre CAT y CA ( $r = 0.91$ ;  $p < 0.01$ ) y entre CAT y FST ( $r = 0.83$ ;  $p < 0.01$ ) (Figura 4).



**Figura 4. Gráficas de dispersión de las correlaciones entre las variables nutraceuticas del grano sin procesar y cocido, en las diferentes intensidades de color de las poblaciones original y final.**

Finalmente, mediante el método utilizado de autohermanos se logró uniformizar la intensidad del grano en las diferentes subpoblaciones (C, I y O) de la PF, principalmente en la I, que presentó color en pericarpio y aleurona. Sin embargo, no hubo ganancia por efecto de aditividad del método sobre las variables físicas y nutraceuticas (no presentó mayor CA) por lo que no se superó a la PO. Se considera que el método no es el adecuado para dicho propósito. Tal como lo reportaron Rodríguez *et al.* (2013), en un solo ciclo de selección visual del color del grano, logro incrementar el contenido de antocianinas, pero no en los subsecuentes, ellos explican que aparentemente la variabilidad del contenido de pigmento se agotó en un solo ciclo y no fue posible mejorar más. En

el caso de Landi *et al.* (2008), demostraron que la selección recurrente por color de mazorca entre hermanos completos encontró que un solo ciclo de selección condujo a la fijación de los alelos seleccionados.

Sería recomendable la adecuación con otro tipo de método en el que se pudiera incluir las subpoblaciones obtenidas con una fuente genética externa y obtener ganancia por efectos de dominancia mediante la hibridación. Autores como Lago *et al.* (2014) refieren que por medio de retrocruzas entre línea endogámica homocigótica dominante como donadora de antocianinas y una variedad de maíz como progenitor recurrente, obtuvieron líneas que acumulaban altos niveles de antocianinas en pericarpio. Espinosa *et al.* (2009), que mediante dialélico directo en cruza directas y recíprocas, encontraron un efecto significativo en la dirección de la crusa sobre el contenido de antocianinas en aleurona y pericarpio.

## Conclusiones

Mediante la técnica empleada de autofecundaciones y selección para fijar el color del grano, se obtuvo una población final con uniformidad en el color en tres intensidades: claros, intermedios y oscuros. En las características físicas los granos presentaron colores más intensos y se redujo el tamaño obteniendo granos cortos y angostos, con respecto a la población original; sin embargo, fueron granos de tamaño grande con textura suave y con el espesor de pericarpio adecuado para la elaboración de pozole. Presentaron buena humedad para el mayor volumen de expansión del grano con tiempos más cortos para el floreado del grano y con mayor porcentaje de granos floreados, con rendimientos aceptables de grano a pozole.

En tanto que no se obtuvo una ganancia contundente en el contenido de antocianinas totales entre la intensidad del color, con respecto a la población original. En la población final el contenido de fenoles solubles totales y la capacidad antioxidante, fue mayor en los maíces de intensidad intermedio (color rojo), de manera que, se obtuvo el mayor beneficio en calidad nutracéutica por efecto de fijación del color en granos de esta intensidad.

## Agradecimientos

Al Dr. José Ron Parra por su valiosa participación. Al CONACYT por su apoyo mediante beca CVU 369186. A la Universidad de Guadalajara y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por las facilidades otorgadas.

## Literatura citada

- Bonifacio, V. E. I.; Salinas, M. Y.; Ramos, R. A. y Carrillo, O. A. 2005. Calidad pozolera en colectas de maíz Cacahuacintle. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):253-260.
- CONABIO. 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.biodiversidad.gob.mx>.
- De la Parra, C; Serna-Saldivar, S. O. and Liu, R. H. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55(10):4177-4183.

- Espinosa, T. E.; Mendoza, C. M. C.; Castillo, G. F.; Ortiz, C. J.; Delgado, A. A. y Carrillo, S. A. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4):303-309.
- Hernández, G. C. A.; Salinas, M. Y.; López, P. A.; Santacruz, V. A.; Castillo, G. F. y Corona, T. T. 2014. Calidad pozolera en poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(4):703-716.
- Jha, S. N. 2010. Color measurements and modeling. In: *Nondestructive evaluation of food quality: theory and practice*. Jha, S. N. (Ed.). Springer. 17-40 pp.
- Lago, Ch.; Cassani, E.; Zanzi, C.; Landoni, M.; Trovato, R. and Pilu, R. 2014. Development and study of a maize cultivar rich in anthocyanins: coloured polenta, a new functional food. *Plant Breeding*. 133:210-2017.
- Landi, P.; Canè, M. A. and Frascaroli, E. 2008. Response to divergent selection for cob color in maize. *Euphytica*. 164:645-658.
- Márquez, S. F. 1985. *Genotecnia vegetal: métodos, teoría, resultados*. AGT (Ed.). México, DF. 357 p.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objecting color measurements. *HortSci*. 27(12):1254-1255.
- Narváez-González, E. D.; Figueroa-Cárdenas, J. D. y Taba, S. 2007. Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3):321-325.
- Paulsmeyer, M.; Chatham, L.; Becker, T.; West, M.; West, L.; and Juvik, J. 2017. Survey of anthocyanin composition and concentration in diverse maize germplasms. *J. Agric. Food Chem.* 65(21):4341-4350.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Medicine*. 26:1231-1237.
- Rodríguez, M. V.; Soengas, P.; Landa, A.; Ordás, A. and Revilla, P. 2013. Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*. 193:339-345.
- Ron, P. J.; Sánchez, G. J. J.; Jiménez, C. Á. A.; Carrera, V. J. A.; Martín, L. J. G. and Morales, R. M. M. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. *Colectas 2004*. Scientia. CUCBA. 8(1):1-139.
- Ron-Parra, J.; Morales-Rivera, M. M.; Jiménez-López, J.; Jiménez-Cordero, A. A.; De la Cruz-Larios, L. and Sánchez-González, J. J. 2016. Maternal genetic inheritance of red pericarp in the grain of maize. *Maydica. Electronic Publication*. 61(3):10491-5.
- Salinas, M. Y.; Aragón, C. F.; Ybarra, M. C.; Aguilar, V. J.; Altunar, L. B. y Sosa, M. E. 2013. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1):23-31.
- Salinas, M. Y.; Gómez, M. N. O.; Cervantes, M. J. E.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Betanzos, M. E.; y Coutiño, E. B. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4):509-523.
- Salinas, M. Y.; Hernández, M. V.; Trejo, T. L. L.; Ramírez, D. J. L. e Iñiguez, G. O. 2017. Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(7):1483-1496.
- Salinas, M. Y.; Soto, H. M.; Martínez, B. F.; González, H. V. y Ortega, P. R. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161-174.



- Salinas-Moreno, Y.; Martínez-Bustos, F.; Soto-Hernández, M.; Ortega-Paczka, R. y Arellano-Vázquez, J. L. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 37:617-628.
- Salinas-Moreno, Y.; Pérez-Alonso, J. J.; Vázquez-Carrillo, G.; Aragón-Cuevas, F. y Velázquez-Cardelas, G. A. 2012. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia*. 46:693-706.
- SAS. 2004. Institute Inc. SAS/STAT<sup>®</sup> 9.1 User's Guide. Cary, N.C.: SAS Institute Inc.
- Singleton, V. L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetric of total phenols with phosphomolybdic, phosphtungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16(1):144-158.
- Vázquez, C. G.; Santiago, R. D.; Salinas, M. Y. y Cervantes M. J. E. 2014. El pozole: situación actual y calidad nutricional. *In: los alimentos en México y su relación con la salud*. Aguilera, O. M.; Reynoso, C. R.; Gómez, A. C. A.; Uresti, M. R. M. y Ramírez, D. L. J. (Coord.). Primera Edición. Plaza y Valdés Editores. México. 662 p.
- Vázquez, C. M. G. y Santiago, R. D. 2013. Características fisicoquímicas y calidad del pozole del maíz Cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3-A):357-366.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. y Hernández, X. E. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales-(OEE). Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). México, D.F. Folleto técnico núm. 55. 237 p.
- Yang, S. and Shai, W. 2011. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science. Emerging Technol.* 11:169-176.