

Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado*

Nutritional composition and bioactive compounds in tortillas of native populations of corn with blue/purple grain

Yolanda Salinas Moreno^{1§}, Viridiana Hernández Martínez², Libia I. Trejo Téllez³, José Luis Ramírez Díaz¹ y Ofelia Iñiguez Gómez⁴

¹Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, Tepatitlán, Jalisco. CP. 47600. ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. ³Colegio de Posgraduados. Carretera Federal México-Texcoco km 36.5, Montecillo. Texcoco, Estado de México. CP. 56230. ⁴Centro Universitario de los Altos-Universidad de Guadalajara. Carretera a Yahualica km 7.5, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México. [§]Autor para correspondencia: yolasm@gmail.com.

Resumen

Los objetivos del presente estudio fueron determinar la composición química, mineral y de compuestos bioactivos (antocianinas y compuestos fenólicos), así como la capacidad antioxidante en tortillas de poblaciones de maíz de grano azul/morado proveniente de tres razas. Se usaron dos poblaciones de maíz de cada raza Chalqueño (CHAL), Elotes Cónicos (EC) y Bolita (BOL), y un maíz de grano blanco (H-40) como control. En función de los parámetros de color, las tortillas de la raza EC fueron azules, las de CHAL y BOL fueron de tono amarillo verdoso. Se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para lípidos, cenizas y proteína, pero no para almidón, entre las tortillas azules y de maíz blanco (H-40). El contenido de calcio varió de 130 ± 20 a 170 ± 10 mg 100 g^{-1} muestra seca (MS) y fue mayor en la tortilla de grano blanco. El contenido de hierro no presentó diferencias significativas entre las tortillas analizadas (Tukey, $p \geq 0.05$), en tanto que el zinc sí mostró diferencias ($p \leq 0.05$), con mayor contenido en las tortillas de la raza CHAL. La capacidad antioxidante de tortillas de grano azul/morado varió de 29.13 ± 2.38 a 33.29 ± 2.03 $\mu\text{moles ET/g}$ de muestra seca (MS); en maíz de grano blanco y fue de 15.17 ± 2.6 $\mu\text{moles ET g}^{-1}$ MS.

Abstract

The objectives of the present study were to determine the chemical composition, mineral and bioactive compounds (anthocyanins and phenolic compounds), as well as antioxidant capacity in tortillas of populations of blue/purple corn from three breeds. Two populations of corn from each of the Chaldean (CHAL), Conical cob (EC) and Bolita (BOL) races were used, and a white corn (H-40) as control. Depending on the color parameters, the tortillas of the EC breed were truly blue, CHAL and BOL were yellowish-green. Statistical differences ($p \leq 0.05$) were observed for lipids, ashes and protein, but not for starch, between blue and white corn tortillas (H-40). The calcium content varied from 130 ± 20 to 170 ± 10 mg 100 g^{-1} dry sample (MS) and was higher in the white-grain tortilla. The iron content did not present significant differences between the tortillas analyzed (Tukey, $p \geq 0.05$), while zinc showed differences ($p \leq 0.05$), with the highest content in tortillas of the CHAL breed. The antioxidant capacity of blue/purple grain tortillas ranged from 29.13 ± 2.38 to 33.29 ± 2.03 $\mu\text{moles Trolox (ET)/g}$ dry sample (MS); in that of white corn and was 15.17 ± 2.6 $\mu\text{moles ET g}^{-1}$ MS.

* Recibido: junio de 2017
Aceptado: septiembre de 2017

Palabras clave: *Zea mays* L., antocianinas, capacidad antioxidante, nixtamalización.

Keywords: *Zea mays* L., anthocyanins, antioxidant capacity, nixtamalization.

Introducción

La tortilla de maíz ha sido la columna de la alimentación de México y otros pueblos de Centroamérica. Su consumo *per capita* es 86 kg año⁻¹, según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares (ENIGH, 2012). En México la tortilla se elabora a partir de maíz de grano blanco. Sin embargo, el interés de los consumidores en productos a base de cereales, que se ubica la tortilla elaborados con granos de colores rojos o azules, impulsado por la información que circula en los diferentes medios en relación a los beneficios a la salud que se obtienen al consumir alimentos con mayor contenido de antioxidantes (Wootton y Ryan, 2011).

La tortilla azul posee un contenido de antioxidantes ligeramente mayor al de la tortilla blanca (Del Pozo *et al.*, 2006), con mejores características de textura, aroma y sabor (Víctores, 2001), además que el color por sí mismo constituye un atractivo para el consumidor, el cual se debe a la presencia de antocianinas, que son flavonoides (Harborne y Williams, 2000) localizados en las capas periféricas del grano (Salinas *et al.*, 1999). Además de ser pigmentos naturales, las antocianinas poseen actividades biológicas sobresalientes, que destaca su actividad antioxidante (Rice *et al.*, 1996).

Se ha reportado que las variedades de grano azul poseen mayor contenido de zinc y hierro que los híbridos de grano blanco o amarillo (Bodi *et al.*, 2008), minerales relevantes por su participación en reacciones metabólicas asociadas con el aprovechamiento de carbohidratos y proteínas (Schuämann *et al.*, 2007). Sin embargo, no se tiene información sobre el contenido de estos minerales en las tortillas de grano azul morado de las poblaciones de maíz que se tienen en México.

Se requiere contar con mayor información sobre la composición nutricional de la tortilla elaborada a partir de maíces de grano azul/morado, además de la información sobre sus ventajas nutraceuticas con respecto a la tortilla blanca. En este contexto, los objetivos del presente estudio fueron determinar la composición proximal, mineral y de compuestos bioactivos (antocianinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante) en tortillas obtenidas de poblaciones de maíz de grano azul/morado provenientes de tres razas.

Introduction

The corn tortilla has been the food column of Mexico and other peoples of Central America. Its *per capita* consumption is 86 kg year⁻¹, according to the National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH, 2012). In Mexico the tortilla is made predominantly from white corn. However, consumer interest in cereal-based products, within which the tortilla is located, made with red or blue grains, is growing, driven by the information circulating in the different media in relation to the health benefits of consuming foods with higher antioxidant content (Wootton and Ryan, 2011).

The blue tortilla has a slightly higher antioxidant content than that of the white omelet (Del Pozo *et al.*, 2006), with better texture, aroma and flavor characteristics (Víctores, 2001), besides color itself is a consumer attraction, which is due to the presence of anthocyanins, which are flavonoids (Harborne and Williams, 2000) located in the peripheral layers of the grain (Salinas *et al.*, 1999). In addition to being natural pigments, anthocyanins have outstanding biological activities, within which their antioxidant activity stands out (Rice *et al.*, 1996).

It has been reported that blue-grain varieties possess higher zinc and iron content than hybrids of white or yellow grain (Bodi *et al.*, 2008), relevant minerals for their participation in metabolic reactions associated with the use of carbohydrates and proteins (Schuämann *et al.*, 2007). However, no information is available on the content of these minerals in the blue-purple tortillas of the maize populations in Mexico.

It is necessary to have more information about the nutritional composition of the tortilla made from blue/purple corn, as well as the information on its nutraceutical advantages with respect to the white tortilla. In this context, the objectives of the present study were to determine the proximal composition, mineral and bioactive compounds (anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activity) in tortillas obtained from populations of blue/purple corn from three breeds.

Materiales y métodos

Material de estudio

Se utilizaron dos poblaciones de maíz con grano azul/morado de cada una de las siguientes razas: Chalqueño (CHAL), Elotes cónicos (EC) y Bolita (BOL). Las poblaciones de CHAL se obtuvieron en la delegación Álvaro Obregón, en el paraje “El Tejocote”, de San Bartolo Meyalco (19° 21' 23.39" latitud norte, 99° 14' 10.26" longitud oeste, a 2 700 msnm). Las de EC provinieron de las localidades de Mexicalzingo (19° 12' 33" latitud norte, 99° 35' 9" longitud oeste) y Tenango del Aire (19° 9' 27" latitud norte, 98° 51' 29" longitud oeste) Estado de México, situadas a alturas de 2 600 y 2 380 msnm, respectivamente. Las de la raza BOL se obtuvieron en las localidades de San Martín Tilcajete (16° 51' 32" latitud norte, 96° 41' 42" longitud oeste) y Valde Flores (15° 51' 5.04" latitud norte, 96° 47' 35.88" longitud oeste) en el estado de Oaxaca, situadas a 1 500 y 1 447 msnm, en ese orden.

Muestras de 1-2 kg de mazorcas de cada población se obtuvieron directamente con los productores y se guardaron en bolsas de plástico en condiciones de refrigeración hasta ser procesadas. La identidad de las poblaciones con su correspondiente raza se realizó con el apoyo de personal de amplia experiencia en la clasificación de germoplasma de maíz. Como control se incorporó un maíz de grano blanco (H-40) que se destina en la región de Valles Altos para la elaboración de tortillas. Con el fin de contar con información sobre la dureza del grano en las poblaciones de estudio y poder asignarles el tiempo de cocimiento adecuado durante la nixtamalización, se determinó la dureza del grano, mediante el índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992).

Nixtamalización y elaboración de tortillas

La nixtamalización se realizó a partir de 100 g de grano limpio, con 200 mL de agua destilada y 0.7 g de óxido de calcio, de acuerdo con lo descrito por Vázquez *et al.* (2014). La mezcla se calentó en una parrilla eléctrica hasta ebullición y se mantuvo por 20 min para las muestras de CHAL y EC, en tanto que las muestras de BOL se mantuvieron por 30 min. Estos tiempos se ajustaron de acuerdo con la dureza del grano. Las muestras se reposaron a temperatura ambiente por 12-14 h. El nixtamal se enjuagó con agua corriente para eliminar el exceso de cal y se molió en un molino de piedras. La masa se amasó y porciones de 20 g se moldearon en una

Materials and methods

Study material

Two populations of blue/purple corn from each of the following races were used: Chalqueño (CHAL), Conical cob (EC) and Bolita (BOL). The populations of CHAL were obtained from the Álvaro Obregón delegation in the “El Tejocote” area of San Bartolo Meyalco (19° 21' 23.39" north latitude, 99° 14' 10.26" west longitude, at 2 700 meters above sea level). Those of EC came from the localities of Mexicalzingo (19° 12' 33" north latitude, 99° 35' 9" west longitude) and Tenango of Aire (19° 9' 27" north latitude, 98° 51' 29" west longitude) State of Mexico, located at heights of 2 600 and 2 380 meters above sea level, respectively. The BOL breed was obtained in the towns of San Martín Tilcajete (16° 51' 32" north latitude, 96° 41' 42" west longitude) and Valde Flores (15° 51' 5.04" north latitude, 96° 47' 35.88" west longitude) in the state of Oaxaca, located at 1 500 and 1 447 meters above sea level, in that order.

Samples of 1-2 kg of ears of each stock were obtained directly from the producers and stored in plastic bags under refrigerated conditions until processed. The identity of the populations with their corresponding race was realized with the support of personnel of ample experience in the classification of maize germplasm. As a control was incorporated a white grain corn (H-40) that is destined in the region of Valles Altos for the elaboration of tortillas. In order to obtain information about the hardness of the grain in the study populations and to be able to give them adequate cooking time during the nixtamalization, the grain hardness was determined by the flotation index (Salinas *et al.*, 1992).

Nixtamalization and making tortillas

The nixtamalization was performed from 100 g of clean grain, with 200 mL of distilled water and 0.7 g of calcium oxide, as described by Vázquez *et al.* (2014). The mixture was heated on an electric grill to boiling and kept under these conditions for 20 min for the CHAL and EC samples, while the BOL samples were held for 30 min. These times were adjusted according to the hardness of the grain. Samples were rested at room temperature for 12-14 h. The nixtamal was rinsed with tap water to remove excess lime and ground in a stone mill. The dough was kneaded and 20 g portions were molded in a manual tortilla and cooked on a metal plate

tortilladora manual y se cocieron en una placa metálica (comal) de 15 s por un lado, 1 min por el lado contrario y 15 s por la cara de inicio, para la formación de la “ampolla”.

Color de la tortilla

Se midió en cuatro tortillas frías recién elaboradas, sobre la cara contraria a la ampolla, con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L). Se obtuvieron los valores CIELab de L^* , a^* y b^* . A partir de estos dos últimos se calcularon los parámetros de Hue (ángulo de tono) y Croma (saturación del color), por medio de las expresiones: Hue = $\arctg(b^*/a^*)$, crom = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGuire, 1992).

Preparación de las muestras de tortilla para sus análisis

Las tortillas, cortadas en trozos pequeños, se colocaron en charolas de aluminio y se deshidrataron en un horno (Riossa, MX) a 40 °C durante 24 h. Después se molieron en un molino tipo ciclónico (UDY, USA) con malla 0.5 mm para obtener la harina, que se colocó en viales ámbar dentro de un desecador para determinar su composición de antocianinas, fenoles, actividad antioxidante y composición proximal y mineral.

Análisis proximal y de minerales

El análisis proximal se realizó de acuerdo a lo establecido por los métodos 920.152, 940.26 y 970.20 para proteína, cenizas y extracto etéreo, respectivamente de la AOAC (1998). El contenido de almidón se determinó por el método de la Megazyme® (McCleary *et al.*, 1994). La composición mineral de las tortillas se determinó por digestión con una mezcla diácida ($\text{HClO}_4\text{-HNO}_3$) y se analizó por espectrofotometría de emisión de flama (Jones y Case, 1990). Todos los análisis se realizaron por duplicado.

Composición fenólica de las tortillas

Extracción de fenoles solubles. Se pesó 1 g de tortilla molida y seca y se agregaron 20 mL de metanol acidificado al 1% con ácido trifluoroacético (TFA). La mezcla se sonicó por 15 min a temperatura ambiente y se almacenó a temperatura de refrigeración (4 °C) durante 115 min. Se centrifugó por 15 min a 4 000 rpm y se filtró en papel Whatman No. 4. El volumen se ajustó a 20 mL con el mismo solvente de extracción. Este extracto se empleó para las determinaciones de antocianinas totales (Salinas *et al.*, 2005), fenoles solubles totales (Singleton y Rossi, 1995) y actividad antioxidante (Re *et al.*, 1999; Soler *et al.*, 2000).

(comal) with a time of 15 s on one side, one minute on the opposite side and 15 s on the start side, for the formation of the “blister”.

Color of the tortilla

It was measured in four freshly made tortillas on the opposite side of the ampoule with a Hunter Lab colorimeter (Mini Scan XE Plus 45/0-L). The CIELab values of L^* , a^* and b^* were obtained. From these two last ones the parameters of Hue (tone angle) and Chroma (color saturation) were calculated, by means of the expressions: Hue = $\arctg(b^*/a^*)$, chroma = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGuire, 1992).

Preparation of tortilla samples for analysis

The tortillas, cut into small pieces, were placed in aluminum trays and dehydrated in an oven (Riossa, MX) at 40 °C for 24 h. They were then milled in a 0.5 mm mesh cyclone mill (UDY, USA) to obtain the flour, which was placed in amber vials inside a desiccator and analyzed immediately for anthocyanins, phenols, antioxidant activity, and proximal and mineral composition.

Analysis proximal and minerals

The proximal analysis was performed according to the methods 920.152, 940.26 and 970.20 for protein, ash and ethereal extract, respectively of the AOAC (1998). The starch content was determined by the Megazyme® method (McCleary *et al.*, 1994). The mineral composition of the tortillas was determined by digestion with a diacid mixture ($\text{HClO}_4\text{-HNO}_3$) and analyzed by flame emission spectrophotometry (Jones and Case, 1990). All analyzes were performed in duplicate.

Phenolic composition of tortillas

Extraction of soluble phenols. 1 g of ground and dried tortilla were weighed and 20 mL of 1% acidified methanol was added with trifluoroacetic acid (TFA). The mixture was sonicated for 15 min at room temperature and stored at refrigeration temperature (4 °C) for 115 min. Centrifuged for 15 min at 4 000 rpm and filtered on Whatman No. 4 paper. The volume was adjusted to 20 mL with the same extraction solvent. This extract was used for the determinations of total anthocyanins (Salinas *et al.*, 2005), total soluble phenols (Singleton and Rossi, 1995) and antioxidant activity (Re *et al.*, 1999; Soler *et al.*, 2000).

Antocianinas totales (CAT). Se elaboró una curva patrón con cianidina-3-glucósido (Extrasynthese, FR). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/100 g de muestra seca (MS). Fenoles solubles totales (FST). El análisis se realizó mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu, (Singleton y Rossi, 1995). El contenido de FST se expresó en función del ácido gálico, para lo cual se elaboró una curva patrón de este ácido. Los resultados se reportan en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de MS.

Actividad antioxidante (AA)

Método de DPPH

Se utilizó el método del radical libre DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazina) de acuerdo con lo descrito por Soler *et al.* (2000). La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de DPPH reducido.

Método de ABTS

Se determinó mediante la metodología de ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) descrita por Re *et al.* (1999). Se calculó el porcentaje de ABTS reducido y se expresó como micromoles equivalentes de Trolox (forma soluble del α -tocoferol).

Análisis estadístico de los datos

Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar, con dos repeticiones. Mediante el procedimiento estadístico proc ANOVA se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias entre tratamientos (tortillas de las tres razas y la de grano blanco), cuando se presentó significancia en el modelo. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS para microcomputadora (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Color de tortillas

En la Figura 1A se presentan los datos de hue (ángulo de tono) y croma (índice de saturación de color) de las tortillas de grano azul morado de las poblaciones de maíz bajo estudio, además de la tortilla de maíz de grano blanco. Las tortillas

Total anthocyanins (CAT). A standard curve was made with cyanidin-3-glucoside (Extrasynthese, FR). The results were expressed in mg equivalents of cyanidin 3-glucoside/100 g of dry sample (MS). Total soluble phenols (FST). Analysis was performed by the Folin-Ciocalteu assay (Singleton and Rossi, 1995). The content of FST was expressed as a function of gallic acid, for which a standard curve of this acid was elaborated. The results are reported in mg equivalents of gallic acid (EAG) per 100 g of MS.

Antioxidant activity (AA)

DPPH method

The free radical DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazine) method was used as described by Soler *et al.* (2000). Antioxidant activity was expressed as a percentage of reduced DPPH.

ABTS method

It was determined by the methodology of ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) described by Re *et al.* (1999). The percentage of reduced ABTS was calculated and expressed as equivalent micromoles Trolox (soluble form of α -tocopherol).

Statistical analysis of the data

Data were analyzed under a completely randomized design, with two replicates. A statistical analysis of variance and mean comparison tests between treatments (tortillas of the three races and white-grain tortillas) was performed using the ANOVA statistical procedure, when significance was presented in the model. The analyzes were performed with the statistical package SAS for microcomputer (SAS, 2002).

Results and discussion

Color of tortillas

In the Figure 1A shows the hue (pitch angle) and chroma (color saturation index) data of the purple blue grain tortillas of the corn populations under study, in addition to the white corn tortilla. The blue corn tortillas of the BOL race were located between the yellow-green tones, with hue values of $114.9 \pm 2.2^\circ$ and $133.7 \pm 1.6^\circ$, for collections 89 and

de maíz azul de la raza BOL se ubicaron entre los tonos amarillo-verde, con valores de hue de $114.9 \pm 2.2^\circ$ y $133.7 \pm 1.6^\circ$, para las colectas 89 y 120, respectivamente. Una de las muestras de la raza CHAL (colecta 16, hue= $167.3 \pm 1.1^\circ$) se ubicó también entre estos tonos.

La otra muestra de CHAL se colocó entre los tonos verde y azul, pero muy cercana al tono verde, con un valor de hue de $185.1 \pm 1.2^\circ$. Por su parte, las tortillas de las dos colectas (4 y 84) de la raza EC se ubicaron en el cuadrante comprendido entre los tonos azul y rojo, con valores de hue de 288.8 ± 10.8 y $285.2 \pm 1.3^\circ$, respectivamente. Del Pozo *et al.* (2007) reportaron valores de hue de 357.6° y 5.9° , en tortillas de maíz azul nacional y americano, respectivamente. Estos valores se asocian con tonos morado-rojo (357.6°) y rojo-morado (5.9°). De acuerdo con lo esperado, la tortilla de maíz blanco se situó entre los tonos amarillo-rojo, muy próxima al amarillo, con un valor de hue de 82.0 ± 0.7 .

Los valores de croma observados en las tortillas de grano azul morado fueron bajos (entre 3 y 5), en relación al valor de la tortilla de maíz blanco, que presentó un valor de 25 (Figura 1A). Al remover del gráfico de la Figura 1A, los datos de la tortilla de maíz blanco, se pudo apreciar con mayor claridad los tonos de color de las tortillas de grano azul morado y las diferencias para esta variable entre las tortillas de las tres razas (Figura 1B).

La luminosidad es una variable relacionada con la brillantez de la muestra, varía entre 0 para el negro y 100% para el blanco. En las tortillas de grano azul morado esta variable se ubicó entre 37.2 y 50.3%, las tortillas de la raza BOL fueron las que presentaron los valores más elevados. Como era de esperarse, la tortilla de grano blanco presentó la mayor luminosidad, que fue de $72.6 \pm 1.5\%$ (Figura 1C). En tortillas de maíz azul obtenidas de grano nacional y americano, Del Pozo *et al.* (2007) han señalado valores de luminosidad de 32 a 40%.

El análisis de varianza mostró diferencia estadística ($p \leq 0.05$) de las variables de color entre las tortillas de las poblaciones de las razas de maíz CHAL, EC y BOL bajo estudio. Los resultados de la comparación de medias entre las tortillas de las tres razas se presentan en el Cuadro 1, en el que se han agregado además los datos de las variables a^* y b^* . Lo más relevante de dicho cuadro es que las tortillas de las tres razas presentaron un tono verdoso, dado por los valores negativos de a^* .

120, respectively. One of the samples of the CHAL race (collection 16, hue= $167.3 \pm 1.1^\circ$) was also located between these tones.

The other CHAL sample was placed between the green and blue tones, but very close to the green hue, with an hue value of $185.1 \pm 1.2^\circ$. On the other hand, the tortillas of the two collections (4 and 84) of the EC race were located in the quadrant between the blue and red tones, with hue values of 288.8 ± 10.8 and $285.2 \pm 1.3^\circ$, respectively. Del Pozo *et al.* (2007) reported hue values of 357.6° and 5.9° in national and American blue corn tortillas, respectively. These values are associated with purple-red (357.6°) and purple-purple (5.9°) tones. As expected, the white corn tortilla ranged from yellow to red, very close to yellow, with an hue value of 82.0 ± 0.7 .

The chroma values observed in the purple blue grain tortillas were low (between 3 and 5), relative to the value of the white corn tortilla, which presented a value of 25 (Figure 1A). By removing from the graph of Figure 1A, the data of the white corn tortilla, the color shades of the purple blue grain tortillas and the differences for this variable among the tortillas of the three races could be seen more clearly (Figure 1B).

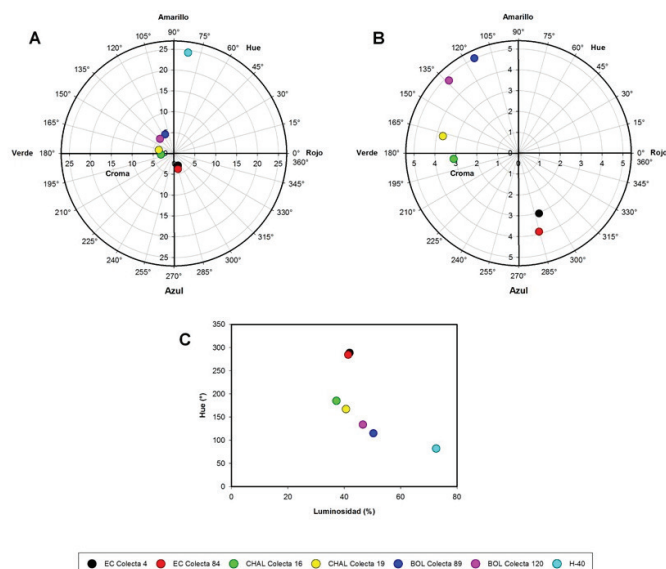


Figura 1. Color de las tortillas de maíz azul/morado y de la tortilla de maíz de grano blanco en el plano hue-croma (A y B) y en el plano hue-luminosidad (C).
Figure 1. Color of the blue/purple corn tortillas and the white-grain corn tortilla in the hue-chroma plane (A and B) and in the hue-luminosity plane (C).

Estos resultados difieren de lo informado por Del Pozo *et al.* (2007) quienes reportaron valores positivos en esta variable, indicativo de un tinte rojo, en las tortillas obtenidas de maíz de grano azul de origen nacional y americano, un resultado similar fue informado por Sánchez *et al.* (2015) para harinas de maíz azul obtenidas por extrusión. El tono verdoso observado en las tortillas de este estudio posiblemente proviene de la combinación del color amarillo característico del pericarpio solubilizado durante el proceso de nixtamalización y el tono azul morado que las antocianinas del grano adquieren al hallarse en un medio alcalino (Salinas *et al.*, 2005; Torskangerpoll y Andersen, 2005).

Las diferencias de hue observadas entre las tortillas de las tres razas podrían atribuirse a diferencias en contenido y tipo de antocianinas en el grano de cada raza en particular. Al respecto, se ha reportado que el grano de colectas de la raza BOL posee un contenido menor de antocianinas que el de razas como EC y CHAL, además de presentar diferencias en los perfiles de antocianinas, con ausencia de peonidina en las colectas de la raza BOL. La estructura química de las antocianinas influye en el color que adquieren a pH alcalino, además de la temperatura y la concentración (Torskangerpoll y Andersen, 2005), lo que complica precisar el origen de las diferencias de color entre las tortillas.

Otro dato que destaca en la información contenida en el Cuadro 1, es que únicamente las tortillas de la raza EC, presentaron valores negativos en b^* , que se relaciona con su tono de color azul. En harinas extrudidas de maíz azul se han informado valores negativos de b^* similares a los observados en las tortillas de la raza EC, al utilizar como fuente de álcali hidróxido de calcio o lactato de calcio, y valores elevados de L (63.68 a 67.94%) (Sánchez *et al.*, 2015), similares a las tortillas hechas de maíz de grano blanco.

No existen trabajos publicados que analicen el efecto del color en la tortilla de grano azul morado sobre la aceptabilidad por parte de los consumidores, a pesar de que es uno de los atributos de la apariencia de los alimentos que más consideran los consumidores al momento de seleccionarlos (Jha, 2010) por lo que es un área que deberá abordarse para generar información sobre este aspecto, de las poblaciones de grano azul/morado que se presentan en muchas de las razas mexicanas.

The brightness is a variable related to the brightness of the sample, varies between 0 for black and 100% for white. In the morello tortillas, this variable was between 37.2 and 50.3%, tortillas of the BOL breed were the ones with the highest values. As expected, the white-grain tortilla presented the highest luminosity, which was $72.6 \pm 1.5\%$ (Figure 1C). In blue corn tortillas obtained from national and American grain, Del Pozo *et al.* (2007) have indicated brightness values of 32 to 40%.

The analysis of variance showed statistical difference ($p \leq 0.05$) of the color variables among the tortillas of the populations of the CHAL, EC and BOL maize breeds under study. The results of the comparison of means between the tortillas of the three races are presented in Table 1, in which the data of the variables a^* and b^* were also added. The most relevant of this table is that the tortillas of the three races presented a greenish tone, given by the negative values of a^* .

These results differ from those reported by Del Pozo *et al.* (2007) who reported positive values in this variable, indicative of a red dye, in tortillas obtained from blue corn of national and American origin, a similar result was reported by Sánchez *et al.* (2015) for blue corn flour obtained by extrusion. The greenish hue observed in the tortillas of this study is possibly due to the combination of the characteristic yellow color of the solubilized pericarp during the nixtamalization process and the purple blue tone that the anthocyanins of the grain acquire when they are in an alkaline environment (Salinas *et al.*, 2005; Torskangerpoll and Andersen, 2005).

The observed hue differences among tortillas of the three races could be attributed to differences in content and type of anthocyanins in the grain of each particular breed. In this regard, it has been reported that the grain of collections of the BOL race has a lower content of anthocyanins than that of races such as EC and CHAL, in addition to presenting differences in anthocyanin profiles, with absence of peonidin in the collections of the breed BOWL. The chemical structure of anthocyanins influences the color they acquire at alkaline pH, in addition to temperature and concentration (Torskangerpoll and Andersen, 2005), which complicates the precise origin of color differences between tortillas.

Another fact that stands out in the information contained in Table 1 is that only tortillas of the breed EC, presented negative values in b^* , which is related to its blue tone.

Cuadro 1. Color en tortillas elaboradas a partir de poblaciones de maíz de grano azul/morado de tres razas.**Table 1. Color tortillas made from corn populations of blue/purple three races grain.**

Razas de maíz	L*	a*	b*	Hue (°)	Croma
CHAL	38.92 ±1.84 c	-3.36 ±0.46 a	0.27 ±0.58 b	176.2 ±9.58 b	3.11 ±0.56 b
EC	41.7 ±0.74 b	-3.3 ±0.5 a	-1.01 ±0.39 c	287 ±7.45 a	3.05 ±0.24 b
BOL	48.48 ±2.08 a	-2.72 ±0.66 a	4.02 ±0.59 a	124.3 ±10.18 c	5.02 ±0.15 a
DMS	2.089	0.687	0.6657	11.526	0.5054

CHAL= Chalqueño, EC= Elotes Cónicos, BOL= Bolita. L*= luminosidad (%). Los valores después del signo ± corresponden a la desviación estándar de n= 4. Valores seguidos por la misma letra, dentro de cada columna no son estadísticamente distintos (Tukey $p \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Análisis proximal y mineral de las tortillas

Se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para aceite, cenizas y proteína entre las tortillas de grano azul/morado y las del maíz de grano blanco H-40 (Cuadro 2). El mayor contenido de aceite lo tuvo la tortilla de la raza CHAL. El contenido de aceite en la tortilla va a estar influenciado por el contenido en el grano y las pérdidas que ocurran durante el proceso de nixtamalización. Martínez *et al.* (2002) encontraron pérdidas de 10.3% de aceite al transformar en tortilla, por el método tradicional, un maíz comercial. Las pérdidas se deben a la saponificación de los aceites del grano por el álcali de la nixtamalización (Yahuac *et al.*, 2013).

Las tortillas de la raza BOL fueron las de menor contenido de aceite, valor que fue estadísticamente igual al que presentaron las tortillas de maíz blanco. Este dato es relevante, si se toma en cuenta que uno de los usos tradicionales de esta raza es para la elaboración de tlayudas, que son tortillas gigantes que se consumen en la cocina Oaxaqueña y que requieren tener una vida de anaquel más larga que la tortilla común. Los valores obtenidos en contenido de aceite en las tortillas del presente trabajo son parecidos al valor de 3.2% base seca informado por Vázquez *et al.* (2014) para tortillas de maíz blanco, pero resultan ligeramente inferiores a 3.8% base seca reportado por Hernández *et al.* (2007) en tortilla de maíz azul.

El contenido de cenizas varió de 1.4 a 1.8% y no presentó diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre las tortillas de las tres razas de grano azul/morado, pero fue mayor al que se observó en las tortillas del maíz de grano blanco. Una fracción importante de las cenizas en la tortilla de maíz corresponde al calcio que es incorporado durante el proceso de nixtamalización, y que se concentra en el pericarpio y germen del grano nixtamalizado (Fernández *et al.*, 2004). El mayor ($p \leq 0.05$) contenido de proteína se presentó en las tortillas de BOL, el menor lo presentaron las tortillas de las razas CHAL y EC.

Negative values of b^* similar to those observed in tortillas of the EC race have been reported when using as calcium source calcium hydroxide or calcium lactate and high values of L (63.68 to 67.94%) (Sánchez *et al.*, 2015), similar to those of the white corn tortilla.

There are no published works that analyze the effect of color in the purple blue grain tortilla on the acceptability by the consumers, although it is one of the attributes of the appearance of the foods that the consumers most consider when selecting them (Jha, 2010). This is an area that must be addressed in order to generate information on this aspect of the blue/purple grain populations that occur in many of the Mexican races.

Proximal and mineral analysis of tortillas

Statistical differences ($p \leq 0.05$) are presented for oil, ash and protein between blue/purple grain tortillas and H-40 white grain maize (Table 2). The largest oil content was the tortilla of the CHAL breed. The oil content in the tortilla will be influenced by the grain content and the losses occurring during the nixtamalization process. Martínez *et al.* (2002) found losses of 10.3% of oil when transforming in commercial tortilla, by the traditional method. The losses are due to the saponification of the grain oils by the alkali of the nixtamalization (Yahuac *et al.*, 2013).

The tortillas of the BOL breed were the ones with the lowest oil content, which was statistically the same as that of the white corn tortillas. This fact is relevant, if one takes into account that one of the traditional uses of this breed is for the elaboration of tlayudas, which are giant tortillas that are consumed in the Oaxacan kitchen and that require to have a shelf life longer than the tortilla common. The values obtained in oil content in the tortillas of the present work are similar to the value of 3.2% dry basis reported by Vázquez *et al.* (2014) for white corn tortillas, but are slightly lower than the 3.8% dry basis reported by Hernández *et al.* (2007) in blue corn tortilla.

Cuadro 2. Composición química y mineral en tortillas elaboradas a partir de poblaciones de maíz con grano azul/morado de tres razas y un testigo de grano blanco.**Table 2. Chemical and mineral composition in tortillas made from corn populations with blue/purple grain of three races and a white grain control.**

Razas	Composición química [†]				Minerales ^{††}		
	Lípidos	Cenizas	Proteína	Almidón	Calcio	Hierro	Zinc
CHAL	3.5 ±0.8 a	1.6 ±0.1 a	7.7 ±0.4 c	69.5 ±1.9 a	118 ±2.8 c	3.5 ±0.76 a	2.4 ±0.06 a
EC	3.2 ±0.4 ab	1.6 ±0.1 a	7.3 ±0.6 c	68 ±1.6 a	160 ±20 ab	2.87 ±0.14 a	1.5 ±0.03 c
BOL	2.4 ±0.2 b	1.8 ±0 a	10 ±0.2 a	65.3 ±1.4 b	130 ±20 b	3.05 ±0.09 a	1.93 ±0.04 b
H-40	2.4 ±0 b	1.4 ±0.2 b	8.8 ±0.2 b	69.7 ±0.4 a	170 ±10 a	3.01 ±0.15 a	1.6 ±0.02 c
DMS	0.9	0.2	0.7	1.9	0.04	0.35	0.08

[†]= los valores están expresados en (%) base seca; ^{††}= expresados en mg 100 g⁻¹ base seca; DHS= diferencia mínima significativa.

El mayor contenido de proteína en las tortillas de las colectas analizadas de la raza BOL se puede atribuir a la dureza del grano, que según Salinas *et al.* (2012), es mayor que en razas de grano harinoso como EC y CHAL. Existe una relación directa entre el contenido de proteína en el grano de maíz y su dureza (Fox y Manley, 2009). El contenido de almidón en las tortillas azules varió de 65.3 a 69.7%, en tanto que en la de grano blanco fue 69.7%. Los valores obtenidos para este componente de la tortilla son ligeramente inferiores al 72.92 ±0.44% informado por Rendón *et al.* (2002) en tortilla de maíz blanco comercial obtenida bajo el método tradicional de nixtamalización.

De manera general, los valores observados en la composición nutricional de las tortillas de grano azul/morado son parecidos a los informados por Hernández *et al.* (2007) para tortilla azul. El contenido de calcio varió de 130 ±20 a 170 ±10 mg 100 g⁻¹ base seca (BS) y fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre las tortillas de grano azul/morado y la tortilla de maíz blanco, que presentó el mayor valor, en tanto que el menor lo tuvo la tortilla de CHAL. La nixtamalización incrementa de forma considerable el contenido de calcio, con relación al grano (7.7 mg 100 g⁻¹ MS en grano a 114 mg 100 g⁻¹ MS en tortilla) (Figueroa *et al.*, 2001).

Durante este proceso, el calcio se fija de manera diferencial en las estructuras del grano, en el orden pericarpio>germen>endospermo (González *et al.*, 2005). Sin embargo, gran parte del pericarpio se pierde en el agua de cocimiento y lavado y con él, el calcio, por lo que es posible que los maíces que retienen mayor cantidad de pericarpio puedan contener mayor cantidad de calcio en sus tortillas. En el proceso de nixtamalización, factores como cantidad de álcali, tiempo de cocimiento y reposo, e intensidad

The ash content ranged from 1.4 to 1.8% and did not present statistical differences ($p > 0.05$) between the tortillas of the three blue/purple grain races, but was higher than that observed in white corn tortillas. An important fraction of the ashes in the corn tortilla is the calcium that is incorporated during the nixtamalization process, which is concentrated in the pericarp and germ of the nixtamalized grain (Fernández *et al.*, 2004). The highest ($p \leq 0.05$) protein content was presented in BOL tortillas, the lowest presented tortillas of the CHAL and EC breeds.

The higher protein content in the tortillas of the analyzed collections of the BOL race can be attributed to the grain hardness, which according to Salinas *et al.* (2012), is higher than in cereal grains such as EC and CHAL. There is a direct relationship between protein content in corn grain and its hardness (Fox and Manley, 2009). The starch content in the blue tortillas varied from 65.3 to 69.7%, while in the white grain it was 69.7%. The values obtained for this component of the tortilla are slightly lower than the 72.92 ±0.44% reported by Rendón *et al.* (2002) in commercial white corn tortilla obtained under the traditional nixtamalization method.

In general, the values observed in the nutritional composition of blue/purple grain tortillas are similar to those reported by Hernández *et al.* (2007) for blue tortilla. Calcium content ranged from 130 ±20 to 170 ±10 mg 100 g⁻¹ dry basis (BS) and was statistically different ($p \leq 0.05$) between blue/purple grain tortillas and white corn tortilla, which presented the highest value, while the minor had the tortilla CHAL. Nixtamalization significantly increases the calcium content, relative to grain (7.7 mg 100 g⁻¹ MS in grain at 114 mg 100 g⁻¹ MS in tortilla) (Figueroa *et al.*, 2001).

del enjuague afectan el contenido de calcio en la tortilla (Bressani *et al.*, 2004), lo que dificulta la comparación objetiva de resultados con los de otros autores.

Los valores obtenidos en las tortillas de maíz azul/morado y de grano blanco son inferiores al valor de 204.9 ± 22.9 mg (%), informado para tortillas de maíz blanco por Bressani *et al.* (2004), pero parecidos a 114 mg (%) reportado por Figueroa *et al.* (2001) para una muestra de tortilla de grano blanco.

El contenido de hierro no presentó diferencia estadística ($p > 0.05$), entre las tortillas analizadas, en tanto que el zinc mostró diferencias ($p \leq 0.05$). El mayor contenido de zinc fueron a las tortillas de la raza CHAL, el menor a las razas EC y las tortillas de maíz blanco. Los valores de hierro en las tortillas azules y blancas de este estudio son mayores que 1.55 mg informado por Bressani *et al.* (2004) para tortilla de maíz blanco.

Los valores de zinc obtenidos en las tortillas azules y blanca son parecidos a los señalados por Figueroa *et al.* (2001) para tortillas de maíz blanco. Aunque se ha reportado un contenido mayor de hierro en maíces con grano azul, en relación a maíces de grano blanco o amarillo (Bodi *et al.*, 2008) en las tortillas de grano azul/morado analizadas el contenido de este mineral fue igual ($p > 0.05$) al de las tortillas de grano blanco.

Dado que el contenido de hierro en la tortilla de maíz no se afecta por las condiciones de nixtamalización (Bressani *et al.*, 2004), las diferencias se pueden atribuir al efecto ambiental y a la genética de los maíces. La concentración de micronutrientes (Fe y Zn) en el grano de maíz se ve fuertemente influenciada por el ambiente de producción, particularmente el tipo de suelo (Field *et al.*, 2005). Al no contar con esta información para las poblaciones de maíz analizadas, es difícil precisar la causa de las diferencias observadas para el contenido de Zn. Una comparación objetiva del efecto de la genética sobre el contenido de micronutrientes en tortilla de maíz requiere grano de cultivares crecidos en un mismo ambiente. En el caso de poblaciones nativas, este requerimiento se dificulta por la limitada adaptación que poseen.

Fenoles solubles totales (FST), antocianinas totales y actividad antioxidante en tortilla

De acuerdo con el Cuadro 3, los FST en las tortillas de grano azul/morado variaron de 68.8 ± 4.27 a 82.78 ± 0.93 mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} de muestra seca (MS), en tanto que en la tortilla de maíz blanco el valor de esta variable fue 59.32 ± 2.53 mg EAG 100 g^{-1} MS. Estos valores

During this process, the calcium is fixed differentially in the grain structures, in the pericarp > germen > endosperm order (González *et al.*, 2005). However, much of the pericarp is lost in the cooking and washing water and with it, calcium, so it is possible that maize that retain more pericarp may contain more calcium in their tortillas. In the nixtamalization process, factors such as amount of alkali, cooking time and rest, and rinse intensity affect the tortilla's calcium content (Bressani *et al.*, 2004), making it difficult to objectively compare results with those of other authors.

The values obtained in blue / purple and white grain corn tortillas are lower than the value of 204.9 ± 22.9 mg (%), reported for white corn tortillas by Bressani *et al.* (2004), but similar to the 114.0 mg (%) reported by Figueroa *et al.* (2001) for a white-grain tortilla sample.

The iron content did not present statistical difference ($p > 0.05$) between the analyzed tortillas, while zinc showed differences ($p \leq 0.05$). The highest zinc content was the tortillas of the CHAL breed, the lowest of the EC breeds and the tortillas of the white corn. The iron values in the blue and white tortillas of this study are greater than the 1.55 mg reported by Bressani *et al.* (2004) for white corn tortilla.

The values of zinc obtained in the blue and white tortillas are similar to those indicated by Figueroa *et al.* (2001) for white corn tortillas. Although it has been reported a higher content of iron in blue-grain maize, in relation to white or yellow grain maize (Bodi *et al.*, 2008) in the blue-purple tortillas analyzed, the content of this mineral was equal ($p > 0.05$) than that of white-grain tortillas.

Since the iron content in the corn tortilla is not affected by the conditions of the nixtamalization process (Bressani *et al.*, 2004), the differences can be attributed to the environmental effect and the genetics of maize. The concentration of micronutrients (Fe and Zn) in maize grain is strongly influenced by the production environment, particularly soil type (Field *et al.*, 2005). Since this information is not available for the maize populations analyzed, it is difficult to determine the cause of the differences observed for the Zn content. An objective comparison of the effect of genetics on micronutrient content in corn tortilla requires grain of cultivars grown in the same environment. In the case of native populations, this requirement is made difficult by the limited adaptation they have.

son superiores a los De la Parra *et al.* (2007) para tortilla de maíz de grano azul (39.1 ± 1.5 mg EAG 100 g^{-1} MS) y de grano blanco (47.2 ± 1.8 mg EAG 100 g^{-1} MS). Entre los principales compuestos fenólicos identificados en la fracción de FST se citan los ácidos ferúlico y p-cumarico (De la Parra *et al.*, 2007), además de cianidina 3-glucósido (Salinas *et al.*, 2003).

El mayor valor numérico se presentó en las tortillas de la raza EC, en tanto que el menor lo tuvieron las tortillas de la raza BOL. Debido a la elevada variabilidad en el contenido de FST entre las dos poblaciones de la raza CHAL, no se apreciaron diferencias significativas para esta variable entre las tortillas de las tres razas. El menor valor de FST se presentó en las tortillas del maíz de grano blanco.

Cuadro 3. Contenido de fenoles solubles totales, antocianinas totales y actividad antioxidante en tortillas de poblaciones de maíz con grano azul/morado y un maíz de grano blanco.

Table 3. Total soluble phenol content, total anthocyanins and antioxidant activity in tortillas of blue/purple grain maize populations and a white-grain maize.

Tortillas	FST	CAT	Capacidad antioxidante (CA)	
			DPPH	ABTS
CHAL	78.18 ± 11.84 ab	28.27 ± 1.1 8b	44.8 ± 0.49 a	33.29 ± 2.03 a
EC	82.78 ± 0.93 a	32.66 ± 4.02 a	35.09 ± 2.64 b	32.07 ± 2.38 a
BOL	68.8 ± 4.27 bc	14.74 ± 0.99 c	29.6 ± 1.64 c	29.13 ± 2.38 a
H-40	59.32 ± 2.53 c	1.83 ± 0.63 d	19.24 ± 0 d	15.17 ± 2.6 b
DMS	11.1	2.3	4	6

DMS= diferencia mínima significativa; FST= fenoles solubles totales (mg equivalentes de ácido gálico 100 g^{-1} de muestra seca); CAT= contenido de antocianinas totales (mg equivalentes de cianidina 3-glucósido 100 g^{-1} de muestra seca); DPPH= porcentaje de DPPH reducido. ABTS= micromoles equivalentes de Trolox g^{-1} de muestra seca.

Dentro de los diferentes productos a base de cereales, a los que la población mexicana tiene acceso, se encuentran el pan y la tortilla de harina, además de la tortilla de maíz. La tortilla de maíz de grano azul morado tiene en promedio 50% más FST que el pan blanco (37 mg equivalentes de ácido ferúlico 100 g^{-1} MS, (Menga *et al.*, 2010) y que la tortilla de harina de trigo (16.88 ± 0.3 mg equivalentes de ácido ferúlico 100 g^{-1} MS, (Anton *et al.*, 2008). Un mayor contenido de FST en el CAT de las tortillas de maíz de las razas CHAL y EC fue mayor que las de BOL, en maíz de grano blanco (H-40) el contenido fue marginal. El CAT en la tortilla de maíces de grano azul/morado se ve grandemente influenciado por el contenido de antocianinas en el grano. El grano de poblaciones de maíz de CHAL y EC tiene mayor contenido de antocianinas que BOL (Salinas *et al.*, 2012), y este patrón de comportamiento se conservó en las tortillas de maíz obtenidas bajo el método tradicional de nixtamalización.

Total soluble phenols (FST), anthocyanins and antioxidant activity in tortilla

According to Table 3, FST in blue/purple grain tortillas ranged from 68.8 ± 4.27 to 82.78 ± 0.93 mg gallic acid equivalent (EAG) 100 g^{-1} dry sample (MS), while in the omelet of white maize the value of this variable was 59.32 ± 2.53 mg EAG 100 g^{-1} MS. These values are superior to those reported by De la Parra *et al.* (2007) for blue-grain corn tortilla (39.1 ± 1.5 mg EAG 100 g^{-1} MS) and white grain (47.2 ± 1.8 mg EAG 100 g^{-1} MS). Among the main phenolic compounds identified in the FST fraction are ferulic and p-coumaric acids (De la Parra *et al.*, 2007), as well as cyanidin 3-glucoside (Salinas *et al.*, 2003).

The highest numerical value was presented in tortillas of the race EC, while the smaller one had the tortillas of the race BOL. Due to the high variability in FST content between the two populations of the CHAL breed, no significant differences were found for this variable among tortillas of the three races. The lowest value of FST was presented in tortillas of white corn.

Among the different cereal products to which the Mexican population has access, are bread and flour tortilla, as well as corn tortilla. The purple-blue corn tortilla has on average 50% more FST than white bread (37 mg ferulic acid equivalents 100 g^{-1} MS, (Menga *et al.*, 2010) and that the wheat flour tortilla (16.88 ± 0.3 mg ferulic acid equivalents 100 g^{-1} MS, (Anton *et al.*, 2008). The CAT of the tortillas of the CHAL and EC breeds was higher than those of BOL, whereas the content of the white grain maize (H-40) was marginal. The CAT in the blue/purple grain corn tortilla

De acuerdo a los resultados obtenidos con el método DPPH, la capacidad antioxidante de las tortillas de grano azul morado fue en el orden CHAL>EC>BOL>H-40; con el método de ABTS no se observó diferencia de CA entre las tortillas de las razas CHAL, EC y BOL, pero sí entre éstas y las tortillas del maíz de grano blanco. Las diferencias en los resultados de los dos métodos se pueden atribuir a la sensibilidad diferencial de los fenólicos presentes en el extracto a los radicales libres de cada método (Alam *et al.*, 2013).

La mayor AA en las tortillas de grano azul/morado en relación al grano blanco, observada bajo los dos métodos utilizados se atribuye a las antocianinas, ya que los ácidos fenólicos son comunes en las tortillas de ambos colores de grano. Durante la nixtamalización una gran cantidad de las antocianinas del grano se pierde por la acción del álcali y la elevada temperatura (Salinas *et al.*, 2003; De la Parra *et al.*, 2007). La antocianina predominante en la tortilla es cianidina 3-glucósido, ya que las de tipo acilado predominantes (cianidina 3-(6' malonilglucósido y cianidina 3-(3'6' dimalonil glucósido) pierden su radical acilo que está esterificado al azúcar y se convierten en cianidina 3-glucósido.

Conclusiones

Se presentaron diferencias estadísticas significativas en la composición química de las tortillas elaboradas a partir de los diferentes maíces. Sin embargo, en su composición mineral, únicamente se observó diferencia significativa para el contenido de zinc, que fue mayor en las tortillas de la raza CHAL. La actividad antioxidante de las tortillas de grano azul morado evaluada mediante el método de DPPH, fue diferente entre razas, no así con el método de ABTS, que no reportó diferencias. La actividad antioxidante de la tortilla de maíz de grano blanco usada como referencia, fue menor que la de las tortillas de grano azul morado. De acuerdo con estos resultados, las tortillas de grano azul morado son una mejor fuente de antioxidantes que la tortilla blanca, pero en su aporte de minerales, únicamente en el contenido de zinc se presentan diferencias.

Literatura citada

Alam, M. N.; Bristi, N. J. and Rafiqzaman, M. 2013. Review on in vivo and *in vitro* methods evaluation of antioxidant activity. Saudi Pharmaceutical Journal. 21(2):143-152.

is influenced by the anthocyanin content in the grain. The grain of CHAL and EC populations has higher anthocyanin content than BOL (Salinas *et al.*, 2012), and this pattern was conserved in tortillas obtained under the traditional nixtamalization method.

According to the results obtained with the DPPH method, the antioxidant capacity of the purple blue grain tortillas was in the order CHAL> EC> BOL> H-40; with the ABTS method, there was no difference in CA between tortillas of the CHAL, EC and BOL races, but between tortillas and white corn tortillas. The differences in the results of the two methods can be attributed to the differential sensitivity of the phenolics present in the extract to the free radicals of each method (Alam *et al.*, 2013).

The highest AA in blue/purple grain tortillas in relation to white grain, observed under the two methods used is attributed to anthocyanins, since phenolic acids are common in tortillas of both grain colors. During the nixtamalization a large quantity of the anthocyanins of the grain is lost by the action of the alkali and the high temperature (Salinas *et al.*, 2003; De la Parra *et al.*, 2007). The predominant anthocyanin in the tortilla is cyanidin 3-glucoside, since the predominant acylated type (cyanidin 3-(6'-malonylglucoside and cyanidin 3-(3'6' dimalonil glucoside) lose their acyl radical which is esterified to sugar and converted to cyanidin 3-glucoside.

Conclusions

There were statistically significant differences in the chemical composition of tortillas made from different maize. However, in its mineral composition, only a significant difference was observed for the zinc content, which was higher in tortillas of the CHAL breed. The antioxidant activity of the purple blue grain tortillas evaluated by the DPPH method was different among breeds, but not with the ABTS method, which reported no differences. The antioxidant activity of the white grain corn tortilla used as a reference was lower than that of the purple blue grain tortillas. According to these results, purple-blue tortillas are a better source of antioxidants than white omelet, but in their contribution of minerals, only differences in zinc content occur.

End of the English version



- Anton, A. A.; Ross, K. A.; Lukow, O. M.; Fulcher, R.G. and Arntfield S. D. 2008. Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. *Food Chemistry*. 109 (1):33-41.
- AOAC. 1998. Official methods of analysis of AOAC international. Association of Official Analytical Chemists, Maryland.
- Bressani, R.; Turcios, J. C.; Colmenares, A. S. and Palacios de Palomo, P. 2004. Effect of processing conditions on phytic acid, calcium, iron, and zinc contents of lime-cooked maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(5):1157-1162.
- Bodi, Z.; Pepo, P.; Kovacs, A.; Szeles, E. and Gyori, Z. 2008. Macro- and microelement contents of blue and red kernel corns. *Cereal Research Communications*. 36 (1):147-155.
- De la Parra, C; Serna-Saldivar, S. O. and Liu, R. H. 2008. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 (10):4177-4183.
- Del Pozo, I. D.; Brenes, C. H.; Serna-Saldivar, S. O. and Talcott, S. T. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*. 39 (6):696-703.
- Del Pozo, I. D.; Serna-Saldivar, S. O.; Brenes, C. H. and Talcott, S. T. 2007. Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chemistry*. 84 (2):162-168.
- ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares). 2012. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2010/ncv/default.aspx>.
- Fernández-Muñoz, J. L.; Rojas-Molina, I.; González-Dávalos, M. L.; Leal, M.; Valtierra, M. E.; San Martín-Martínez, E. and Rodríguez, M. E. 2004. Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry*. 81(1):65-69.
- Fiel, B.; Moser, S.; Jampatong, S. and Stamp, P. 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science*. 45 (2): 516-523.
- Figueroa, C. J. D.; Acero G. M. G.; Vasco M. N. L.; Lozano G. A.; Flores A. L. M. y González, H. J. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 51(3):293-302.
- Fox, G. and Manley, M. 2009. Hardness methods for testing maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (13):5647-5657.
- González, R.; Reguera, E.; Figueroa, J. M. and Sánchez-Sinencio, F. 2005. On the nature of Ca binding to the hull of nixtamalized corn grains. *LWT-Food Science and Technology*. 38(2):119-124.
- Harborne, J. B. and Williams, C. A. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*. 55 (6):481-504.
- Hernández-Urbe, J. P.; Agama-Acevedo, E.; Islas-Hernández, J.; Tovar, J. and Bello-Pérez, L. A. 2007. Chemical composition and *in vitro* starch digestibility of pigmented corn tortilla. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87(13): 2482-2487.
- 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.
- Jones, J. B. and Case, V. W. 1990. Sampling handling and analyzing plant tissue samples. *In: Soil testing and plant analysis*. Westerman, R. L. (ed.). Soil Science Society of America. Madison, WI. 389-427 pp.
- Martínez-Flores, H. E.; Martínez-Bustos, F.; Figueroa, J. D. C. and González-Hernández, J. 2002. Studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *Journal of Food Science*. 67(3):1196-1199.
- McCleary, B. V.; Solah, V. and Gibson, T. S. 1994. Quantitative measurement of total starch in cereal flours and products. *Journal of Cereal Science*. 20 (1):51-58.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objecting color measurements. *HortScience*. 27 (12):1254-1255.
- Menga, V.; Fares, C.; Troccoli, A.; Cattivelli, L. and Baiano, A. 2010. Effects of genotype, location and baking on the phenolic content and some antioxidant properties of cereal species. *International Journal of Food Science and Technology*. 45 (1): 7-16.
- 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 Biology and Medicine*. 26 (9-10):1231-1237.
- Rendon-Villalobos, R.; Bello-Pérez, L. A.; Osorio-Díaz, P.; Tovar, J. and Paredes-López, O. 2002. Effect of storage time on *in vitro* digestibility and resistant starch content of nixtamal, masa and tortilla. *Cereal Chemistry*. 79 (3):340-344.
- Rice-Evans, C. A.; Miller, N. J. and Paganga, G. 1996. Structure antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*. 20 (7): 933-956.
- Sánchez-Madriral, M. Á.; Quintero-Ramos, A.; Martínez-Bustos, F.; Meléndez-Pizarro, C. O.; Ruiz-Gutiérrez, M. G.; Camacho-Dávila, A.; Torres-Chávez, P. I. and Ramírez-Wong, B. 2015. Effect of different calcium sources on the bioactive compounds stability of extruded and nixtamalized blue maize flours. *Journal of Food Science and Technology*. 52 (5): 2701-2710.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 22 (1):161-174.
- Salinas, M. Y.; Martínez, B. F. y Gomez, E. J. 1992. Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 42 (1):59-63.
- Salinas-Moreno, Y.; Martínez-Bustos, F.; Soto-Hernández, M.; Ortega-Paczka, R. and Arellano-Vázquez, J. L. 2003. Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia*. 37(6):617-628.
- Salinas-Moreno, Y.; Salas-Sánchez, G.; Rubio-Hernández, D. and Ramos-Lobato, N. 2005. Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *Journal of Chromatography Science*. 43 (9):483-487.
- 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*. 47(7):815-825.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide, Software version 9.0. Cary, N.C., USA. 4424 p.
- Schuämann, K.; Ettle, T.; Szegner, B.; Elsenhans, B. y Solomons, N. W. 2007. On risks and benefits of iron supplementation recommendations for iron intake revisited. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 21 (3):147-168.
- 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.

- Soler-Rivas, C.; Espín, J. C. and Whichers, H. J. 2000. An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. *Phytochemical Analysis*. 11(5):330-338.
- Torskangerpoll, K. and Andersen, Ø. M. 2005. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. *Food Chemistry*. 89 (3):427-440.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Santiago-Ramos, D.; Salinas-Moreno, Y.; López-Cruz, J.; Ybarra-Moncada, M. C. y Ortega-Corona, A. 2014. Genotipos de maíz (*Zeamays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia*. 48 (2):159-172.
- Vítores, E. M. N. 2001. La producción, transformación y comercialización del maíz (*Zeamays* L.) azul en la zona nororiental del estado de México y sus perspectivas. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACH. 115p.
- Wootton-Beard, P. C. and Ryan, L. 2011. Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Research International*. 44 (10): 3135-3148.
- Yahuaca-Juárez, B.; Martínez-Flores, H. E.; Huerta-Ruelas, J. A.; Vázquez-Landaverde, P. A.; Pless, R. C. and Tello-Santillán, R. 2013. Effect of thermal-alkaline processing conditions on the quality level of corn oil. *Cyta-Journal of Food*. 11 (sup 1):1-7.