

CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS, COMPUESTOS FENÓLICOS Y CALIDAD INDUSTRIAL DE MAÍCES NATIVOS DE GUANAJUATO

FATTY ACID, PHENOLIC COMPOUNDS AND INDUSTRIAL QUALITY OF NATIVE MAIZE LANDRACES FROM GUANAJUATO

Salvador H. Guzmán-Maldonado^{1*}, Ma. Gricelda Vázquez-Carrillo²,
J. Alfonso Aguirre-Gómez³ e Isela Serrano-Fujarte¹

¹Unidad de Biotecnología, ²Programa de Maíz, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 6.5 Carr. Celaya- San Miguel Allende s/n. Celaya Gto. México. Tel: 461 611 5323 Ext. 128. ³Programa de maíz, Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Km 18.5 Carr. los Reyes- Texcoco, Coatlínchán, México.

*Autor para correspondencia (shoraciogm@gmail.com; guzman.horacio@inifap.gob.mx)

RESUMEN

Para evitar la pérdida irreversible de maíces (*Zea mays* L.) nativos, es necesaria su recolección, conservación y caracterización. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial nutricional, funcional e industrial de maíces nativos del norte de El Bajío colectados en 2011. A 24 muestras de maíz de granos blanco, rojo y negro, de las razas Cónico Norteño, Chalqueño, Celaya, Bolita, Ratón, Tuxpeño y Mushito se les determinó contenido de aceite, perfil de ácidos grasos, contenido de fenoles solubles totales y antocianinas en los maíces de color, y capacidad antioxidante (TEAC). También se determinó la calidad de nixtamalización del grano y la masa. El contenido de aceite (4.11 a 6.29 %) fue similar a lo reportado previamente. El aceite de las muestras presentó, en promedio 40 % de ácido oléico, 37 % de linoléico, 3 % de esteárico y 12 % de palmítico. En promedio, los maíces de la raza Celaya presentaron el mayor contenido de fenoles solubles totales (114.1 a 164.0 mg EAG/100 g). El rango del contenido de antocianinas en los maíces de color fue muy amplio, de 86.9 a 575 mg EC3G/100 g. Las muestras fueron heterogéneas en términos de tamaño de grano, dureza y color. Predominaron los granos de dureza suave-intermedia con un índice de flotación promedio de 73 %. Las tortillas de estos maíces fueron de muy buena calidad, con excelente rendimiento y textura suave, tanto en tortilla recién elaborada como a las de 24 h de almacenamiento. Se identificaron a las colectas 722 y 725 con potencial para la producción de aceite (6.5 %), la colecta 353 de alto contenido de antocianinas con potencial para la industria alimentaria, y la colecta 632 por su alto rendimiento de tortilla (1.6 kg/kg de maíz).

Palabras clave: *Zea mays*, maíz nativo, calidad de aceite, fenoles, capacidad antioxidante, calidad de tortilla.

SUMMARY

In order to prevent irreversible loss of maize landraces (*Zea mays* L.), their collection, preservation and characterization is recommended. This study assessed nutritional, functional and industrial potentials of native corns from Northern El Bajío collected in 2011. Twenty four samples of races with white, red and black kernels, including Cónico Norteño, Chalqueño, Celaya, Bolita, Ratón, Tuxpeño and Mushito races, were evaluated for oil content, fatty acid profiles, total soluble phenols, anthocyanins content in colored kernels, and antioxidant capacity (TEAC). Grain nixtamalization quality was also assessed. Oil content (4.11 to 6.29 %) was similar to those reported elsewhere. Oil content showed an average of 40 % oleic acid, 37 % linoleic acid, 3 %

stearic and 12 % palmitic acid. On average, native corns of Celaya race showed the highest content of total soluble phenols (114.1 to 164 mg EAG/100 g). Anthocyanin content of colored corn varied widely, from 86.9 to 575 mg EC3G/100 g. Samples were heterogeneous in terms of grain size, hardness and color. Predominantly grains showed an intermediate soft hardness with a soft-floating rate, averaging 73 %. Tortillas made with colored grains showed very good quality, with excellent yield and a smooth texture when freshly made, as well as after 24 h in storage. Native corns 722 and 725 are excellent candidates for oil production given their high oil content (6.5 %). Meanwhile, native corn 353 showed outstanding anthocyanin content suitable for the food industry and corn 632 showed high tortilla yield of 1.6 kg/kg corn dough.

Index words: *Zea mays*, native corn, oil quality, phenolics, antioxidant capacity, tortilla quality.

INTRODUCCIÓN

En maíz (*Zea mays* L.), el término raza se define por las características fenotípicas (cónico por la forma de la mazorca), tipo de grano (reventador o palomero), lugar o región donde inicialmente fue colectada (Tuxpeño, Chalqueño) o por el nombre del grupo indígena o mestizo que la cultiva (Zapalote, Apachito) (Aguilar *et al.*, 2003). Muchos de estos materiales se están perdiendo por el desuso, malas condiciones agroclimáticas, abandono de tierras donde se cultiva, introducción de maíces mejorados o por el autoconsumo; un ejemplo es la raza Tehua, que está en peligro de extinción (Ortega-Paczka, 2003).

Sin embargo, los maíces nativos son fuente importante de diversidad genética que puede ser introducida en los programas de mejoramiento o pudieran ser explotados directamente para consumo o usos industriales (Fernández-Suárez *et al.*, 2013). Por ejemplo, se han reportado maíces nativos de alto rendimiento, buena respuesta a la selección, resistencia a enfermedades y plagas y tolerancia a la sequía (Ortega-Paczka, 2003; García-Lara y Bergvinson, 2013). Muchos de estos materiales también presentan una buena

calidad nutricional (Paredes-López *et al.*, 2009). Por otro lado, el maíz se ha utilizado para la producción de aceite (Paliwal *et al.*, 2001); su aceite como el de todos los de origen vegetal, contiene ácidos grasos omega que tienen un efecto benéfico sobre la salud (Martin *et al.*, 2011; Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

En consecuencia, es importante caracterizar los recursos genéticos de maíz que México posee, identificar nuevos y mejores materiales, no solamente por sus propiedades agromónicas, sino también por su contenido de aceite y tipo de almidón. Además, el maíz contiene componentes de interés como los compuestos fenólicos, incluidas las antocianinas presentes en los maíces de color. Todos estos compuestos presentan capacidad antioxidante, aunque en diferente nivel dependiendo de la naturaleza química del compuesto en cuestión. La capacidad antioxidante está relacionada con la prevención de varias enfermedades crónico-degenerativas (Kuhnen *et al.*, 2011; Zilić *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2012).

Los maíces nativos de granos blancos y de color pueden tener potencial debido a las propiedades benéficas e industriales que presenten. Por ejemplo, se han evaluado los caracteres agronómicos y de rendimiento (Ramírez *et al.*, 2003), la calidad de la tortilla (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004) y el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante (Salinas-Moreno *et al.*, 2012; Salinas-Moreno *et al.*, 2013) de muestras de maíz nativo. La información que se genere puede dar valor agregado al maíz nativo. También demostrará que las actividades de colecta y conservación tienen sentido al identificar materiales que pueden tener usos importantes de interés para la industria (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013). De esta forma podrá revertirse la pérdida de este invaluable recurso genético.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el contenido de aceite y el perfil de ácidos grasos, así como el nivel de fenoles solubles totales y antocianinas de 24 colectas de las razas Cónico Norteño, Chalqueño, Ratón, Tuxpeño, Bolita, Mushito y Celaya, provenientes del norte del estado de Guanajuato. También se evaluó la calidad industrial de estos materiales en características físicas del grano y la calidad del nixtamal, de la masa y la tortilla de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 24 colectas de maíz del norte El Bajío pertenecientes a las razas Cónico Norteño (nueve), Chalqueño (una), Celaya (seis), Bolita (una), Ratón (cuatro), Tuxpeño (dos) y Mushito (una) (Cuadro 1). De todas las muestras, 18 presentaron grano de color blanco cremoso y siete de colores rojo y negro. Los materiales fueron colectados de la cosecha de ciclo agrícola primavera-verano del año 2011 y, en todos los casos, los campesinos declararon que la siem-

bra se realizó bajo agricultura tradicional, en condiciones de temporal (secano) y sin aplicar agroquímicos. Las muestras fueron colectadas en cuatro sitios: Xichu (100° 03' 37" O, 21° 18' 00" N), localizado a 1334 msnm; Victoria (100° 13' 09" O, 21° 12' 53" N) localizado a 1740 msnm; Villa de Reyes (100° 56' 00" O, 21° 48' 00" N) localizado a 1819 msnm; y San Felipe (100° 50' 00" O, 21° 09' 00" N) localizado a 2080 msnm. Al llegar las muestras al laboratorio fueron almacenadas a -20 °C hasta su análisis.

El contenido de aceite en las muestras se determinó con el método 920.85 de la AOAC (2000). El perfil de ácidos grasos se determinó por el método propuesto de Agilent Industries para el cromatógrafo de gases acoplado a masas (AOCS, 2013) (Agilent Technologies, Inc. Santa Clara CA, USA. Modelos 6890N y 5973). Se usó una columna HP-88 (100 m x 0.25 mm ID, 0.2 µm, 250 °C, 1 µL volumen de inyección), con hidrógeno como gas acarreador A y helio como gas acarreador B; con flujo constante de 2 mL/min y condiciones del horno A: 120 °C por 1 min, 10 °C/min a 175 °C por 10 min, 5 °C/min a 210 °C por 5 min, 5 °C/min a 230 °C por 5 min; y del horno B: 175 °C por 10 min, 3 °C/min a 220 °C por 5 min.

El flujo de gases en el detector fue de hidrógeno 40 mL/min, de aire 450 mL/min y de helio 30 mL/min. El detector de temperatura estuvo a 280 °C. Para identificar y cuantificar los ácidos grasos se utilizó un estándar de una mezcla de 21 ácidos grasos (SIGMA) a una concentración conocida. La mezcla se inyectó en el cromatógrafo para generar un patrón de altura de pico (concentración) y tiempo de retención de cada ácido graso. Los picos de cada muestra se compararon con los tiempos de retención para su identificación, y con la altura del pico para su cuantificación al extrapolar con el algoritmo que provee el programa del propio equipo (ChemStation).

Los fenoles solubles totales (FST) se determinaron con el método Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999) y se reportaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de muestra, base seca (mg EAG/100 g, bs), después de comparar las lecturas espectrofotométricas con una curva patrón de ácido gálico. Las antocianinas se cuantificaron en un extracto que se obtuvo de la siguiente forma: a 100 mg de muestra se añadieron 24 mL de etanol acidificado (pH 3.5). La muestra se agitó a 1790 X g durante 30 min. A continuación la muestra fue centrifugada a 700 X g por 15 min, después de verificar que el pH se mantenía bajo. El sobrenadante fue recuperado y aforado a 50 mL con etanol acidificado con el método de Abdel-Aal y Hucl (1999) con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(A)(Vol)(PM)}{(\epsilon)(1000)(\text{peso de la muestra})10E6}$$

Cuadro 1. Clave de registro, raza, lugar de colecta y color del grano de colectas de maíz del norte de El Bajío y características climáticas asociadas.

Clave de registro (GtoRNCOL)	Raza	Lugar de colecta	Color del grano	Precipitación anual (mm)	Tipo de clima
341	Cónico Norteño x Ratón	Xichu	Blanco cremoso	617.0	Subtropical
345	Cónico Norteño	Xichu	Rojo	617.0	Subtropical
355	Cónico Norteño x Ratón	Xichu	Rojo	617.0	Subtropical
725	Cónico Norteño	Xichu	Rojo	617.0	Subtropical
351	Cónico Norteño	Victoria	Blanco cremoso	481.8	Semiseco
353	Cónico Norteño x Cónico	Victoria	Rojo	481.8	Semiseco
352	Cónico Norteño	Victoria	Negro	481.8	Semiseco
722	Cónico Norteño	Victoria	Negro	481.8	Semiseco
632	Cónico Norteño x Celaya	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
328	Chalqueño	San Felipe	Blanco cremoso	473.4	Semiseco templado
402	Celaya	San Felipe	Blanco cremoso	473.4	Semiseco templado
704	Celaya x Cónicos	Xichu	Blanco cremoso	617.0	Subtropical
474	Celaya x Tuxpeño	San Felipe	Blanco cremoso	473.4	Semiseco templado
383	Celaya x Ancho	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
544	Celaya x Cónico Norteño	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
428	Celaya x Cónico Norteño	Villa de Reyes	Rojo	360.0	Seco caliente
478	Bolita x Cónico Norteño	San Felipe	Blanco cremoso	473.4	Semiseco templado
385	Ratón	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
358	Ratón x Pepitilla	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
439	Ratón x Celaya	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
604	Ratón x Cónico Norteño	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
538	Tuxpeño Norteño	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
550	Tuxpeño x Celaya	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente
650	Mushito	Villa de Reyes	Blanco cremoso	360.0	Seco caliente

GtoRNCOL = Guanajuato Región Norte Numero de Colecta.

dónde: C = concentración de antocianinas totales (mg/kg); A = absorbancia máxima; ϵ = coeficiente de extinción molar de la cianidina 3-glucósido ($25.965 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$); Vol = volumen extracto de antocianinas; PM = peso molecular de cianidina 3-glucósido (449).

Se determinó el peso hectolítrico (PH), peso de 100 granos (PCG), índice de flotación (IF) y contenido de pericarpio y germen, con las metodologías de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF034 (SAGARPA, 2002) y la reportada por Salinas-Moreno y Vázquez (2006).

La cuantificación de sólidos en el agua de cocción ('nejayote'); el pericarpio retenido por el nixtamal; la humedad en nixtamal, masa y tortillas; así como el rendimiento de masa y tortillas, se realizaron siguiendo la metodología de Salinas-Moreno y Vázquez (2006). La fuerza de punción requerida para romper las tortillas, se obtuvo en un texturómetro (Brookfield CT3 25k, USA). Brevemente, en el centro de la tortilla se cortaron discos de 6 cm de diámetro, el disco se sujetó entre dos placas metálicas con perforaciones de 4 cm de diámetro en el centro. Las placas con la tortilla se colocaron en la base del texturómetro, por donde se hizo pasar el aditamento con punta de esfera de $\frac{1}{2}$ in de diámetro. El cabezal del texturómetro deslizó la probeta hacia abajo con una velocidad de 4 mm/s. Los resultados se expresan en gramos-fuerza (g_f) y representan la media aritmética de cinco repeticiones por variedad. Las mediciones se hicieron en tortillas atemperadas al ambiente ($\pm 22^\circ\text{C}$), a 2 y 24 h después de elaboradas.

Los datos de todas las pruebas fueron el resultado de la media de tres repeticiones (base seca) y se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparaciones de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). A los cuadros con mayor número de valores se les determinó la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia del 0.05 ($P < 0.05$) mediante el programa SAS® para Windows (9.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dos muestras, una de color negro (clave 722) y otra roja (clave 725) de la raza Cónico Norteño presentaron el mayor contenido de aceite (6.29 %) (Cuadros 1 y 2). El resto de las muestras presentó un contenido de aceite entre 4.11 y 6.02 %. La producción de aceite a partir de maíces de color podría tener un valor agregado para su comercialización, dado que arrastraría parte de los pigmentos y, en consecuencia, aumentaría su capacidad antioxidante (López-Martínez *et al.*, 2011). Se ha reportado que el contenido de aceite en maíz comercial es de hasta 5.7 % (Erickson, 2006), pero con base en los resultados aquí reportados, los materiales de color con claves 722 y 725 presentan 6.29 % de aceite y tienen potencial para la producción de aceite a nivel comercial.

En el contenido de los ácidos saturados palmítico y esteárico y los insaturados (omega) oléico y linoléico (Cuadro 2) se detectó el ácido mirístico y el ácido caprílico, pero en concentraciones por abajo de 1 %. Los intervalos en los contenidos de ácido palmítico de 11.4 a 15.0 %, esteárico de 2.2 a 3.5 %, oleico de 31.4 a 46.6 % y linoleico de 39.0 a 53.0 %, concuerdan con lo reportado en la literatura (CHEMPRO, 2012). La excepción fue ácido palmítico que en la mayoría de los casos presentó un contenido mayor al 12 % reportado para el maíz en otros estudios (CHEMPRO, 2012).

Es de destacar que el contenido total de los ácidos grasos insaturados omega está por arriba de 83 %; esto puede sugerir un nicho industrial para estos materiales y en consecuencia promocionarlos por su efecto positivo sobre la salud, como la reducción de problemas coronarios (Serna-Saldívar *et al.*, 2013). Además, se ha demostrado que cuando un aceite contiene una relación oleico/linoleico (O/L) cercana o mayor a 1, puede tener efectos positivos sobre la salud, al reducir la posibilidad de padecer cáncer (Parry *et al.*, 2005, Martin *et al.*, 2011) y riesgos de padecer enfermedades del corazón (Parry *et al.*, 2005).

En este sentido, el aceite de 13 colectas de maíces nativos analizados en este trabajo presenta una relación O/L cerca o mayor a uno (Cuadro 2). Por ejemplo, los materiales de la raza Cónico Norteño 725, 351, 353, 352 y 722 presentan una relación O/L entre 0.96 y 1.2, las colectas de la raza Celaya 704, 544 y 428, que cruzadas con Cónico Norteño presentan una relación O/L mayor a 0.91 (Cuadro 2). Otras muestras cuya relación O/L es mayor a 0.90 son de las razas Chalqueño (328) y Ratón (385, 604); interesantemente, esta última es una cruce con Cónico Norteño. Destaca la muestra 725 con la mayor relación O/L que es de color y, por tanto, presenta un interés particular para la producción de aceite de alta calidad nutracéutica (Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

En los aceites de cinco muestras no se detectó ácido esteárico; una de la raza Cónico (clave 345), dos de la raza Celaya (claves 402 y 474), una de la raza Bolita (clave 478) y una de Ratón mezclada (clave 439). En consecuencia, el contenido de ácidos grasos saturados fue menor al resto. Se ha demostrado que los aceites con menor contenido de ácidos grasos saturados tienen un efecto benéfico relacionado con problemas del corazón (Parry *et al.*, 2005). Todas las muestras presentaron 50 % menos fenoles solubles totales (FST) que lo reportado por De la Parra *et al.* (2007) quienes encontraron hasta 270 mg EAG/100 g bs (Cuadro 3). Una posible explicación puede ser la diferencia genética entre los materiales utilizados, o el efecto ambiental del sitio de siembra. Los FST contribuyen en la capacidad antioxidante de un alimento (Legua *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Contenidos de aceite y ácidos grasos (% de aceite, bs) y relación oleico:linoleico (O/L) de colectas de maíz del norte de El Bajío.

Clave	Raza	Aceite (%)	Palmitico	Estearico	TS [†]	Oléico	Linoléico	TI ^{††}	O/L
341	Cónico Norteño x Ratón	5.01 ± 0.2	13.4 ± 0.4	2.2 ± 0.1	15.6	31.4 ± 2.3	53.0 ± 1.8	84.4	0.59
345	Cónico Norteño	4.84 ± 0.3	13.0 ± 0.0	nd [‡]	13.9	37.6 ± 0.0	49.4 ± 0.0	87.0	0.76
355	Cónico Norteño x Ratón	4.88 ± 0.4	12.9 ± 0.0	2.3 ± 0.0	15.2	35.4 ± 1.9	50.7 ± 6.8	86.1	0.70
725	Cónico Norteño	6.29 ± 0.1	11.4 ± 0.0	3.0 ± 0.0	14.0	46.6 ± 0.3	39.0 ± 0.3	85.6	1.20
351	Cónico Norteño	5.50 ± 0.1	12.9 ± 0.1	3.3 ± 0.0	16.2	41.0 ± 1.1	42.7 ± 0.1	83.7	0.96
353	Cónico Norteño x Cónicos	5.60 ± 0.0	12.4 ± 0.6	3.5 ± 0.1	15.9	41.8 ± 1.9	42.3 ± 1.3	84.1	0.99
352	Cónico Norteño	5.93 ± 0.3	12.4 ± 0.8	3.1 ± 0.2	15.5	42.8 ± 0.2	41.7 ± 0.8	84.5	1.03
722	Cónico Norteño	6.29 ± 0.3	11.8 ± 0.0	3.1 ± 0.0	14.9	43.5 ± 0.0	41.5 ± 0.0	86.0	1.05
632	Cónico Norteño x Celaya	5.26 ± 0.1	13.1 ± 0.0	2.5 ± 0.0	15.6	39.6 ± 0.0	44.8 ± 0.0	84.4	0.88
328	Chalqueño	6.02 ± 0.3	12.6 ± 0.0	2.4 ± 0.0	15.3	42.0 ± 0.5	44.0 ± 1.5	86.0	0.96
402	Celaya	5.17 ± 0.3	13.0 ± 0.1	nd	13.0	36.5 ± 0.3	50.5 ± 0.2	87.0	0.72
704	Celaya x Cónicos	4.74 ± 0.0	12.9 ± 0.1	2.8 ± 0.2	15.7	40.7 ± 1.3	43.6 ± 0.1	84.3	0.93
474	Celaya x Tuxpeño	4.11 ± 0.2	15.0 ± 0.3	nd	15.0	35.3 ± 0.4	49.7 ± 0.2	85.0	0.71
383	Celaya x Ancho	4.85 ± 0.3	13.8 ± 0.2	3.4 ± 0.0	17.2	41.6 ± 1.4	42.2 ± 0.8	84.5	0.99
544	Celaya x Cónico Norteño	5.52 ± 0.1	14.0 ± 0.3	3.2 ± 0.0	17.2	39.5 ± 0.7	43.3 ± 1.3	84.4	0.91
428	Celaya x Cónico Norteño	5.45 ± 0.1	13.0 ± 0.1	2.2 ± 0.2	15.2	41.4 ± 0.1	43.1 ± 0.6	84.5	0.96
478	Bolita x Cónico Norteño	4.87 ± 0.1	12.8 ± 0.0	nd	12.8	42.2 ± 0.1	45.0 ± 0.0	87.2	0.94
385	Ratón	4.67 ± 0.3	13.5 ± 0.6	3.4 ± 0.1	17.0	40.5 ± 1.4	42.6 ± 0.9	83.1	0.95
358	Ratón x Pepitilla	5.27 ± 0.0	12.7 ± 0.1	2.9 ± 0.1	15.6	39.8 ± 0.6	44.5 ± 0.7	84.3	0.89
439	Ratón x Celaya	5.84 ± 0.1	14.5 ± 0.5	nd	14.5	40.0 ± 0.6	45.5 ± 0.1	85.5	0.88
604	Ratón x Cónico Norteño	5.20 ± 0.1	12.5 ± 0.0	2.8 ± 0.2	15.3	40.5 ± 1.1	44.2 ± 1.3	84.7	0.92
538	Tuxpeño Norteño	4.90 ± 0.2	12.8 ± 0.4	2.3 ± 0.1	15.2	37.5 ± 1.3	47.4 ± 0.3	84.9	0.79
550	Tuxpeño x Celaya	5.51 ± 0.4	13.9 ± 0.0	3.0 ± 0.0	16.9	37.7 ± 0.0	45.5 ± 0.0	83.4	0.83
650	Mushito	4.94 ± 0.2	13.5 ± 0.7	2.6 ± 0.2	16.1	37.3 ± 1.6	46.5 ± 0.7	83.8	0.80
	DMS ^{§§}	0.09	0.5	0.2	---	1.3	0.9	---	---

[†]TS = total de ácidos grasos saturados; ^{††}TI = total ácidos grasos insaturados; [‡]nd = no detectado; ^{§§}DMS = diferencia mínima significativa (P < 0.05).

Cuadro 3. Fenoles solubles totales (FST) y antocianinas totales (AT) de colectas de maíz del norte de El Bajío.

Clave	Raza	FST (mg EAG/100 g) [†]	AT (mg EC3G/100 g) ^{††}
341	Cónico Norteño x Ratón	102.1 ± 1.6 g	nd [‡]
345	Cónico Norteño	109.2 ± 1.0 f	86.9 ± 2.0 g
355	Cónico Norteño x Ratón	106.4 ± 1.7 g	269 ± 1.9 f
725	Cónico Norteño	120.1 ± 2.0 d	314 ± 9.6 d
351	Cónico Norteño	82.9 ± 1.6 k	nd
353	Cónico Norteño x Cónico	109.1 ± 5.2 f	575 ± 5.7 a
352	Cónico Norteño	113.0 ± 3.4 ef	541 ± 1.1 b
722	Cónico Norteño	113.3 ± 2.1 e	432 ± 12 c
632	Cónico Norteño x Celaya	92.2 ± 1.2 j	nd
328	Chalqueño	101.3 ± 2.9 gh	nd
402	Celaya	114.1 ± 3.4 ef	nd
704	Celaya x Cónicos	134.0 ± .08 c	nd
474	Celaya x Tuxpeño	143.2 ± 0.6 b	nd
383	Celaya x Ancho	119.0 ± 4.0 de	nd
544	Celaya x Cónico Norteño	89.0 ± 4.0 j	nd
428	Celaya x Cónico Norteño	164.0 ± 2.5 a	284 ± 10 e
478	Bolita x Cónico Norteño	99.8 ± 2.0 h	nd
385	Ratón	82.2 ± 2.3 k	nd
358	Ratón x Pepitilla	95.4 ± 1.8 i	nd
439	Ratón x Celaya	94.3 ± 1.1 ij	nd
604	Ratón x Cónico Norteño	102.1 ± 3.2 gh	nd
538	Tuxpeño Norteño	106.2 ± 3.0 fg	nd
550	Tuxpeño x Celaya	90.5 ± 3.7 ij	nd
650	Mushito	97.5 ± 3.9 hi	nd

[†]mg equivalentes de ácido gálico/100 g, bs; ^{††}mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/100 g; [‡]nd = no detectado. Promedios en la misma columna con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

En cambio, el contenido de antocianinas totales en las muestras de color fue mayor al reportado por De la Parra *et al.* (2007) (0.28 a 36.87 mg EC3G/100 g, bs). Por ejemplo, el maíz con menor contenido de antocianinas fue Cónico Norteño (clave 345) con 86.9 mg EC3G/100 g, bs (Cuadro 3); mientras que la muestra Cónico Norteño x Cónico (clave 353) presentó 15 veces más el contenido de antocianinas del máximo reportado por De la Parra *et al.* (2007). La diferencia en el contenido de antocianinas entre las muestras 345 y 353 se atribuye al color púrpura más intenso que presenta la muestra 353 en comparación con el color rojizo de la muestra 345. Este alto contenido de antocianinas es importante debido al efecto positivo que estos compuestos tienen sobre el contenido de glucosa en la sangre (Kang *et al.*, 2012).

El peso hectolítrico (PH) en las muestras de maíz nativo varió de 67.8 a 76.9 kg/hL en la muestra de la raza Celaya

(clave 383) y Cónico Norteño (clave 722), respectivamente (Cuadro 4). Al respecto, la norma NMX-FF034 (SAGARPA, 2002) señala que el grano con mejor calidad para producir masa y tortilla es el que presenta un valor mínimo de PH de 75 kg/hL. Notar que dos muestras de la raza Cónico Norteño (claves 722 y 725), una de la raza Celaya (clave 544) y una Tuxpeño Norteño (clave 550) cumplen con la norma (Cuadro 4). Si bien solo cuatro materiales cumplen con la norma para la producción de masa y tortilla, otros materiales podrían destinarse a la producción de aceite de alta calidad o pigmentos para la industria de los alimentos, como ya se discutió anteriormente.

Los resultados del peso de 100 granos (PCG) mostraron que existe una gran heterogeneidad entre las muestras analizadas. En los maíces nativos evaluados varió de 22 g/100 granos (Cónico Norteño, clave 352) a 41 g/100 granos (Tuxpeño Norteño, clave 550) (Cuadro 4). En estos materiales aquí

analizados predominaron los granos de tamaño pequeño; sin embargo, un grano pequeño tiene germen grande (Billeb de Sinibaldi y Bressani, 2001). Por su parte, el índice de flotación (IF) fue de 46.7 a 94.5 % con un valor medio de 73 %, valores que sugieren predominancia de maíces con endospermo suave.

La pérdida de sólidos en el agua de cocción ('nejayote') fue muy similar a lo reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2011) y Billeb de Sinibaldi y Bressani (2001) de 3.14 % comparado con el promedio de 3.16 % encontrado en este trabajo, pero también hay muestras con valores menores a 3.0, como en las muestras 341, 632, 704, 474, 358, 604, 550, y 650 (Cuadro 5). En todos los casos, la pérdida de sólidos en el agua fue menor al establecido por la norma Mexicana NMX-FF034 de 5.0 %. El nixtamal de los maíces criollos retuvo en promedio 40.5 % de pericarpio después

del lavado, valor que resultó semejante al reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2011). Para los industriales de la masa y la tortilla, los altos porcentajes de pericarpio retenido no representan problema en la producción de tortillas; por el contrario, un contenido mayor a 50 % de pericarpio retenido pudiera estar relacionado con una buena textura de sus tortillas (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2003). Además, la pérdida de pericarpio está relacionada con la disminución de fibra soluble, compuesto de importancia en nutrición y en la prevención de la salud (Paredes-López *et al.*, 2009).

El nixtamal y la masa de todas la muestras presentaron promedios de 47.2 % y 56.4 % en humedad, respectivamente, valores similares a los reportados por Vázquez-Carrillo *et al.* (2011) y por Salinas-Moreno *et al.* (2003). La humedad del nixtamal influye en la humedad de la tortilla y en el rendimiento de tortilla. La humedad del nixtamal en los

Cuadro 4. Calidad física del grano de colectas de maíz del norte de El Bajío.

Clave	Raza	PH [†] (kg/hL)	PCG ^{††} (g/100 granos)	IF [‡] (%)	Pericarpio (%)	Germen (%)
341	Cónico Norteño x Ratón	74.6	29.8	52.2	6.0	11.1
345	Cónico Norteño	70.6	23.9	77.6	6.6	10.5
355	Cónico Norteño x Ratón	72.3	26.5	56.1	6.9	11.1
725	Cónico Norteño	76.4	24.9	51.5	5.4	12.2
351	Cónico Norteño	74.0	28.1	60.0	5.5	11.3
353	Cónico Norteño x Cónico	72.8	23.1	74.3	6.4	11.7
352	Cónico Norteño	71.8	22.0	73.0	5.7	11.7
722	Cónico Norteño	76.9	27.0	46.7	5.4	11.7
632	Cónico Norteño x Celaya	69.3	26.0	94.5	5.9	10.8
328	Chalqueño	72.6	30.5	82.5	5.7	11.1
402	Celaya	72.5	32.7	72.6	4.5	11.2
704	Celaya x Cónicos	73.1	31.1	66.8	6.6	10.8
474	Celaya x Tuxpeño	68.4	26.2	90.8	6.3	11.5
383	Celaya x Ancho	67.8	37.5	77.9	5.6	12.7
544	Celaya x Cónico Norteño	76.2	33.9	55.3	5.8	12.2
428	Celaya x Cónico Norteño	69.4	36.5	69.5	5.5	12.8
478	Bolita x Cónico Norteño	74.1	23.2	76.1	5.8	11.0
385	Ratón	72.4	33.3	87.0	6.6	12.7
358	Ratón x Pepitilla	73.7	37.0	63.0	5.2	11.4
439	Ratón x Celaya	68.7	34.6	71.4	6.1	13.4
604	Ratón x Cónico Norteño	71.5	22.9	90.3	5.3	10.0
538	Tuxpeño Norteño	73.3	39.1	53.4	6.1	10.9
550	Tuxpeño x Celaya	75.5	41.0	82.2	5.5	12.9
650	Mushito	70.2	27.4	86.1	5.8	11.6
	DMS ^{§§}	1.1	1.1	1.2	0.2	0.5

[†]HP = peso hectolítrico; ^{††}PCG = peso de 100 granos; [‡]IF = índice de flotación. ^{§§}DMS = diferencia mínima significativa (P < 0.05).

Cuadro 5. Calidad del nixtamal, la masa y la tortilla de colectas de maíz del norte de El Bajío

Clave	Raza	Sólidos perdidos (%)	Pericarpio-retenido (%)	Humedad (%)°				Rendimiento		Fuerza ruptura (g _f) [†]	
				Nixtamal	Masa	Tortilla 2 h	Tortilla 24 h	Masa	Tortilla	2 h	24 h
341	Cónico Norteño x Ratón	2.96	50.3	48.0	58.2	44.7	44.5	2.05	1.55	186.5	276.0
345	Cónico Norteño	3.52	35.3	48.0	57.3	44.5	37.3	1.86	1.41	268.5	357.0
355	Cónico Norteño x Ratón	3.53	45.7	47.9	56.8	45.6	44.0	1.83	1.44	288.8	315.3
725	Cónico Norteño	4.53	15.4	44.9	54.7	43.1	39.6	1.90	1.44	241.3	260.5
351	Cónico Norteño	3.20	35.2	48.3	57.6	44.9	44.8	2.02	1.52	201.0	273.5
353	Cónico Norteño x Cónico	3.87	34.4	48.3	57.6	43.1	42.4	2.04	1.49	164.5	238.0
352	Cónico Norteño	3.84	41.0	47.2	57.6	46.2	41.8	1.91	1.44	171.0	183.0
722	Cónico Norteño	3.71	17.5	47.5	55.5	42.0	40.6	1.93	1.49	155.0	252.5
632	Cónico Norteño x Celaya	2.65	53.3	47.0	55.7	43.2	43.5	2.07	1.60	250.8	295.5
328	Chalqueño	3.03	38.4	46.0	57.6	43.1	39.8	1.97	1.48	196.0	242.5
402	Celaya	2.51	49.1	45.5	54.9	45.0	41.7	1.83	1.45	334.5	361.0
704	Celaya x Cónicos	2.78	43.8	46.6	55.8	44.6	43.5	1.94	1.51	320.3	327.8
474	Celaya x Tuxpeño	2.49	55.0	50.5	57.4	45.1	43.7	1.98	1.50	223.0	303.8
383	Celaya x Ancho	3.47	45.1	47.4	57.1	44.2	40.9	1.99	1.54	214.5	338.0
544	Celaya x Cónico Norteño	3.03	43.0	44.7	54.8	42.1	41.8	1.81	1.41	287.0	326.5
428	Celaya x Cónico Norteño	3.24	26.1	45.6	55.4	42.9	41.3	1.89	1.44	289.5	328.0
478	Bolita x Cónico Norteño	3.02	44.0	49.3	58.5	44.8	44.3	2.04	1.57	210.5	269.3
385	Ratón	3.02	44.0	49.3	58.5	44.8	44.3	2.04	1.57	210.5	269.3
358	Ratón x Pepitilla	2.51	42.4	46.6	56.4	44.2	44.7	1.98	1.53	182.0	395.0
439	Ratón x Celaya	3.68	33.0	47.4	56.6	44.0	42.0	1.95	1.52	218.5	260.8
604	Ratón x Cónico Norteño	2.56	55.8	48.6	55.7	44.4	45.0	1.94	1.52	251.0	317.0
538	Tuxpeño Norteño	3.10	33.8	46.3	57.3	44.8	41.4	2.03	1.55	249.0	360.5
550	Tuxpeño x Celaya	2.79	43.5	44.6	52.9	43.1	44.0	1.83	1.47	333.5	393.5
650	Mushito	2.94	44.9	47.8	56.6	45.0	43.3	1.99	1.54	277.5	258.0
	DMS ^{††}	0.25	1.1	0.8	1.0	1.2	1.1	0.05	0.03	9.5	12.1

[†]gramos-fuerza. ^{††}DMS = diferencia mínima significativa (P < 0.05)

materiales aquí estudiados varió de 42.0 a 46.2 %, con un promedio de 44.7 %, que son niveles de humedad más altos que los reportados por Hernández-Urbe *et al.* (2010) para maíces azul (34.74 %) y blanco (38.3 %) y por Vázquez-Carrillo *et al.* (2010) para maíces nativos.

Una de las características de calidad más buscadas por la industria de la tortilla es el rendimiento. En promedio, los maíces nativos del norte de Guanajuato presentaron un rendimiento de 1.49 kg de tortilla por 1 kg de maíz, similar al valor de 1.5 reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2003) y mayor al de 1.33 reportado por Mauricio-Sánchez *et al.* (2004). Los maíces de las razas Cónico Norteño x Ratón (clave 341), Bolita x Cónico Norteño (clave 478), Ratón (clave 385), Tuxpeño Norteño (clave 358) y Mushito (clave 650) destacan por sus altos rendimientos, entre 1.54 y 1.57 kg de tortilla/kg de maíz, en especial la raza Cónico Norteño x Celaya (clave 632) que presentó un rendimiento de 1.6 kg de tortilla/kg de maíz.

Las tortillas de maíz blanco mostraron buen color a las 2 y 24 h después de su elaboración, y las tortillas de maíz de color mantuvieron su apariencia agradable de tortilla recién elaborada después de 24 h de almacenamiento. A las 2 y 24 h de preparación la textura de la tortilla fue suave, ya que requirió menos de 250 g_f para romperse (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

Con base en el perfil de ácidos grasos y en el cálculo de la relación oleico: linoleico (O/L), algunos maíces nativos de la raza Cónicos, pura o mezclada, presentan altos niveles de aceite, ácido oleico, y una relación O/L que los hace de interés para usos industriales y para programas de mejoramiento. También son de interés un material de la raza Cónico, dos de la raza Celaya y uno de la raza Bolita, por no presentar ácido palmítico y, en consecuencia, tener un nivel bajo de grasas saturadas.

Los maíces de color aquí analizados presentan altos contenidos de aceite, de ácido oleico y de pigmentos (antocianinas), características que los clasifica con potencial para la industria de la producción de pigmentos naturales y también para los programas de mejoramiento del maíz. Los maíces nativos de la región norte del estado de Guanajuato fueron heterogéneas en tamaño y dureza del grano. Predominan los granos de dureza suave-intermedia con buen índice de flotación. Las muestras de granos pigmentados (azul y rojo) fueron de endospermo muy suave.

Las tortillas elaboradas con estos maíces presentan buena calidad, excelentes rendimientos y textura suave, tanto recién elaborada como después del almacenamiento por 24 h. Se identificaron seis muestras que presentan alto potencial

para usos industriales o como fuente de diversidad genética: Cónico Norteño x Ratón (clave 341), Bolita x Cónico Norteño (clave 478), Ratón (clave 385), Tuxpeño Norteño (clave 358), Mushito (clave 650) y Cónico Norteño x Celaya (clave 632).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por “MASAGRO: Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional”, un programa de SAGARPA-CIMMYT. Agradecemos la revisión técnica y editorial de N. Palacios Rojas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal E. S. M. and P. A. Hucl (1999) A rapid method for quantifying total anthocyanins in bluealeurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry* 76:350-354.
- Aguilar J., C. Illsley y C. Marielle (2003) Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. In: Sin Maíz No Hay País. G. Esteve, C. Marielle (eds.). CONACULTA, México, D. F. pp:123-154.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemist (2000) Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemist International. Arlington, TX. USA. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>. (Enero 2014).
- AOCS, American Oil Chemists' Society (2013) Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 6th ed., 3rd, Urbana, IL. USA. <http://www.aocs.org/Methods/index.cfm>. (Enero 2014).
- Billeb de Sinibaldi A. C. y R. Bressani (2001) Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51:86-94.
- CHEMPRO (2012). Fatty acids profile of edible oils. Edible oil refinery exporters, manufacturers and suppliers chempro technovation PTV. LTD. India. <http://www.chempro.in/index.htm>. (Marzo 2014).
- De la Parra C. S., O. Serna-Saldivar and R. H. Liu (2007) Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn production of massa, tortillas and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:4177-4183.
- Erickson A. (2006) Corn oil. Corn Refiners Association. Pensilvania NW. <http://www.corn.org/wp-content/uploads/2009/12/CornOil.pdf>. (Marzo 2014).
- Fernández-Suárez R., L. M. Morales-Chávez y A. Gálvez-Mariscal (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(Supl. 3-A):275-283.
- García-Lara S. and D. J. Bergvinson (2013) Identification of maize landraces with high level of resistance to storage pests *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Prostephanus truncatus* horn in Latinamerica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(Supl. 3-A):347-356.
- Gaytán-Martínez M., J. D. Figueroa-Cárdenas, M. I. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez (2013) Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(Supl. 3-A):339-346.
- Hernández-Urbe J. P., G. Ramos-López, H. Yee-Madeira and L. Bello-Pérez (2010) Physicochemical, rheological and structural characteristics of starch in maize tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition* 65:152-157.
- Kang M. K., J. Li, J. K. Kim, J. H. Gong, S. N. Kwak, J. H. Park, J. Y. Lee, S. S. Lim and Y. H. Kang (2012) Purple corn anthocyanins inhibit diabetes-associated glomerular monocyte activation and macrophage infiltration. *American Journal of Physiology and Renal Physiology* 303:F1060-1069.
- Kuhnen S., P. M. Lemos, L. H. Campestrini, J. B. Ogliari, P. F. Dias and M. Maraschin (2011) Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91:1548-1553.

- Legua P., P. Melgarejo, H. Abdelmajid, J. J. Martínez, R. Martínez, H. Ilham, H. Hafida and F. Hernández (2012) Total phenols and antioxidant capacity in 10 Moroccan pomegranate varieties. *Journal of Food Science* 71:C115-C120.
- López-Martínez X. L., K. L. Parkin and H. S. Garcia (2011) Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition* 66:41-47.
- Mauricio-Sánchez R. A., J. D. C. Figueroa, S. Taba, M. L. Reyes, F. S. Rincón and A. G. Mendoza (2004) Characterization of maize accessions by grain and tortilla quality traits. *Revista Fitotecnica Mexicana* 27:213-222.
- Martin C., E. Butelli, K. Petroni and C. Tonelli (2011) How can research on plants contribute to promoting human health? *Plant Cell* 23:1685-1699.
- Ortega-Paczka R. (2003) La diversidad del maíz en México. In: Sin Maíz No Hay País. G. Esteva y C. Marielle (eds.). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México. pp:123-154.
- Paliwal R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic (2001) El Maíz en los Trópicos Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp:12-18, 25-37.
- Paredes-López O., F. Guevara-Lara y L. A. Bello-Pérez (2009) Maíz. Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica, Secretaría de Educación Pública. México. 205 p.
- Parry J., L. Su, M. Luther, K. Dhou, M. P. Yurawecz, P. Whittaker and L. Yu (2005) Fatty acid composition and antioxidant properties of cold-pressed marionberry, boysenberry, red raspberry, and blueberry seed oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:566-573.
- Ramírez A. M., Y. Salinas-Moreno y O. R. Taboada-Gaytán (2003) Maíz azul de los valles altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnica Mexicana* 26:1001-1007.
- Salinas-Moreno Y., B. Martínez, H. M. Soto, P. R. Ortega y V. J. L. Arellano (2003) Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37:617-628.
- Salinas-Moreno Y. y C. G. Vázquez (2006) Metodologías de Análisis de la Calidad Nixtamalero-Tortillera en Maíz. Folleto Técnico No. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo de México. México. 91 p.
- Salinas-Moreno Y., J. J. Pérez-Alonso, G. Vázquez-Carrillo, F. Aragón-Cuevas y G. A. Velázquez-Cardelas (2012) Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia* 47: 815-825.
- Salinas-Moreno Y., C. García-Salinas, B. Coutiño-Estrada y V. A. Vidal-Martínez (2013) Viabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana* 36(Supl. 3-A):285-294.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2002) Norma Oficial Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF034-2002-SCFI-Parte-1. Productos alimenticios no industrializados-para consumo humano-cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Serna-Saldívar S. O., J. A. Gutiérrez-Urbe, S. Mora-Rochin y S. García-Lara (2013) Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnica Mexicana* 36(Supl. 3-A):285-294.
- Singleton V. L., R. Orthofer and R. M. Lamuela-Raventos (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin-Ciocalteu reagent. *Methods of Enzymology* 299:152-178.
- Vázquez-Carrillo M. G., L. Guzmán-Báez, J. L. Andrés-García, F. Márquez-Sánchez y Castillo-Merino J. (2003) Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnica Mexicana* 26:231-238.
- Vázquez-Carrillo M. G., J. P. Pérez-Camarillo, J. M. Hernández-Casillas, M. L. Marrufo-Díaz y E. Martínez-Ruiz (2010) Calidad del grano y de tortilla de maíces criollos del altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 33(Núm. esp.1 4):49-56.
- Vázquez-Carrillo G., S. García-Lara, Y. Salinas-Moreno, D. J. Bergvinson and N. Palacios-Rojas (2011) Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* 66:203-208.
- Zilić S., A. Serpen, G. Akilhoğlu, V. Gökmen and J. Vančetočić (2012) Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:1224-1231.