



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN AGROINDUSTRIA

**EVALUACIÓN DE VARIEDADES PIGMENTADAS DE MAÍZ PARA LA
PRODUCCIÓN DE ATOLE**

CELESTINO APARICIO MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

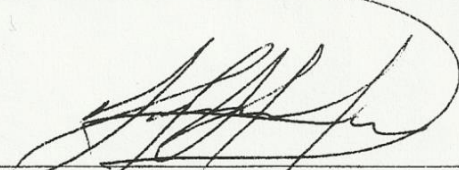
2013

La presente tesis titulada: **Evaluación de variedades pigmentadas de maíz para la producción de atole**, realizada por el alumno **Celestino Aparicio Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA
AGROINDUSTRIA


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



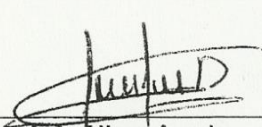
Dr. José Andrés Herrera Corredor

ASESOR:



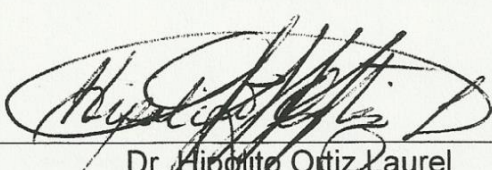
M.C. Mirna López Espíndola

ASESOR:




Dra. Dorá Angélica Avalos de la Cruz

ASESOR:



Dr. Hipólito Ortiz Laurel

ASESOR:



Dr. Otto Raúl Leyva Ovalle

Amatlán de los Reyes, Veracruz, 12 Abril de 2013



Maíz: semilla bendita que da vida, materia con la que los dioses crearon al hombre, alimento que nutre el alma y fortalece al cuerpo, une al espíritu y a la religión con la existencia, motivo de alegría y tradición para el pueblo, cautivante por sus colores, inspiración para el poeta, controversia para la ciencia y misterio para los investigadores. Regalo de nuestra madre tierra. Pasado, presente y esperanza del campesino, legado cultural e identidad de los Mexicanos. El maíz es el cultivo que dio origen y engrandecimiento a los pueblos y culturas de América.

Ing. Celestino Aparicio Martínez, 2013

EVALUACIÓN DE VARIETADES PIGMENTADAS DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ATOLE

Celestino Aparicio Martínez, MT.

Colegio de Postgraduados 2013

El atole es la bebida más representativa y tradicional de México, comúnmente está elaborada a base de maíz pigmentado (*Zea mays* L.), que además de tener un color atractivo y un sabor diferente es más nutritivo que otras variedades de maíz. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades del grano de maíz rojo, azul y blanco, así como sus respectivas harinas en los tratamientos tostado y sin tostar, y el testigo harina comercial (MAIZENA®). Los maíces pigmentados presentan pericarpio delgado y mayor contenido de endospermo suave, esta característica obtenida de acuerdo al índice de flotación, de 99.8% para maíces pigmentados, mientras que el maíz blanco presentó 93.65%; la densidad absoluta de la variedad rojo fue de 1.05 g/mL, la azul 1.12 g/mL y la blanca 1.19 g/mL; respecto al peso hectolítrico las variedades de maíz rojo y azul presentaron en promedio 67.41 kg/hL, en cambio en la variedad de maíz blanco fue de 76.65 kg/hL. En las harinas de maíz pigmentado el índice de absorción de agua osciló entre 2.18 y 2.55 g_{agua}/g_{harina}, en el testigo fue de 1.27 g_{agua}/g_{harina}; el índice de solubilidad fue de 4.45 y 6.5%, significativamente inferior a 23.3% presentado por el testigo. Las harinas de maíz pigmentado tostado mostraron una capacidad de hinchamiento e índice de solubilidad, a una concentración de 7.5%, de 17.98 en la azul y 15.13 mL de agua/g de harina en la rojo, y de 31.4 para la azul y 32.18% en la rojo, respectivamente. Las harinas de maíz pigmentado cuentan con características óptimas para preparar atoles, dado que la densidad y el sabor mostraron muy buena aceptación sensorial.

Palabras clave: *Zea mays* L., propiedades funcionales de harinas, atole.

EVALUATION OF PIGMENTED CORN VARIETIES FOR ATOLE PREPARATION

Celestino Aparicio Martínez, MT.

Colegio de Postgraduados 2013

The atole is the most representative traditional drink of Mexico; it is commonly produced from pigmented corn: *Zea mays* L. Besides having an attractive color and a different taste, atole is more nutritious than other corn varieties. The aim of this study was to characterize the properties of red, white and blue corn kernels and their respective flours in treatments such as roasted and unroasted, and comparing them to a commercial flour identified as control (Maizena®). Pigmented maize contained a higher content of soft endosperm and a thin pericarp, this feature was justified according to the flotation index where pigmented maize showed 99.8% in comparison with the white corn (93.65%). According to the density, the red variety obtained 1.05 g/mL, blue 1.12 g/mL and the white indicated 1.19 g/mL. With respect to test weight, it was found that varieties of maize between red and blue had a mean of 67.41kg/hL. However, for the white variety the result indicated a value of 76.65 kg/hL. The water absorption rate in flours fluctuated in a range of 2.18 and 2.55 g water/g flour, while this index in the control was 1.27 g water/g flour. Corn flour had solubility index values in the range of 4.45 and 6.5% that are significantly lower than the 3.23% of the control. The swelling capacity and the solubility index of pigmented corn flours roasting treatment at a concentration of 7.5%, CH: Blue 17.98 Red 15.13 mL water/g flour; ISA: 31.4 Blue, Red 32.18%. Was determined to be the optimum for atole preparation because the density and taste sensory characteristics were well accepted.

Keywords: *Zea mays* L., functional properties flour, atole.

DEDICATORIAS

A mis padres

Prof. Benito Aparicio Ortega y Sra. Guillermina Martínez Sánchez; por estar a mi lado en todos los proyectos que me he forjado, el agradecimiento eterno por su cariño, apoyo y por inculcarme el valor de la fortaleza, honestidad y respeto, permitiéndome cumplir una meta más.

A mis hermanas Xóchitl, Consuelo, Violeta, Azucena y Esther, mi reconocimiento por motivarme a seguir superándome.

A **Dios**, que siempre me ha guiado por un buen camino.

AGRADECIMIENTOS

Mis respetos y gratitud; al Dr. José Andrés Herrera Corredor por su dedicación, paciencia, comprensión y por compartirme sus conocimientos para realizar esta investigación.

A la Dra. Dora Angélica Avalos de la Cruz, por el apoyo incondicional que me brindó durante todo el proceso de formación y por su constante motivación en mi desempeño dentro de mí recorrido por esta institución.

A mi consejo particular: M.C. Mirna López Espíndola, Dr. Hipólito Ortiz Laurel, Dr. Otto Raúl Leyva Ovalle, por compartirme su tiempo y sus comentarios para mejorar mi investigación.

A la Ing. Laura Roque Maciel, por la dedicación y gran ayuda en la realización de esta investigación.

A la Línea Prioritaria de Investigación 12, Agregación de Valor, del Colegio de Postgraduados, por los apoyos brindados para desarrollar la fase experimental de esta investigación.

A mis compañeros; Evelyn, Víctor, Alex, León, Reynaldo, Diego Luna, Jorge, Diego López, María Luisa, Maited, Lurdes, Verónica, Oscar, Diego García, Yaneth, Cecilia, Denisse, Lucía, Álvaro, Domingo, Imelda, Ana Lilia, Fernando, Luz del Carmen, y a mis demás colegas de la Maestría Tecnológica en Agroindustria, les agradezco su buena amistad.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Historia del maíz	3
2.2 Composición química y valor nutritivo del maíz	4
2.2.1. Composición química de las partes del grano.....	4
2.2.2. Estructura del grano de maíz.....	5
2.3 Consumo y producción de maíz en México	7
2.3.1. Producción de maíz.....	7
2.3.2. Tipos y variedades de maíz.....	7
2.3.3. Tipos de maíz.....	8
2.3.4. Variedades de maíz.....	9
2.3.5. Consumo de maíz en México.....	11
2.4 Producción de maíz azul	14
2.4.1. Beneficios del maíz azul o de color.....	15
2.5 Las antocianinas	16
2.5.1. Antocianinas en maíz pigmentado.....	16
2.5.2. Efectos positivos de las antocianinas sobre la salud.....	20
2.6 Atole	21
2.6.1. Elaboración de atole de harina de maíz sin tostar.....	24
2.6.2. Elaboración de atole de harina de maíz tostado.....	25
3. HIPÓTESIS	26
4. OBJETIVOS	27
4.1 Objetivo General	27
4.2 Objetivos particulares	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS	28
5.1 Material genético	28

5.2 Tratamientos	29
5.3 Caracterización del grano	29
5.3.1. Humedad.....	29
5.3.2. Índice de flotación.....	29
5.3.3. Dimensiones del grano.....	30
5.3.4. Peso de 1000 granos.....	30
5.3.5. Densidad absoluta.....	30
5.3.6. Área de pericarpio.....	31
5.3.7. Peso hectolítrico.....	31
5.3.8. Perfil de absorción de agua.....	31
5.4 Caracterización de harinas	32
5.4.1. Caracterización de color de harinas.....	32
5.4.2. Caracterización de color de atoles.....	32
5.4.3. Actividad de agua.....	32
5.4.4. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad.....	32
5.4.5. Capacidad de hinchamiento e índice de solubilidad.....	33
5.5 Análisis estadísticos	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.1 Caracterización del grano	36
6.1.1. Humedad.....	36
6.1.2. Índice de flotación.....	37
6.1.3. Dimensiones del grano.....	37
6.1.4. Peso de 1000 granos.....	37
6.1.5. Densidad absoluta.....	38
6.1.6. Área del pericarpio.....	38
6.1.7. Peso hectolítrico.....	38
6.1.8. Perfil de absorción de agua.....	39
6.2 Caracterización de las harinas	41
6.2.1. Caracterización de color en harinas.....	41
6.2.2. Caracterización de color en atole.....	46

6.2.3. Comparación entre el color de los atoles con respecto a las harinas.....	51
6.2.4. Actividad de agua.....	56
6.2.5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad.....	57
6.2.6. Índice de solubilidad.....	59
6.2.7. Capacidad de hinchamiento e índice de solubilidad.....	61
6.2.8. Índice de solubilidad.....	64
7. CONCLUSIONES.....	67
8. RECOMENDACIONES.....	68
9. LITERATURA CITADA.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del grano de maíz.....	5
Figura 2. Diagrama de bloques para la elaboración de atole de maíz tostado y sin tostar.....	25
Figura 3. Mapa de localización del lugar de origen del material genético que se utilizó.....	28
Figura 4. Comportamiento del contenido de humedad en variedades de maíz sin tostar y tostado	38
Figura 5. Comportamiento de la absorción de agua en granos de maíz pigmentado.....	41
Figura 6. Valores de L* en harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.....	42
Figura 7. Valores de a* en harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.....	44
Figura 8. Valores de b* en harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.	46
Figura 9. Valores de L* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.....	47
Figura 10. Valores de a* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.....	49
Figura 11. Valores de b* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y MAIZENA®.	50
Figura 12. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de L*.....	52
Figura 13. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de a*.....	54
Figura 14. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de b*.....	55
Figura 15. Comparación de valores de Aw entre harinas de maíz pigmentado y el testigo	57

Figura 16. Índice de absorción de agua de harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y el testigo.	59
Figura 17. Índice de solubilidad de harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y el testigo	61
Figura 18. Capacidad de hinchamiento de harinas de maíz pigmentado sin tostar y el testigo.	63
Figura 19. Capacidad de hinchamiento de harinas de maíz pigmentado tostado y el testigo.....	63
Figura 20. Índice de solubilidad en los atoles de maíz pigmentado sin tostar y el testigo.....	65
Figura 21. Índice de solubilidad de atoles de maíz pigmentado tostado y el testigo.	66

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución ponderal de las principales partes del grano.....	6
Cuadro 2. Composición química proximal de las principales partes del grano de maíz (%).	6
Cuadro 3. Razas de maíz catalogadas en México.....	9
Cuadro 4. Antocianinas identificadas en grano maíz morado y azul.....	17
Cuadro 5. Resultados de la caracterización del grano de las variedades seleccionadas.....	39
Cuadro 6. Separación de medias para los valores de absorción de agua en la comparación tratamientos tiempos.....	40
Cuadro 7. Separación de medias para los valores de L* en la comparación entre harinas de maíz pigmentado y <i>MAIZENA</i> ®.....	43
Cuadro 8. Separación de medias para los valores de a* entre harinas de maíz pigmentado sin tostar, tostado y <i>MAIZENA</i> ®.....	44
Cuadro 9. Separación de medias para los valores de b* entre harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y <i>MAIZENA</i> ®.....	45
Cuadro 10. Separación de medias para los valores de L* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y <i>MAIZENA</i> ®.....	47
Cuadro 11. Separación de medias para los valores de a* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y <i>MAIZENA</i> ®.....	48
Cuadro 12. Separación de medias para los valores de b* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar, tostado y <i>MAIZENA</i> ®.....	50
Cuadro 13. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de L* de las harinas y atoles de maíz pigmentado harinas.....	51

Cuadro 14. Separación de medias para los valores de L^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.....	51
Cuadro 15. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de a^* de las harinas y atoles de maíz pigmentad.....	53
Cuadro 16. Separación de medias para los valores de a^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.....	53
Cuadro17. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de b^* de las harinas y atoles de maíz pigmentado.	54
Cuadro 18. Separación de medias para los valores de b^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.....	55
Cuadro 19. Separación de medias para los valores de A_w de las harinas de maíz pigmentado y el testigo.....	56
Cuadro 20. Comparación de medias del índice de absorción de agua de harinas de maíces pigmentados sin tostar y tostados.....	58
Cuadro 21. Medias del índice de solubilidad de harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado.....	60

I. INTRODUCCIÓN

Entrelazados, imbricados, el maíz y el hombre americano han formado una unión milenaria en nuestro continente. Ha sido, y aún lo es, una simbiosis entre lo humano y lo divino, entre el alimento corporal y el espiritual. Desde siempre forma parte de las expresiones humanas relacionadas con la alimentación, la mitología, lo ceremonial, lo cosmogónico, las expresiones artísticas. Es así que diversas disciplinas de estudios se han ocupado de la milenaria planta para desentrañar sus orígenes, significados, aplicaciones e impacto económico, entre otros. Fue y es estudiada por botánicos, antropólogos, arqueólogos, historiadores del arte, químicos, sociólogos, fitomejoradores, economistas, etc. (Melgarejo, 2006).

La producción de grano de maíz es de gran importancia en la dieta de los mexicanos, a partir de este cereal se elaboran diferentes productos como tortillas, harinas, tamales, una gran variedad de atoles entre otros alimentos, platillos y bebidas.

El atole es una bebida prehispánica mexicana tradicionalmente preparada con maíz, y son alimentos tradicionales incluidos en el desayuno de una gran parte de la población (Contreras *et al.*, 2010). La palabra “atole” proviene del náhuatl *atolli* 'aguado', de *atl* agua y *tol*, diminutivo despectivo, es una bebida preparada por la cocción dulce de maíz en agua, también era preparada a partir de la fermentación de la masa de maíz conocida como atole agrio (Wikipedia, 2012). Se consideraba manjar de los dioses, la forma de preparación de esta bebida ha prevalecido y hoy en día se consume en las fiestas patronales de una forma típica y tradicional, el proceso de elaboración de esta bebida varía dependiendo de la región.

El atole tradicional es preparado de maíz cacahuazintle, principalmente de variedades de maíces pigmentados, pero la producción de este grano es baja en comparación con las variedades de maíces de color claro. En México se cultivan alrededor de 1,500,000 hectáreas de maíz, 85% corresponde a cultivo de temporal, de las cuales aproximadamente una tercera parte de estos productores de maíz en condiciones de temporal cultivan un tercio de su parcela de maíz azul de variedad chalqueña o de otro color, equivalente a una superficie cultivada de 150,000 hectáreas, en las que se

cosechan 300,000 toneladas con un rendimiento de 2 a 3.5 toneladas por hectárea (Antonio, 2004).

Las variedades de maíz pigmentado debido a su atractivo color, conceden grandes beneficios debido a sus propiedades antioxidantes, estas se encuentran en los colores azul púrpura típicos del maíz azul y son poco frecuentes en la naturaleza, y se lo confieren unos pigmentos hidrosolubles conocidos como antocianinas. Gracias a esta capacidad antioxidante, las antocianinas son catalogadas como agentes nutraceuticos, sus efectos benéficos pueden prevenir la proliferación de células cancerígenas, ayudan a la protección contra enfermedades del corazón y prevención del daño a lípidos de alimentos (Cuevas *et al.*, 2008).

No se cuenta con información sobre las características fisicoquímicas del atole de harina de maíz pigmentado, es por ello que se propone la presente investigación sobre evaluación y caracterización de los atoles y harinas de variedades de maíz pigmentado rojo, azul y blanco, a partir de grano íntegro sin tostar y tostado, utilizando como testigo una harina comercial, con el fin de contribuir al estudio de dichos productos de gran aprecio y consumo básico en diversas regiones del país, así como promover su valor nutritivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Historia del maíz

El maíz es uno de los grandes y principales cereales en el mundo, considerado así porque en su producción se constituyeron una de las primeras actividades agrícolas, ayudando a forjar una forma de alimentación constante alrededor de la cual la actividad humana podía organizarse. Estos milenarios y nobles cultivos, como el arroz en Asia y el trigo en Europa, el maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano, las más antiguas civilizaciones de América desde los Hopis en Aridoamérica, Olmecas y Teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los Incas y Quechuas en la región andina de Sudamérica, estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta (Serratos, 2009).

Antes de la conquista de los españoles el maíz se cultivaba desde Chile hasta Canadá. A fines del siglo XV el maíz fue introducido en Europa, donde se convirtió en un factor clave de la alimentación humana y animal. Debido a su gran productividad y adaptabilidad, se extendió rápidamente a lo largo de todo el planeta, hoy en día se cultiva en todos los continentes (Gear *et al.*, 2006).

Existen diferentes teorías con respecto al origen del maíz, una de ellas es, que este cultivo es la evolución del teocintle, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. Gracias a la dotación por medio de carbono 14 realizada sobre espigas de maíz encontradas en yacimientos arqueológicos del Valle de Tehuacán, se encontró que el maíz era consumido en México hace 7000 años. Las mazorcas de aquella época se diferenciaban considerablemente de las que conocemos hoy en día, estas medían entre 3 y 4 cm. de longitud y tenían escasa cantidad de granos cada una. Unos 1000 años después este maíz primitivo ya estaba domesticado. La evolución natural y las capacidades agrícolas de los indígenas precolombinos transformaron progresivamente esas pequeñas mazorcas salvajes en algo más parecido a lo que conocemos actualmente. Son muy pocas las exploraciones arqueológicas y paleontológicas específicas que se han enfocado al análisis del maíz en América, pero diferentes investigaciones aciertan e indican cuatro lugares del origen y domesticación del maíz,

como son las de Tehuacán, Puebla y Oaxaca (Guilá Naquitz) en México, la de Nuevo México (Cueva del Murciélago) en Estados Unidos y algunas más en Guatemala (Serratos, 2009).

Hasta el siglo XX, el maíz se fue mejorando a través de variedades de polinización abierta. Estas variedades fueron evolucionando gracias a la selección realizada por las distintas civilizaciones americanas. Sin embargo, gracias a los avances en el conocimiento de su genética, fue posible desarrollar líneas (genéticamente uniformes) con características particulares, a partir de las cuales los mejoradores lograron obtener semillas híbridas con cualidades superiores (Gear *et al.*, 2006).

2.2. Composición química y valor nutritivo del maíz

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimenticia (SIAP, 2010).

Por su alto contenido de carbohidratos, el maíz se considera una buena fuente de energía; sin embargo, no posee las suficientes proteínas, tanto en calidad como en cantidad, ya que es incompleto en dos aminoácidos esenciales, lisina y triptófano, además es insuficiente en la vitamina niacina y minerales (Hernández, 2008).

2.2.1. Composición química de las partes del grano

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,15%); el endospermo, en cambio,

contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo (SIAP, 2010).

2.2.2. Estructura del grano de maíz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos (FAO, 2010).

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis. Cada grano contiene el revestimiento de la semilla o cubierta seminal así como cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara o salvado; endospermo; germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo), éstas se muestran en la Figura1 (FAO, 2010).

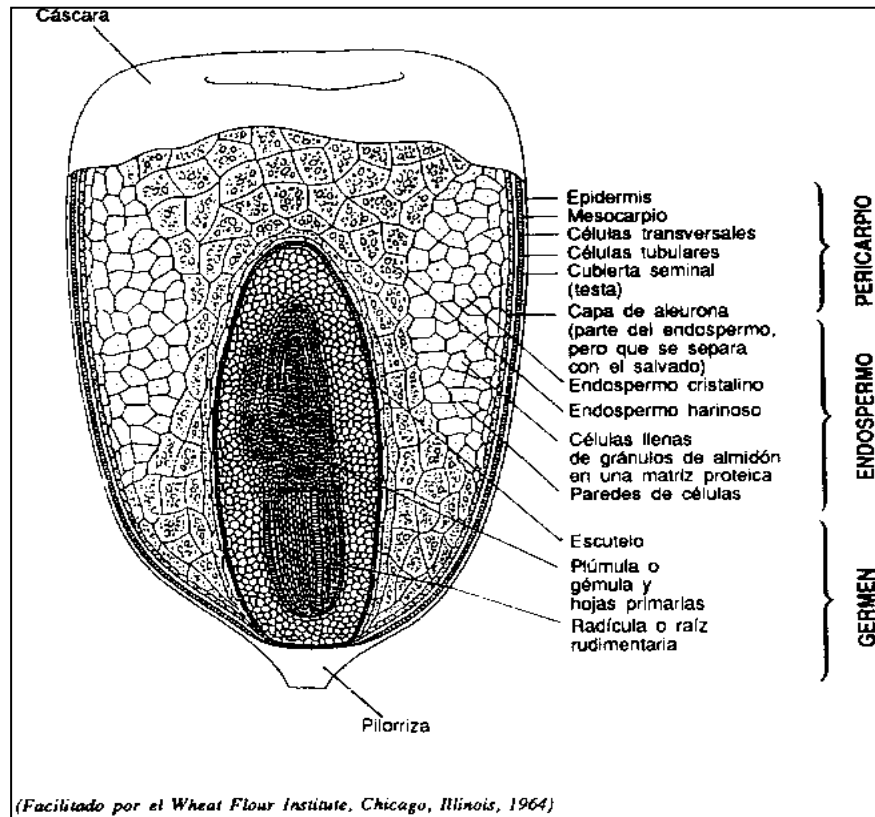


Figura 1. Estructura del grano de maíz (FAO, 2010).

La distribución ponderal de las distintas partes del grano se indica en el Cuadro 1. El endospermo, que es la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83% del peso del grano, en tanto que el germen equivale en promedio al 11% y el pericarpio al 5%. El resto está constituido por la piloriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga (FAO, 2010).

Cuadro 1. Distribución ponderal de las principales partes del grano.

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5 - 6
Aleurona	2 - 3
Endospermo	80-85
Germen	10 - 12

(FAO, 2010).

El germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas (33%) y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales (Cuadro 2). El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo, el de grasas crudas y en menor medida de las proteínas y minerales del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal (SIAP, 2010).

Cuadro 2. Composición química proximal de las principales partes del grano de maíz (%).

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.38	7.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

(SIAP, 2010).

2.3. Consumo y producción de maíz en México

2.3.1. Producción de maíz

En la economía mexicana el maíz es el cultivo más importante, ya que la superficie cultivada con él representa 38.6% del territorio mexicano. Los esfuerzos de la producción nacional se enfocan en la obtención de maíz blanco, que es utilizado en la dieta de los mexicanos. La importancia que tiene el maíz como parte de la dieta alimenticia ha llevado a que este grano se cultive a lo largo y ancho del territorio mexicano (Salinas *et al.*, 2010).

Estados Unidos es el primer productor de maíz a nivel internacional, con 375.7 millones de toneladas. Para el ciclo 2011–2012, México ocupó el 8vo. lugar de producción de maíz en el mundo; 50% la aportan cinco Estados: Jalisco, Estado de México, Sinaloa, Chiapas y Michoacán (Salinas *et al.*, 2010; SE, 2012).

En dicho ciclo hubo pérdidas marcadas provocadas por heladas y sequías, por lo que de 7.8 millones de hectáreas, sólo se cosecharon 5.7 millones de hectáreas, una superficie siniestrada de 1.7 millones de hectáreas, y una producción de 16.4 millones de toneladas con un rendimiento de 2.9 t/ha (INEGI, 2012; SAGARPA, 2012).

En cambio en el año 2010 se cultivaron 7.8 millones de hectáreas en nuestro país, se cosecharon 7.1 millones de hectáreas con una producción de 23.3 millones de toneladas, lo que representó 10.3% de la producción agrícola nacional.

2.3.2. Tipos y variedades de maíz

Todos los maíces pertenecen a la misma especie y los tipos o razas que los diferencian corresponden a una simple clasificación utilitaria, no botánica. Los distintos tipos de maíz presentan una multiplicidad de formas, tamaños, colores, texturas y adaptación a diferentes ambientes, constituyendo numerosas variedades primitivas o tradicionales que son cultivadas actualmente (Gear *et al.*, 2006).

2.3.3. Tipos de maíz

Existen diferentes tipos de maíz en México y están clasificados de la siguiente manera según la FAO (2010).

Maíz Tunicado (*Zea mays túnica* Sturt), es un tipo escaso de maíz, cuyos granos están encerrados en una vaina. La mazorca está cubierta por una envoltura foliar como las de otros tipo de maíz. Normalmente no se cultiva en forma comercial.

Maíz Reventón (*Zea mays everata* Sturt), los granos son pequeños, redondeados, amarillo intenso o anaranjado, o aguzados y blanquecinos. Este maíz es una forma extrema del maíz duro, cuyo endospermo sólo contiene una pequeña parte de almidón blando que se usa para palomitas de maíz e industria confitera.

Maíz Cristalino (*Zea mays indurata* Sturt), sus granos son córneos y duros, vítreos de forma redondeada o puntuda. El color del grano es amarillento o anaranjado y su velocidad de secado comparativamente más lenta.

Maíz Dentado (*Zea mays indenata* Sturt), es el tipo más extensamente cultivado. Se caracteriza por una depresión en la corona del grano. El almidón córneo está acumulado en la periferia del grano, mientras que el blanco o harinoso llega hasta la corona, produciendo el indentado a la madurez.

Maíz amiláceo (*Zea mays amilácea* Sturt), maíz harinoso o amiláceo, algo parecido al maíz cristalino en las características de las planta y de la mazorca. Los granos están constituidos principalmente por almidón blando y son escasamente o no dentados. Es uno de los tipos más antiguos de maíz. Es usado en la fabricación de harinas porque le confiere un color más blanco.

Maíz dulce (*Zea mays saccharata* Sturt), granos con alto contenido de azúcar, de aspecto transparente y consistencia córnea cuando están inmaduros. Al madurar la superficie se arruga. El maíz dulce difiere del dentado por un gen que permite la conversión de parte del almidón en azúcar. Se consume fresco, congelado o enlatado.

Maíz céreo o ceroso (*Zea mays ceritin* Kulesh), granos de aspecto ceroso. El almidón está constituido exclusivamente por amilopectina, mientras que en los otros tipos el

almidón es 73% amilopectina, 27% amilasa. Se cultiva para producir almidón semejante a la tapioca.

2.3.4. Variedades de maíz

En México se producen diferentes variedades de maíz y están catalogadas de la siguiente forma (Cuadro 3), así como la distribución de cada una de ellas por Estado:

Cuadro 3. Razas de maíz catalogadas en México.

Estado	Razas catalogadas de Maíz
Aguascalientes	Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos.
Baja California Sur	Tuxpeño, Tabloncillo Perla.
Campeche	Dzit-Bacal, Nal-Tel, Clavillo.
Chihuahua	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, Palomero, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Tuxpeño Norteño, Azul, Lady Finger, Blandito, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Tehua, Apachito, Maizón.
Chiapas	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo Perla, Dzit-Bacal, Vandeño, Nal-Tel, Tepecintle, Olotón, Zapalote Chico, Zapalote Grande, Clavillo, Comiteco.
Coahuila	Tuxpeño, Celaya, Cónico Norteño, Elotes Occidentales, Tuxpeño Norteño, Tehua.
Colima	Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Vandeño, Jala
Durango	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Pepitilla, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Blandito de Sonora, Blandito, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Tablilla, Tunicata
Guerrero	Tuxpeño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Reventador, Vandeño, Nal-Tel, Pepitilla, Mushito, Tepecintle, Ancho, Conejo.
Guanajuato	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Reventador, Maíz Dulce, Mushito, Fasciado.
Hidalgo	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Dzit-Bacal, Mushito, Cacahuacintle, Arrocillo Amarillo, Olotón, Arrocillo.
Jalisco	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Vandeño, Pepitilla, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, San Juan, Azul, Jala, Zamora, Complejo Serrano de Jalisco.

Cuadro 3. Continuación

Estado de México	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Bolita, Pepitilla, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Ancho, Azul.
Michoacán	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Reventador, Dzit-Bacal, Vandeño, Pepitilla, Maíz Dulce, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Conejo, Zamora.
Morelos	Tuxpeño, Chalqueño, Olotillo, Tabloncillo, Vandeño, Pepitilla, Tuxpeño Norteño, Ancho.
Nayarit	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Vandeño, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, Bofo, Jala, Tablilla de Ocho.
Nuevo León	Tuxpeño, Cónico Norteño, Tabloncillo, Tablilla de Ocho
Oaxaca	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Olotillo, Bolita, Vandeño, Nal-Tel, Mushito, Tepecintle, Olotón, Conejo, Zapalote Chico, Zapalote Grande.
Puebla	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Pepitilla, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Arrocillo
Quintana Roo	Tuxpeño, Olotillo, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Tepecintle.
Querétaro	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Bofo, Onaveño, Fasciado.
Sinaloa	Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Blandito de Sonora, Lady Finger, Onaveño, Chapalote, Harinoso.
San Luis Potosí	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Dzit-Bacal, Harinoso de Ocho. Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Nal-Tel, Harinoso de Ocho, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Blandito de Sonora, Lady Finger, Onaveño, Chapalote.
Sonora	Tuxpeño, Olotillo, Vandeño, Nal-Tel, Zapalote Grande
Tabasco	Tuxpeño, Olotillo, Vandeño, Nal-Tel, Zapalote Grande
Tamaulipas	Tuxpeño, Dzit-Bacal, Carmen.
Tlaxcala	Cónico, Chalqueño, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Arrocillo.
Veracruz	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Pepitilla, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Tepecintle, Arrocillo Amarillo, Olotón, Coscomatepec.

<u>Cuadro 3. Continuación</u>	
Yucatán	Tuxpeño, Olotillo, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Tepecintle, Zapalote Chico, Xmenejal.
Zacatecas	Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Bolita, Maíz Dulce, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Tablilla.

(Serratos, 2009).

En México están catalogadas aproximadamente 59 razas de maíz criollo (Cuadro 3), estas variedades ofrecen una calidad alimenticia y un alto valor nutritivo pero desafortunadamente presentan en su cultivo problemas de bajo rendimiento en su producción debido a enfermedades, acame de raíz y diversos factores climatológicos. En la actualidad se están desarrollando nuevos híbridos con mayor rendimiento y mejores características agronómicas, capaces de resistir enfermedades y plagas. Los avances de la biología molecular y de las técnicas de ingeniería genética abren una nueva etapa en la biotecnología aplicada a la agricultura, ofrecen nuevas tecnologías para la producción de maíz (Gear *et al.*, 2006).

Actualmente es difícil citar a todas las variedades existentes de maíz (criollo, mejorado e híbrido), ya que los nombres cambian según la región del país donde se cultive. Con la introducción de los maíces híbridos y el mejoramiento del cultivo se han aumentado sensiblemente los rendimientos por unidad de producción, además de disminuir las pérdidas por enfermedades. En el mercado existe una gran variedad de semillas mejoradas, desafortunadamente esta tecnología no está al alcance de muchos agricultores, dado que frecuentemente no es posible conseguir una variedad específica que se adapte a una zona o porque su precio es muy elevado (Salinas *et al.*, 2010).

2.3.5. Consumo de maíz en México

El maíz ha sido y continúa siendo el cereal básico en la alimentación de grandes sectores de la población urbana y rural de varios países latinoamericanos, principalmente México y Centro América. El grano de maíz se consume principalmente en forma de tortilla, alimento que se obtiene transformando el maíz crudo por cocción alcalina en un grano cocido (Billeb *et al.*, 2001), a esta operación se le conoce como nixtamalización y es una de las más importantes, en esta ocurren reacciones

bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares, que modifican las características fisicoquímicas estructurales y reológicas tanto de la masa como de la tortilla. El almidón es el componente mayoritario en este cereal, 70% en base seca, el cual proporciona a este alimento cantidades significativas de calorías, proteína y otros nutrientes, beneficiando la dieta de grandes sectores de la población, así como también una adecuada dosificación de calcio a la dieta del consumidor (Billeb *et al.*, 2001; Hernández, 2008).

El maíz es uno de los granos que mayor demanda tiene a nivel mundial. Es utilizado tanto en la dieta humana, alimento forrajero o insumo en la agroindustria. En México 69% del maíz producido es destinado al consumo humano; 20% al sector pecuario, 10% industrialización y 1% a la producción de semillas. El maíz como producto de valor ha evolucionado positivamente a lo largo de su historia, con el paso de los años las industrias vinculadas a la cadena del maíz, se han ido desarrollando en forma progresiva, transformando un grano cuyo único destino era la alimentación humana en una materia prima esencial para el desarrollo de múltiples procesos industriales (Gear *et al.*, 2006; Salinas *et al.*, 2010).

El consumo de maíz se ha transformado en los años recientes por el cambio de la elaboración de tortilla a partir de nixtamal a la forma harinizada. Este proceso se aceleró en los años noventa, produciéndose un cambio estructural en la composición del consumo. En efecto, la demanda urbana aumentó y se diversificó, entonces el consumo alimentario incorporó bienes industrializados en una proporción cada vez mayor. Sin embargo, el consumo de la tortilla continúa siendo una constante en la dieta nacional, y en los últimos años ha aumentado el consumo de maíz industrializado en sus diversas formas, debido a la creciente población provocando que la producción de tortilla se transforme de un proceso tradicional nixtamalizado a la forma harinizada, estimándose que un kilogramo de maíz grano rinde en promedio 1.370 kilogramos de tortilla en el proceso tradicional de nixtamalización, mientras que en la producción de harina rinde 1.650 kilogramos de tortilla. El consumo anual de tortilla en el país asciende a 13.6 millones de toneladas (Massieu *et al.*, 2009); se estima que el consumo per cápita de los mexicanos es de 300 g/día, lo que aporta 56% de las

calorías y 47% de las proteínas de la alimentación; en las áreas rurales estos porcentajes son de 70% y de 56%, respectivamente (Hernández, 2008).

La producción nacional de maíz blanco cubre de manera satisfactoria la demanda de este grano. En varios Estados de la República Mexicana, el cultivo de este cereal constituye el sustento directo de millones de personas, de ahí que más de 50% de la producción nacional de maíz blanco se destina para consumo humano, el cual se ingiere principalmente en forma de tortilla, que se elabora a partir de masa de nixtamal o de harina de maíz nixtamalizada, así como también se utiliza para elaborar atole, tamales, pozole, etc. (SIAP, 2010).

La producción restante de maíz blanco en México se utiliza para la producción de hojuelas de harina de maíz, frituras, botanas y aguardientes para fabricación de bebidas alcohólicas no fermentadas, almidón (fécula de maíz), pastas y sémolas para sopas, mermeladas, confituras, maicena, goma de mascar, relleno de carnes, fabricación de salchichas, espesado de zumos de frutas, refrescos, cervezas y licores. También es utilizado para la elaboración de aceite, el cual tiene un valor nutritivo y es de fácil digestión. Se utiliza así mismo para la fabricación de productos de panadería, mayonesas y margarinas, y los derivados de la industrialización del maíz para hacer pegamentos, además de numerosos usos en la industria farmacéutica, de cosméticos, textiles, de pinturas, papelería, del teñido o tenería de curtido de pieles y petrolera, entre muchas otras; así como para uso del sector pecuario que demanda un consumo total de 15% de maíz blanco (2.1 millones de toneladas) y 85% de maíz amarillo (11.6 millones de toneladas) que en su mayor parte es importado (SIAP, 2010). Este fenómeno de transformación ha avanzado tanto en aquellos países que lo producen en gran cantidad, como el caso de Brasil o Estados Unidos, como en aquellos que deben importarlo para abastecer sus industrias, como el caso de Japón o Corea. Los procesos industriales en torno al maíz son de gran importancia por su capacidad de generación de empleo e inversión, dando origen a desarrollos regionales e innumerables oportunidades de crecimiento y progreso. Esta característica impacta sobre todos los eslabones de la cadena de valor del maíz, desde el desarrollo de ciencia y tecnología hasta el consumidor (Gear *et al.*, 2006).

2.4. Producción de maíz azul

A nivel mundial existen razas de maíz de distintos colores como el blanco, amarillo, rojo, azul y morado. En México se han encontrado una de la diversidad genética más importante de maíz en el mundo, siendo los maíces azules y rojos los más comunes de los pigmentados. Los maíces de color han estado presentes en la mitología, rituales religiosos y en la alimentación de las culturas indígenas de México (Hernández, 2008).

En México los pequeños productores cultivan maíz pigmentado de color rojo, azul, morado y negro en volúmenes bajos que no se registran en las estadísticas oficiales. Sin embargo, estos maíces constituyen parte de la diversidad genética que existe de esta gramínea en el país, donde se han descrito al menos 59 razas, muchas de las cuales corresponden a variantes de grano pigmentado con coloraciones que van desde el negro hasta el rosa pálido (Salinas *et al.*, 2012).

La producción de maíz azul o de color en nuestro país es menor en comparación con la de maíces de color claro, en los Estados ubicados en valles altos del centro de la República Mexicana como son Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México (Antonio *et al.*, 2004).

El maíz azul presenta bajos rendimientos de producción debido al uso de tecnología tradicional y siembra de variedades criollas que disponen los productores. Estas variedades de maíz son vulnerables a enfermedades y a factores climatológicos, y también presentan problemas de acame de raíz (Antonio *et al.*, 2004).

Actualmente algunos productores de este cereal están cultivando híbridos azules como el de las variedades 505Az y 512Az, que se comercializan bajo la marca águila en los estados de Querétaro y Chihuahua, estos híbridos se producen bajo condiciones de riego, mostrando rendimientos promedio de 10 t/ha. En el Estado de México algunos productores están cultivando el criollo mejorado “Negro Carioca”; sin embargo, según la opinión de algunos productores de maíz azul, este criollo mejorado es superado en rendimiento por sus variedades locales de grano azul, resultado de la limitada adaptabilidad que posee (Salinas *et al.*, 2010).

La producción de maíz azul en México es utilizada para consumo humano, principalmente para la elaboración de tortilla, Este grano de color también se consume como atole de masa cocida, atole de grano seco molido o harina de maíz tostado combinado con azúcar, canela y miel, a este producto se le conoce como pinole, el cual se puede consumir sólo como dulce o mezclado con agua. Actualmente el maíz azul se está industrializando debido a que el consumidor que no acostumbraba consumirlo, está adoptando este producto de manera satisfactoria por los beneficios que aporta. Así mismo, se está tratando de fomentar en los agricultores una producción mayor de este cultivo (Antonio *et al.*, 2004).

2.4.1. Beneficios del maíz azul o de color

El grano de maíz pigmentado además de tener un color atractivo y un sabor diferente, es más nutritivo debido a su endospermo harinoso que contiene 2.3 mg/g de lisina, además de tener 20% más proteína y un alto contenido en minerales en comparación de otras variedades como el maíz híbrido amarillo que contiene solo 1.4 mg/g de lisina (Antonio *et al.*, 2004).

El maíz azul contiene un menor índice glucémico (IG), en comparación con el maíz blanco. El IG describe numéricamente la rapidez de absorción de los carbohidratos de un determinado alimento, es decir aumenta la absorción de glucosa en la sangre. Conocer el IG de los alimentos puede resultar útil para controlar la glucemia sanguínea. Debido a que el consumo de un alimento con un bajo contenido de IG puede conseguir que la liberación de la glucosa en la sangre se produzca de manera uniforme a lo largo del día, ya que al consumir alimentos con bajo IG puede ayudar a reducir el riesgo de sufrir enfermedades coronarias y diabetes, además de ayudarnos a mantener un bajo peso (Hernández, 2008).

Otro de los beneficios de los maíces pigmentados aparte de su atractivo color, son las propiedades antioxidantes, que se las confieren unos compuestos denominados antocianinas, quienes le confieren el color azul púrpura típicos del maíz azul, las cuales son poco frecuentes en la naturaleza (Hernández, 2008).

2.5. Las antocianinas

Las antocianinas (del griego *anthos* flor y *kyanos* azul), son el grupo más importante de pigmentos solubles al agua visibles para el ojo humano. Las antocianinas forman parte de la familia de los polifenoles y se definen como flavonoides fenólicos. Los colores rosa, rojo, azul, malva y violeta de las flores, frutas y verduras se deben a la presencia de estos pigmentos. Las antocianinas se localizan principalmente en la piel de frutas como manzanas, peras, uvas, zarzamoras y ciruelas; de flores como la Jamaica y rosas; y verduras como la col morada y maíz morado. Su función es la de atraer seres vivos (principalmente insectos y pájaros) para propósitos de polinización y dispersión de semillas. La diferencia de color entre las frutas, flores y verduras depende de la naturaleza y concentración de antocianinas. Existen factores adicionales que afectan el color, como el pH de la célula, el efecto de copigmentación determinado por la presencia de otros flavonoides, temperatura, luz, etc. (Cuevas *et al.*, 2008).

2.5.1. Antocianinas en maíz pigmentado

La especie *Zea mays* L. es una de las más estudiadas a nivel mundial, ya que por su amplia adaptabilidad se cultiva prácticamente en todo el mundo. No es sorprendente entonces que las antocianinas presentes en su grano hayan sido y continúen siendo objeto de múltiples investigaciones. Sin embargo, pese a estos esfuerzos, hasta ahora no se tiene la identificación del perfil completo de antocianinas en los diferentes colores de grano que se presentan, atribuido en parte a que es mucho más complejo que el de otros cereales como trigo, arroz y cebada (Salinas *et al.*, 2010).

El color de los granos de maíz rojo, azul y púrpura, se debe a las antocianinas derivadas de cianidina y de la pelargonidina contenidas en la capa aleurona o pericarpio, estos pigmentos pertenecen al grupo de los bioflavonoides de los que se han identificado unos 4000 diferentes hasta la fecha. Las antocianinas se mostraron como los más potentes antioxidantes de entre 150 flavonoides diferentes. El color de las antocianinas varía en función del pH y de su estructura, algunas de ellas a pH ácido se muestran de color rojo, a pH básico de color azul y a pH neutro incoloras (Cuevas *et al.*, 2008).

Las Antocianinas del maíz morado son más estables que la enocianina de la uva, a la luz, al calor, y principalmente a los cambios de pH. Las Antocianinas del maíz morado a un pH entre 3 y 3.5 permanecen de un color rojo amarillento, mientras que la enocianina se torna azulada en esa condición (Cuevas *et al.*, 2008).

Las antocianinas simples reportadas para maíz son: cianidina 3-glucósido, pelargonidina 3-glucósido y peonidina 3-glucósido. La primera es común en los maíces de grano azul y morado y las dos restantes en maíces de grano rojo. En el grano de maíz azul-morado las antocianinas identificadas hasta ahora se muestran en el siguiente cuadro (Salinas *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Antocianinas identificadas en grano de maíz morado y azul.

Color de grano	Ubicación del pigmento	Antocianina identificada
Morado	Aleurona	Cianidina-3-glucósido
Azul		Cianidina-3-rutinósido
Morado	Aleurona	Pelargonidina-3-glucósido
Morado		Peonidina-3-glucósido
Morado		Cianidina-3-(6"-malonilglucósido) Cianidinsuccinil glucósido, Pelargonidina-3-(6"-malonilglucósido) Peonidina-3-(6"-malonilglucósido)

(Salinas *et al.*, 2010).

En los granos crudos, el maíz azul contiene un alto contenido de antocianinas (30.7 mg cianidina-3-glucósido/100 g); en comparación con variedades de color rojo, amarillo y blanco que contienen aproximadamente sólo 3.2%, 1.2% y 0.9% respectivamente, de las antocianinas presentes en el maíz azul (Mora *et al.*, 2010).

De acuerdo a la localización de las antocianinas en el grano de maíz, se pueden determinar los diferentes usos del grano. Cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para

la extracción de pigmentos; esta condición la cumplen los maíces de color guinda o rojo intenso. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados. Los maíces con estas características son de color morado, azul o negro. Los granos con pigmento en el pericarpio no son adecuados para la nixtamalización porque con las condiciones de pH alcalino y temperatura elevada, que caracterizan este proceso, las antocianinas son degradadas y adquieren un color café pardo, que se hereda a la masa y productos elaborados con ella (Salinas *et al.*, 2010).

El extracto de maíz pigmentado, en especial el de color morado, puede ser usado en productos ácidos (bebidas y jugos) donde se desee un color rojo. Además del pigmento principal cianidina-3-glucósido, se han encontrado en variedades de maíz morado, pelargonidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido, cianidina-3-maloilglucósido, pelargonidina-3-malonilglucósido y peonidina-3-malonilglucósido), en extractos comerciales de maíz morado y granos del mismo; además cianidina-3-dimalonilglucósido como compuesto minoritario en algunas variedades (Cuevas *et al.*, 2008).

El maíz azul de México, a pesar del contenido de polifenoles totales sensiblemente inferiores; este genotipo mostró una mayor capacidad antioxidante en relación con una variedad azul de Estados Unidos de Norteamérica y el de un genotipo blanco. Por otra parte, los particulares polifenólicos composición de cada genotipo, así como la interacción entre sus componentes, es un factor que probablemente repercutió en sus niveles de capacidad antioxidante (Mora *et al.*, 2010).

El contenido de antocianinas en variedades pigmentadas de maíces criollos nativos del Estado de México, se ha registrado en un rango de 409.5 a 933.8 mg/kg en grano sin germen. Los maíces mejorados presentan en promedio un menor contenido de antocianinas que los maíces criollos o nativos. En genotipos del estado de Puebla y Tlaxcala comparadas con las variedades criollas y mejoradas del Estado de México, no existe diferencia estadística entre el contenido promedio de las muestras analizadas en el Estado de México y Puebla. Las muestras de Tlaxcala presentaron en promedio el menor contenido de antocianinas. La raza Chalqueño de ciclo más largo y con

adaptación a mayores alturas que el Cónico, posee en sus granos un mayor contenido de antocianinas (Salinas *et al.*, 2010).

En variedades de maíz pigmentado del estado de Chiapas, la variedad olotillo fue la que tuvo el mayor número de poblaciones, con predominio de granos con tonalidades morado/azul. La coloración de grano más común fue la azul, seguida de la rojo claro y rojo magenta. En los granos azules el pigmento se localizó en la capa de aleurona presentando mayor contenido de antocianinas totales (CAT) y una mayor actividad antioxidante (AA) o valor nutracéutico, en los granos rojo claro se ubicó en el pericarpio; en los granos rojo magenta se presentó tanto en la capa de aleurona como en el pericarpio mostrando en estos dos últimos un menor contenido de antocianinas (CAT), pero con una elevada actividad antioxidante (AA). En las razas tuxpeñas y vandeño predominaron los granos con proporciones de endospermo vítreo de 50 y 75%, en tanto que en olotillo predominaron los de 25 y 50%. Entre las poblaciones de granos azules, las de la raza olotillo parecen ser las más adecuadas para la elaboración de productos alimenticios, en los que se requiera alta concentración de antocianinas y textura de grano dura (Salinas *et al.*, 2012).

El perfil de antocianinas del grano de maíz azul presenta entre 9 y 11 diferentes antocianinas, entre las que se tienen del tipo no aciladas y aciladas. El porcentaje relativo de cada tipo puede cambiar de acuerdo a la raza de la cual provenga el material y el sitio de cultivo. El porcentaje de antocianinas aciladas es mayor 50% del total y en algunos maíces como el derivado de la raza Chalqueño llega a ser de hasta 83.3%. El perfil de antocianinas en los maíces de grano azul está determinado por el tono de color del mismo y no se ve influenciado por la raza a la cual pertenece. Entre las antocianinas no aciladas del grano de maíz azul destacan cianidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido; las aciladas son los derivados mono y diacilados de estas antocianidinas. Los porcentajes relativos de estas antocianidinas varían según la raza de maíz que se trate, pero en general son: 90% cianidina, 6-8% pelargonidina y alrededor de 2% para peonidina. Si el grano es morado, estos porcentajes cambian, reduciéndose la proporción de cianidina e incrementándose las de pelargonidina y peonidina (Salinas *et al.*, 2010).

2.5.2. Efectos positivos de las antocianinas sobre la salud

Las antocianinas poseen conocidas propiedades farmacológicas utilizadas para la terapia de un amplio espectro de enfermedades. Las investigaciones realizadas con extractos de vitisviniferaricos en antocianinas, han mostrado que disminuyen la fragilidad y permeabilidad capilar; también disminuyen efectos antiinflamatorios y actividad antiedema. Además tienen la propiedad de proteger los vasos sanguíneos del daño ocasionado por los altos niveles de azúcar en la diabetes.

Las antocianinas protegen de muchas maneras: primero, neutralizan las enzimas que destruyen el tejido conectivo; segundo, su capacidad antioxidativa previene los oxidantes del tejido conectivo dañado; finalmente, reparan proteínas dañadas en las paredes de los vasos sanguíneos ayudando a controlar las reacciones alérgicas. Por otro lado, se ha observado que su potencial antioxidante va en contra de radicales superóxidos y peróxidos de hidrógeno a través de numerosos mecanismos, por ejemplo, la cianidina, protege la membrana celular de lípidos de la oxidación por una variedad de sustancias peligrosas. La cianidina es un antioxidante 4 veces más fuerte que la vitamina E. La pelargonidina protege el radical amino de la tirosina del peroxinitrilo, antioxidante altamente reactivo. Por otro lado, la delfinidina interfiere con el radical hidroxil, uno de los oxidantes del cuerpo humano.

La capacidad antioxidante se relaciona con el número de grupos –OH que presenten y el lugar de la sustitución. Cuando se ingieren, las antocianinas son destruidas en parte por la flora intestinal y las que son absorbidas se eliminan por la orina y la bilis, con previas transformaciones. Gracias a esta capacidad antioxidante, las antocianinas son catalogadas como agentes nutraceuticos. Varios trabajos reportan sus efectos benéficos al prevenir la proliferación de células cancerígenas, protección contra enfermedades del corazón y prevención del daño a lípidos de alimentos (Cuevas *et al.*, 2008).

2.6. Atole

El atole es la bebida más representativa y tradicional de México, es una cocción dulce de maíz en agua, en proporciones tales que al final de la cocción tenga una moderada viscosidad, se sirve lo más caliente posible. Esta bebida de origen prehispánico, tradicionalmente preparada con maíz; sin embargo, cereales como el arroz y el amaranto también han sido usados para la elaboración de atole, los cuales son alimentos tradicionales incluidos en el desayuno de una gran parte de la población. Al origen, estas bebidas eran preparadas por los aztecas (Contreras *et al.*, 2010; Osorio *et al.*, 2012).

La palabra “Atole” proviene del náhuatl *atolli* 'aguado', de *atl* agua y *tol*, diminutivo despectivo, conocido también como atol en algunas regiones; esta bebida es consumida principalmente en México, Guatemala, Honduras y otros países de Centroamérica.

Los aztecas preparaban el atole simplemente hirviendo masa de maíz hasta espesar, condimentada con cacao, chiles y miel de abeja, ya que para la época no conocían otro endulzante. Hernán Cortés en sus *Cartas de Relación* lo distinguía como una bebida muy energética, este estilo de atole no fue de particular gusto para los españoles, por lo que fue modificado agregándole leche o simplemente agua, uno de los más tradicionales es el llamado champurrado, el cual se bate vigorosamente para darle una consistencia espumosa; otro similar es el simple o blanco, preparado sólo con agua y masa de maíz. En la época colonial era común darse como comida, para lo cual se le endulzaba con piloncillo (Wikipedia, 2012).

En varias regiones de México el atole es una bebida tradicional, principalmente el atole agrio de maíz morado, que es preparado en agua a base de masa de maíz fermentada acompañada con habas o con cacahuete dependiendo de la región. En la época prehispánica al atole agrio se consideraba manjar de los dioses, la forma de preparación de esta bebida ha prevalecido y hoy en día se consume en las fiestas patronales de una forma típica y tradicional. Su elaboración varía dependiendo de la región (*cultura popular*).

En el municipio de Ixtenco, Tlaxcala, pueblo de origen Otomí, el atole agrio de maíz morado es típico ya que está representado en su nombre y en sus tradiciones. La palabra **Ixtenco** proviene del vocablo Otomí **Ixt'eingo**: **Ix**=agrio, **t'ei**=atole, **ngo**=fiesta. Esta palabra en la lengua madre es **Ni ts'irlxt'ëNgm'egingo** que significa "se toma atole agrio en las fiestas".

La elaboración de tan succulento manjar (atole agrio) debe ser a partir de maíz pigmentado de color negro o morado, variedad de la que resulta un olote morado. Esta variedad es producida en Ixtenco, así como muchas otras diferentes variedades de maíz pigmentado, como son la azul, azul claro, rojo, rosa, gatito rojo, cacahuazintle, crema, amarillo criollo, blanco, rabo morado y rabo colorado. Las variedades de maíz pigmentado en su mayoría son utilizadas también para hacer artesanías, como cuadros de diferentes paisajes, personajes religiosos y héroes nacionales, así como alfombras para adornar la fiesta anual en honor al Santo Patrón San Juan Bautista celebrada el 24 de junio, fecha en la que es típico tomar atole agrio (inf. H. Ayuntamiento. Mpal. Ixtenco, Tlax.).

La producción de maíz pigmentado en dicho municipio es muy importante, ya que es destinado en proporción representativa para la producción de harina para atole, la cual se distribuye en la región; así como para sus tradiciones artesanales y culinarias. Los ejidos de Ixtenco productores de maíz suman una superficie de 9000 hectáreas, con un rendimiento promedio de 3 toneladas por hectárea, las principales variedades cultivadas son: 3% de maíz azul, 1% de maíz Rojo, 1% de maíz negro o morado, 10% de maíz amarillo, 10% de maíz cacahuazintle y 75% de maíz blanco.

Hoy en día el atole se le puede encontrar como fórmula lista para hacer, a base de sémola de maíz, trigo o arroz, de las variantes conocidas son las preparaciones a base de arroz o trigo, los cuales tienen una aplicación más enfocada a su uso medicinal, como el atole de arroz en agua, con canela y azúcar, que sirve para estabilizar y dar líquidos al paciente que padece deshidratación. Recientemente el amaranto ha sido utilizado para elaborar este tipo de alimentos, siendo que el consumo de amaranto se

ha asociado a la prevención de problemas cardiovasculares, de diversos tipos de cáncer, de colesterol alto, antihipertensivo, entre otros (Contreras *et al.*, 2010).

El atole tradicionalmente se endulza con piloncillo, azúcar o miel. También suele prepararse con leche en lugar de agua. En la actualidad se le puede encontrar con muchos sabores como son: fresa, vainilla, chocolate, guayaba, piña, zarzamora, ciruela, mango, coco, canela, nuez, etc. (Wikipedia, 2012).

La forma más común de preparar atole es a partir de harina o polvo de maíz disuelto en agua o leche caliente hasta obtener una adecuada consistencia. El polvo o harina se obtiene a través de la molienda del grano, el maíz utilizado debe de ser de endospermo harinoso como el cacahuazintle blanco y principalmente los de color rojo, azul y negro; el maíz puede ser tostado para dar un mejor sabor o simplemente maíz sin tostar. Esta bebida es habitual y relativamente fácil de encontrar a la venta en comercios y en las calles de varias ciudades de México, especialmente por las mañanas (Wikipedia, 2012).

2.6.1. Elaboración de atole de harina de maíz sin tostar

Atole: se define como una bebida consistente a base de harina de maíz o de otros cereales, disuelta en agua o leche, a la que se pueden agregar saborizantes y edulcorantes.

Recepción de materia prima: se recibe el grano de maíz en buen estado, libre de plagas.

Limpieza del grano: cuando el grano viene del campo en buenas condiciones, se pasa directamente a la etapa de limpieza, utilizando para ello la máquina más común que es la cribadora-ventiladora. Como su nombre lo indica, su funcionamiento se basa en el movimiento oscilatorio de cribas o zarandas, combinados con corrientes de aire originadas por ventiladores estratégicamente ubicados.

Una manera común utilizada por los productores, por medio de transportadores de tornillo sinfín vertical, llevan el grano a una altura dejándolo caer y por acción del viento se retiran tamo y otras sustancias de menor peso como tierra y basura, el grano cae en zarandas o cribas con perforaciones circulares en donde se separa el maíz de materias extrañas no deseables como piedras, hojas, polvo y otros objetos ajenos.

Molienda: el maíz limpio se muele en molino de turbina a través de una malla con tamaño de tamiz de 0.5 mm. Con el fin de obtener harina con un tamaño de partícula apropiada para una adecuada preparación. El objetivo de la molienda es obtener el máximo de harina a partir del endospermo harinoso del grano

Envasado: el objetivo de envasado es mantener el producto en condiciones inocuas para darle una mayor vida de anaquel, con el fin de garantizar la conservación en condiciones de manipuleo y transporte. La harina de maíz se puede envasar en bolsas de celofán.

Preparación: se toman 75 g de harina de maíz y se disuelven en 1 L de agua, posteriormente se adiciona azúcar y se calienta a temperatura de ebullición por 20 min con agitación constante.

2.6.2. Elaboración de atole de harina de maíz tostado

Las primeras etapas son como se describió en el punto anterior, hasta la limpieza del grano, posterior a la cual se realiza el tostado.

Tostado de maíz: el grano de maíz es sometido a tratamiento térmico en hornos o tostadores, a una temperatura de 190.5°C , éste debe dorarse ligeramente, con el fin de dar un sabor diferente a la harina. Este tratamiento térmico también tiene la finalidad de destruir aflatoxinas en el grano.

Las siguientes etapas son similares a las descritas en el apartado anterior.

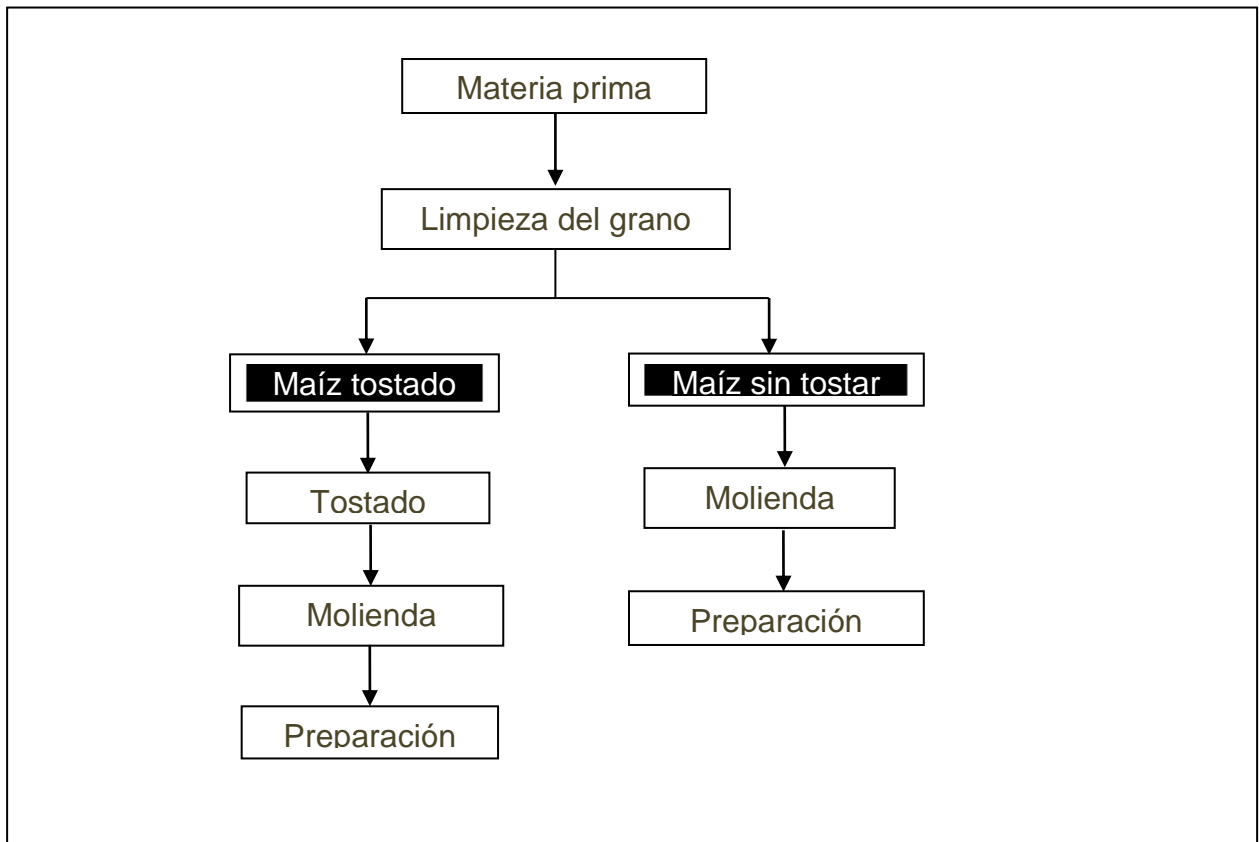


Figura 2. Diagrama de bloques para la elaboración de atole de harina de maíz tostado y sin tostar.

3. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis General

Las propiedades de maíces seleccionados rojo, azul y blanco, las harinas derivadas de estos granos sin tostar y tostados, y los atoles preparados a partir de éstas, presentan características físicas y químicas, así como propiedades funcionales y de aceptabilidad, mejores que aquellas derivadas de harinas de marca comercial.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de variedades de maíz pigmentado y de sus harinas, y las características conferidas a los atoles.

4.2. Objetivos particulares

- Caracterizar y comparar los granos de variedades de maíz blanco, rojo y azul seleccionados para el estudio.
- Caracterizar las harinas y atole de las variedades de maíz rojo, blanco y azul en dos presentaciones: tostado y sin tostar, utilizando el atole de harina comercial como referencia.
- Determinar los cambios físicos que sufren las harinas y los atoles de granos de maíz pigmentado cuando se someten a un tratamiento de tostado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material genético

Se utilizaron tres variedades de maíz de la junta auxiliar de Máximo Serdán, municipio de Rafael Lara Grajales, Puebla, México, ubicado en las coordenadas: 19°13'35.79"N y 97°47'56.12" O con una altitud de 2381 msnm. Este poblado situado en la región que comprenden municipios de Tlaxcala y Puebla, donde aún se conserva la preparación de diferentes tipos de atole a partir de granos pigmentados, tales como el atole agrio. Se seleccionó una variedad de color rojo, una de color azul y una de color blanco. Se utilizó un testigo de marca comercial *MAIZENA*® como referencia.

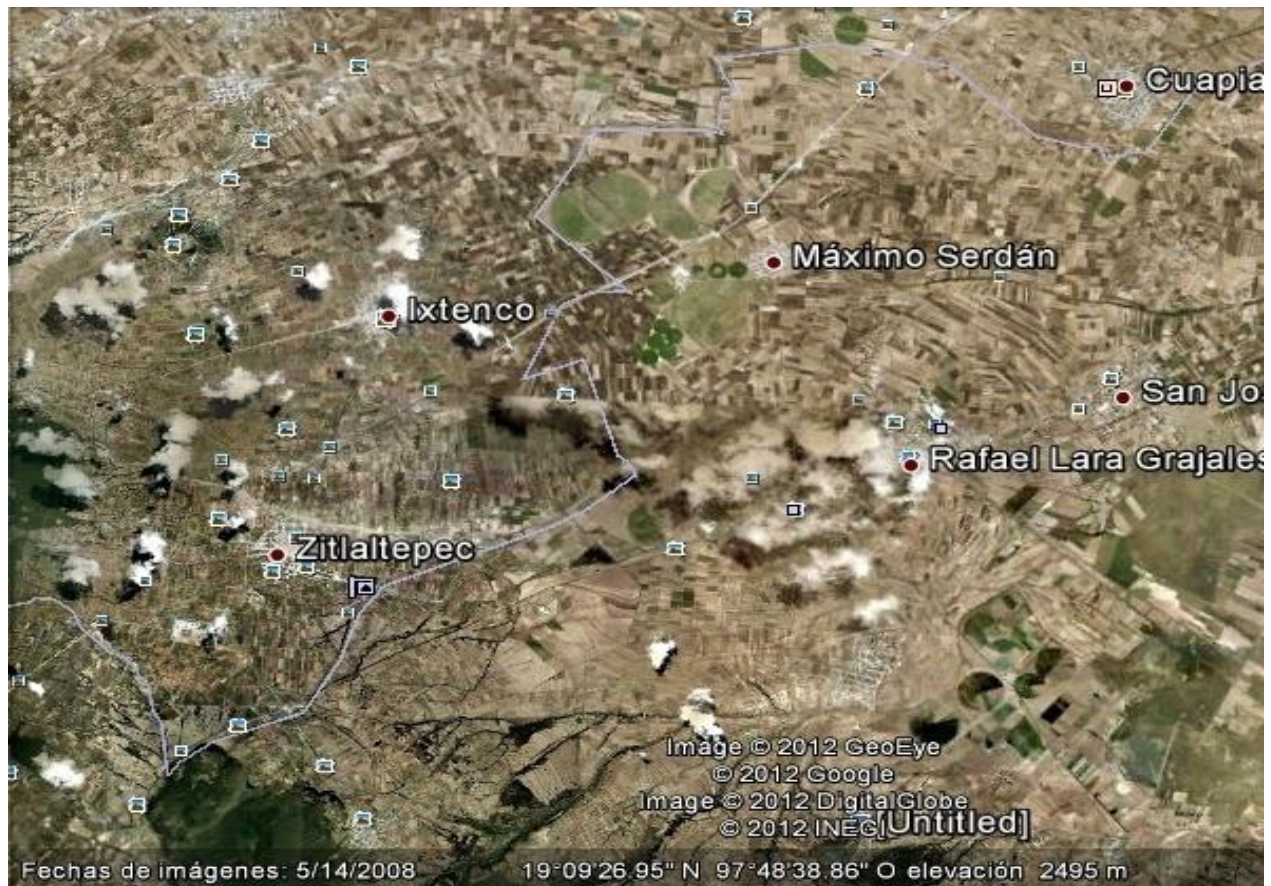


Figura 3. Mapa de localización del lugar de origen del material genético de variedades de maíz blanco, rojo y azul. Fuente: Google Maps, 2008.

5.2. Tratamientos

Se utilizaron dos tratamientos: sin tostar y tostado. Las harinas para los tratamientos sin tostar se prepararon con granos secos de las variedades seleccionadas utilizando un molino manual de discos de hierro para reducir el tamaño de partícula y finalmente un molino ciclónico modelo 3010-030 (UDY Corporation, 201 Rome Court, Fort Collins, Co 80524), con malla 0.5 mm. Para las harinas de los tratamientos tostados previamente se colocó 1 kg de granos secos de las variedades seleccionadas en charolas de aluminio y se sometieron a un tostado por 17 min a 190.5°C utilizando un horno de convección eléctrico modelo HEC5 (HOBART 701 S Ridge Avenue, Troy, OH 45374), seguido por un periodo de enfriamiento de 24 h a temperatura ambiente. La obtención de la harina se realizó con el mismo procedimiento utilizado para los tratamientos sin tostar mencionados anteriormente. Las harinas de cada uno de los tratamientos se conservaron en bolsas Ziploc® previo al análisis. Adicionalmente se utilizó fécula de maíz comercial para atole como testigo.

5.3. Caracterización del grano

5.3.1. Humedad

La determinación de humedad se realizó colocando 1 g de harina de maíz de cada una de las variedades seleccionadas en una charola de aluminio y posteriormente en un determinador de humedad AND MX-50 (A&D Company, Limited. 3-23-14 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 JAPAN). El perfil de calentamiento del determinador de humedad se ajustó a una temperatura constante de 105°C por 5 min. La determinación se realizó por triplicado para cada tratamiento.

5.3.2. Índice de flotación

El índice de flotación se realizó por la técnica descrita por Wichser (1961). Se preparó una solución saturada de nitrato de sodio (Fermont, Productos Químicos Monterrey. Mirador 201, Col. Mirador, Monterey N.L. Mex.) , pesando 178 g de nitrato de sodio en 250 ml de agua destilada. La densidad de la solución se ajustó a 1.274 g/cm³ con agua destilada o nitrato de sodio según se requiriera, utilizando un densímetro. La solución se transfirió a un vaso de precipitados de 500 ml y se colocaron 100 granos de cada

variedad de maíz. Finalmente se contó la cantidad de granos que flotaron. La determinación se realizó en 5 ocasiones para cada variedad.

5.3.3. Dimensiones del grano

El tamaño de grano se determinó midiendo las dimensiones físicas del grano: largo, ancho y grosor. La medición se realizó utilizando un calibrador digital tipo Vernier Código 14388 clave CALDI-6MP (Truper S.A. de C.V. Miguel de Cervantes Saavedra No. 67, Col. Granada. C.P. 11520. México, D.F.). Las mediciones se registraron en mm y cm. Para esta prueba se realizaron 10 repeticiones por cada variedad de maíz.

5.3.4. Peso de 1000 granos

Para la determinación del peso de 1000 granos se contó manualmente 100 granos de cada variedad y se pesaron en una balanza granataria digital modelo Scout® Pro (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ 07058, USA). El resultado se multiplicó por 10. Se realizaron 5 repeticiones para cada variedad.

5.3.5. Densidad absoluta

La densidad absoluta de los granos de maíz se determinó utilizando el método reportado por Kniep y Mason (1989). Se pesó una probeta de 250 ml vacía con una balanza granataria digital modelo Scout® Pro (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ 07058. USA). Enseguida se colocaron granos de maíz hasta la marca de 230 ml y se registró el peso. Finalmente se agregó alcohol etílico al 99.99% (Fermont, Productos Químicos Monterrey. Mirador 201, Col. Mirador, Monterey N.L. Mex.) hasta la marca de 250 ml y se registró el peso. La densidad absoluta se calculó utilizando la fórmula:

$$Dens = \frac{Pm - Pv}{250 - \frac{Pma - Pm}{0.7862}}$$

Donde:

Dens = Densidad del maíz.

Pm = Peso de la probeta con maíz.

Pv = Peso de la probeta vacía.

Pma = Peso de la probeta más maíz y alcohol.

0.7862 = Densidad del etanol.

5.3.6. Área de pericarpio

El área de pericarpio de cada variedad de maíz se calculó colocando 10 granos de maíz en un vaso de precipitado con 30 ml de agua por 20 min y retirando el pericarpio utilizando pinzas de disección. Enseguida, las piezas de pericarpio separadas del grano se colocaron en papel bond y se comprimieron con una pieza de cristal buscando eliminar dobleces en las piezas de pericarpio. Se procedió a dar un tiempo de secado por 24 h. Posteriormente se retiró el cristal y las piezas de pericarpio fueron pegadas con cinta adhesiva transparente para digitalizarlas con un scanner EPSON PERFECTION V200 PHOTO Seiko Epson Corporation.

El cálculo del área se realizó utilizando el software Fijils Just Imagej ver. 1.45b (<http://fiji.sc/wiki/index.php/Fiji>) seleccionando las áreas correspondientes a cada grano y contando el número de pixeles con la herramienta Analyze->Measure.

5.3.7. Peso hectolítrico

La determinación del peso hectolítrico se realizó midiendo un volumen de 1000 ml de grano y pesando dicho volumen con una balanza granataria digital modelo Scout® Pro (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ 07058. USA). El resultado se dividió por 10 para obtener los valores en kg/hL. Se realizaron 5 repeticiones para cada variedad.

5.3.8. Perfil de absorción de agua

El perfil de absorción de agua se determinó pesando 30 g de maíz y colocándolos en 50 ml de agua a temperatura ambiente por 10, 20, 30 y 40 min, usando vasos de precipitados de 150 ml. Transcurrido el tiempo se extrajeron los granos y se eliminó el exceso de agua utilizando toallas de papel desechables. Enseguida se pesaron nuevamente los granos y por diferencia de peso se calculó la cantidad de agua absorbida por el grano. Se realizaron 3 repeticiones para cada variedad de maíz y periodo de tiempo.

5.4 Caracterización de las harinas

5.4.1. Caracterización de color de harinas

Para determinar el color se colocó una muestra de 28.3495 g (1 oz) en un vaso de precipitados, cubriéndolo con película plástica transparente auto adherente modelo TS.500E (TORREY Internacional Edgar Allan Poe No. 355, Col. Polanco Chapultepec, Delegación. Miguel Hidalgo. C.P. 11560, México, D.F.) Para la medición de los parámetros de color se utilizó un colorímetro modelo CR-400 portátil (Konika Minolta 101 Williams Drive Ramsey, NJ 07446 USA) con un observador a 2° que se ajusta al estándar CIE 1931 y un iluminante D65. Se realizaron 3 repeticiones para cada tratamiento.

5.4.2. Caracterización de color de atoles

El color del atole se determinó colocando una muestra de 28.3495 g (1 oz) en un vaso desechable, cubriéndolo con película plástica transparente auto adherente modelo TS.500E (TORREY Internacional Edgar Allan Poe No. 355, Col. Polanco Chapultepec, Delegación. Miguel Hidalgo. C.P. 11560, México, D.F.) Para la medición de los parámetros de color se utilizó un colorímetro modelo CR-400 (Konika Minolta 101 Williams Drive Ramsey, NJ 07446 USA). Se realizaron 4 repeticiones para cada tratamiento.

5.4.3. Actividad de agua

La actividad de agua de las harinas se determinó utilizando un determinador portátil de actividad de agua modelo Paw Kit (Decagon Devices, 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163–USA). Se colocó la muestra de harina en los contenedores incluidos en el kit y se operó el instrumento de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Se realizaron 3 repeticiones para cada tratamiento.

5.4.4. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad

Se pesó un tubo de plástico para centrífuga y se agregó aproximadamente 2.5 g de harina de cada tratamiento previamente pesada en una balanza granataria digital modelo Scout® Pro (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ 07058. USA) y 40 ml de agua destilada a temperatura ambiente. La suspensión se mantuvo por 30 minutos con

agitación intermitente. Enseguida se centrifugó el tubo a 3000 rpm por 10 min en una centrífuga modelo DAMON/IEC DIVISION Model HNS (Hamilton instrument kromatex LLC 1200 Florence-Columbus Road Borden town, NJ 085051/7 Hp 2.5 Amps). Posteriormente la parte líquida de cada muestra se vertió en una charola de aluminio y se puso en un horno de convección eléctrico modelo HEC5 (HOBART 701 S Ridge Avenue, Troy, OH 45374) por 30 min hasta que el agua se evaporó, se procedió a sacar las charolas del horno y se metieron a un desecador para evitar que ganaran humedad. Cada una de las charolas fue pesada en una balanza analítica modelo GR-200 (A&D Company, Limited. 3-23-14 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 JAPAN), al igual que el residuo el cual se pesó en el tubo. Se realizaron 5 repeticiones para cada tratamiento.

El índice de absorción de agua (IAA), se expresa como una relación entre el peso del residuo después de la centrifugación y el peso seco de la muestra, al cual se le resta el peso del residuo de la evaporación. El IAA se calculó con la siguiente fórmula.

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso del residuo de la centrifugación}}{\text{Peso seco de la muestra}}$$

El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresa como una relación entre el residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra según la siguiente fórmula:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso del residuo de la evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

5.4.5. Capacidad de hinchamiento e índice de solubilidad

La capacidad de hinchamiento se calculó de la siguiente manera, se prepararon tres atoles de cada tratamiento a diferentes concentraciones (5, 7.5 y 10%).

Para preparar las muestras a 5% se pesaron 475 ml de agua en una balanza granataria digital modelo Scout® Pro (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ 07058. USA) y se le colocó al vaso un imán magnético. Enseguida se pesaron 25 g de harina de una de las variedades de maíz y se vació al vaso con agua. Posteriormente se calentó la

suspensión en una parrilla modelo Cimarec SP131015 (Thermo Scientific, 166 Cummings Center, Beverly, MA 01915-6110, USA), con agitación constante para mezclar de manera uniforme y evitar que la harina precipitara. La temperatura de la plancha se ajustó a 500°C y la muestra se calentó por 25 min. De la misma manera se prepararon los atoles para las otras concentraciones con diferentes cantidades de harina y agua; para 7.5% se pesaron 37.5 g de harina y 462.5 g de agua, para 10% se pesaron 50 g de harina y 450 g de agua. Posteriormente los atoles se dejaron enfriar 20 min.

Se pesó un tubo de plástico para centrífuga y se vertió el atole de cada concentración en un tubo diferente hasta los 45 ml y se pesaron en una balanza analítica modelo GR-200 (A&D Company, Limited. 3-23-14 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 JAPAN). Enseguida se centrifugaron los tubos a 3000 rpm por 10 min en una centrífuga Model HNS (DAMON/IEC DIVISION Hamilton instrument kromatex LLC 1200 Florence-Columbus Road Borden town, NJ 085051 1/7 Hp 2.5 Amps) y se separó la parte líquida, la cual fue vertida en una charola de aluminio para secarla en un horno de convección eléctrico modelo HEC5 (HOBART 701 S Ridge Avenue, Troy, OH 45374) por 30 min. Una vez que se evaporó el agua de las charolas de aluminio, se metieron en un desecador para evitar que ganaran humedad y posteriormente se pesaron en una balanza analítica GR-200 (A&D Company, Limited. 3-23-14 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-0013 JAPAN). Se realizaron 4 repeticiones para cada concentración de cada tratamiento.

La capacidad de hinchamiento (CH) se calcula con la fórmula:

$$\text{CH} = \frac{\text{peso del sedimento de la centrífuga}}{\text{peso seco de la muestra}}$$

5.5 Análisis estadísticos

Todos los datos fueron analizados con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ utilizando el software SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2003). Los resultados de caracterización de variedades, harinas y atoles se analizaron utilizando análisis de varianza con un diseño factorial con dos factores: variedad con tres niveles (rojo, blanco y azul) y tostado con dos niveles (tostado y sin tostar).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización del grano

De acuerdo a los resultados obtenidos se hicieron las siguientes observaciones durante la caracterización del grano.

6.1.1. Humedad

Con base en el análisis estadístico de los resultados de humedad en los granos sin tostar (Figura 4), no se observó efecto significativo del tipo de grano ($P=0.7436$), es decir que los granos presentaron un contenido de humedad similar. Sin embargo, cuando se compararon los valores de humedad entre los tratamientos sin tostar y tostado, se encontró una humedad mayor en los granos sin tostar (11.09%) comparado con los granos tostados (6.44%), que representa una diferencia general de 4.65%. Esto es debido a la liberación de humedad del grano durante el tratamiento de tostado.

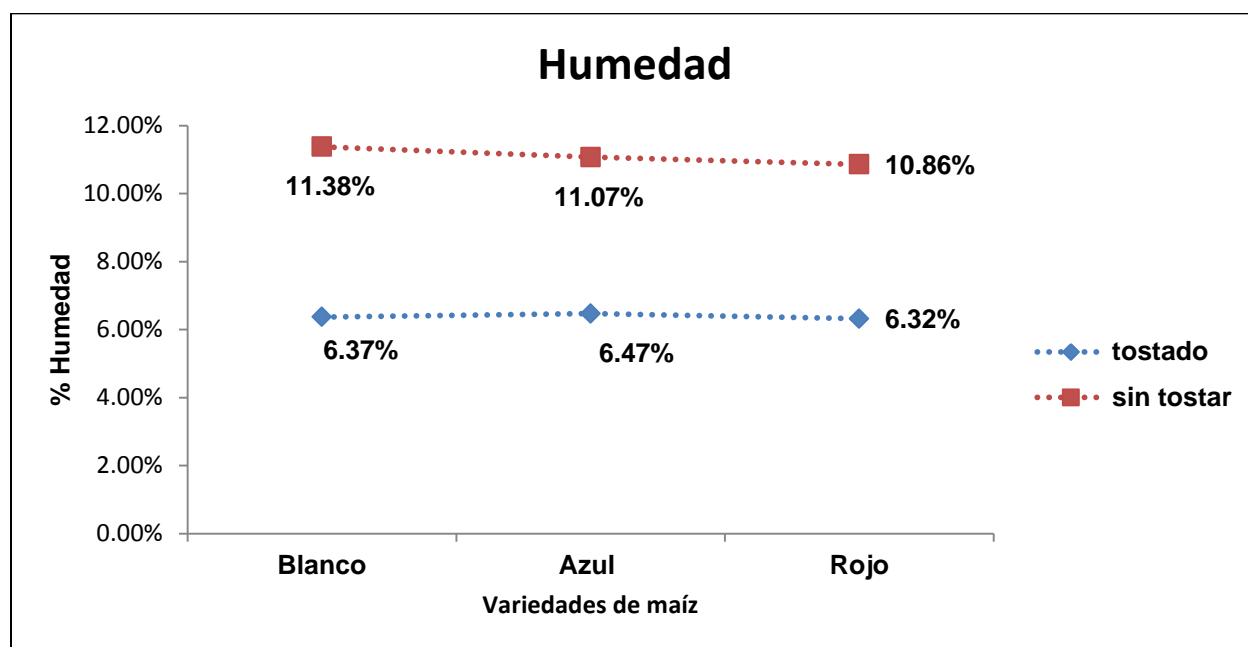


Figura 4. Comportamiento del contenido de humedad en variedades de maíz sin tostar y tostado.

6.1.2. Índice de flotación

Para el índice de flotación se observó un efecto significativo del tipo de grano ($P < 0.0001$). El análisis de separación de medias por el método de Tukey dio como resultado que no hubo diferencia significativa en el índice de flotación del maíz rojo (99.8%) y azul (99.8%), mientras que estos valores fueron significativamente diferentes al valor del maíz blanco (93.6%). De acuerdo a estos resultados se puede suponer que los granos rojos y azules tienen una densidad similar ya que presentaron valores comparables en el índice de flotación. Adicionalmente estos altos índices de flotación están asociados con una baja densidad del grano. En contraste, el maíz blanco tuvo un índice de flotación menor lo que sugiere que su densidad es mayor. Las diferencias en el índice de flotación de los granos pudo deberse a las proporciones de sus componentes estructurales ya que los maíces pigmentados fueron más harinosos que el maíz blanco.

6.1.3. Dimensiones del grano

De acuerdo a la medición de las dimensiones de los granos se observó que hubo diferencias significativas en cuanto al largo ($P = 0.0008$) y ancho ($P < 0.0001$) de las tres variedades del grano; sin embargo, en el grosor el valor de acuerdo al análisis estadístico no fue significativo ($P = 0.4224$). Lo cual nos indica que no existe una gran diferencia entre el grosor de las tres variedades (Cuadro 5).

6.1.4. Peso de 1000 granos

Con respecto a los resultados obtenidos del peso de mil granos se observaron diferencias significativas entre variedades. De manera similar al índice de flotación y utilizando la separación de medias por el método de Tukey, se puede notar que no hubo diferencia significativa entre las variedades roja (410.61 g) y azul (460.46 g) pero si entre estas últimas y la variedad de maíz blanco (382.8 g), lo cual puede estar relacionado con sus características de densidad e índice de flotación (Cuadro 5).

6.1.5. Densidad absoluta

Para la densidad absoluta se puede notar una diferencia significativa para las tres variedades ($P < 0.0001$). Utilizando el método de medias de separación de Tukey (Cuadro 5) y con el antecedente de los resultados del índice de flotación y del peso de mil granos se esperaría que no hubiera diferencia significativa entre el rojo (1.05 g/ml) y el azul (1.12 g/ml). Sin embargo, se observó que las densidades fueron significativamente diferentes entre todos los tipos de grano. Esto puede deberse a que las características de cada grano llegan a ser diferentes incluso dentro de la misma variedad. Aun con estos resultados se observó que la variedad de maíz blanco tuvo mayor densidad (1.19 g/ml) que ambas variedades de maíz pigmentado.

6.1.6. Área del pericarpio

En cuanto al resultado obtenido del análisis de los datos del área de pericarpio no se observaron diferencias significativas ($P = 0.9767$) entre las tres variedades de maíz, ya que las medidas entre cada una de las variedades es muy cercana, aunque tiene una ligera variación entre 2185.7 y 2230.9 pixeles (Cuadro 5).

6.1.7. Peso hectolítrico

De acuerdo a los resultados obtenidos del peso hectolítrico se encontraron diferencias significativas entre variedades ($P < 0.0001$). Adicionalmente, con el análisis de separación de medias por el método de Tukey, se observó que entre las variedades de maíces rojo (67.46 kg/hL) y azul (67.31 kg/hL) hubo similitudes; sin embargo, para la variedad de maíz blanco (76.65 kg/hL) se encontró una diferencia significativa respecto a las anteriores (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con los resultados del índice de flotación y peso de 1000 granos.

Cuadro 5. Resultados de la caracterización del grano de las variedades seleccionadas.

Color del grano	Índice de flotación (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso de 1000 granos (g)	Densidad Absoluta (g/ml)	Área de Pericarpio (píxeles)	Peso Hectolítrico (Kg/hL)
Blanco	93.60±2.3b	14.30±2.0a	8.87±1.3b	5.23±0.7a	389.80±12.4b	1.19±0.01a	2185.7±696.3a	76.65±1.4a
R o j o	99.80±0.4a	9.48±1.9b	15.68±3.2a	5.70±1.1a	410.62±22.5b	1.05±0.01c	2191.5±275.7a	67.46±0.9b
A z u l	99.80±0.4a	16.32±5.6a	10.09±0.9b	5.26±0.5a	460.47±10.7a	1.12±0.03b	2230.9±455.2a	67.31±0.9b

6.1.8. Perfil de absorción de agua

La absorción de agua por los granos evaluada a diferentes tiempos (10, 20, 30 y 40 min) y a temperatura ambiente, reportó diferencias significativas entre las variedades pigmentadas de grano de maíz ($P < 0.0001$), los diferentes tiempos ($P < 0.0001$) y el comportamiento de la absorción de agua a través del tiempo (interacción tipo de maíz x tiempo: $P = 0.0031$).

En general en las tres variedades se observó un incremento en la absorción de agua a través del tiempo (Figura 5). Sin embargo, en las variedades pigmentadas la tendencia fue que la absorción de agua ocurrió a una mayor velocidad en comparación con la variedad de maíz blanco. Esto puede estar relacionado con las diferencias en la estructura interna del grano, lo cual está soportado por los valores del índice de flotación, peso de 1000 granos y peso hectolítrico, que sugiere una mayor cantidad de endospermo suave en las variedades de maíz pigmentado en comparación con la variedad de maíz blanco. En este sentido, Laria *et al.* (2005), estudiaron la absorción de agua en el grano de maíz y sugieren que la velocidad en la que ocurre este proceso depende de la estructura anatómica con la que se encuentre el agua durante su ingreso al interior del grano, principalmente pericarpio y endospermo. Así, en granos con pericarpio más grueso y endospermo duro el proceso de absorción de agua es más lento.

En el maíz azul al tiempo de 40 min se observó una menor absorción de agua comparado con el minuto 30, lo cual se puede explicar considerando las diferencias estructurales entre granos de la misma variedad.

En la figura 5 se puede apreciar que la variedad que se mantiene más constante es la de maíz blanco, ya que las otras dos variedades presentan variación en la cantidad de agua que absorbieron. En el cuadro 6 se presentan los valores promedio por variedad de maíz y periodo de tiempo, para su comparación individual.

Cuadro 6. Separación de medias para los valores de absorción de agua en la comparación tratamientos y tiempos.

Maíz	Minutos	Estimación	Letras
Rojo	40	3.7000	A
Rojo	20	3.1667	AB
Azul	30	3.1333	AB
Rojo	30	3.1333	AB
Azul	40	2.7667	BC
Blanco	40	2.6333	BCD
Blanco	30	2.6000	BCD
Rojo	10	2.5000	BCD
Blanco	20	2.4333	BCD
Blanco	10	2.3667	CD
Azul	20	2.1333	CD
Azul	10	1.9000	D

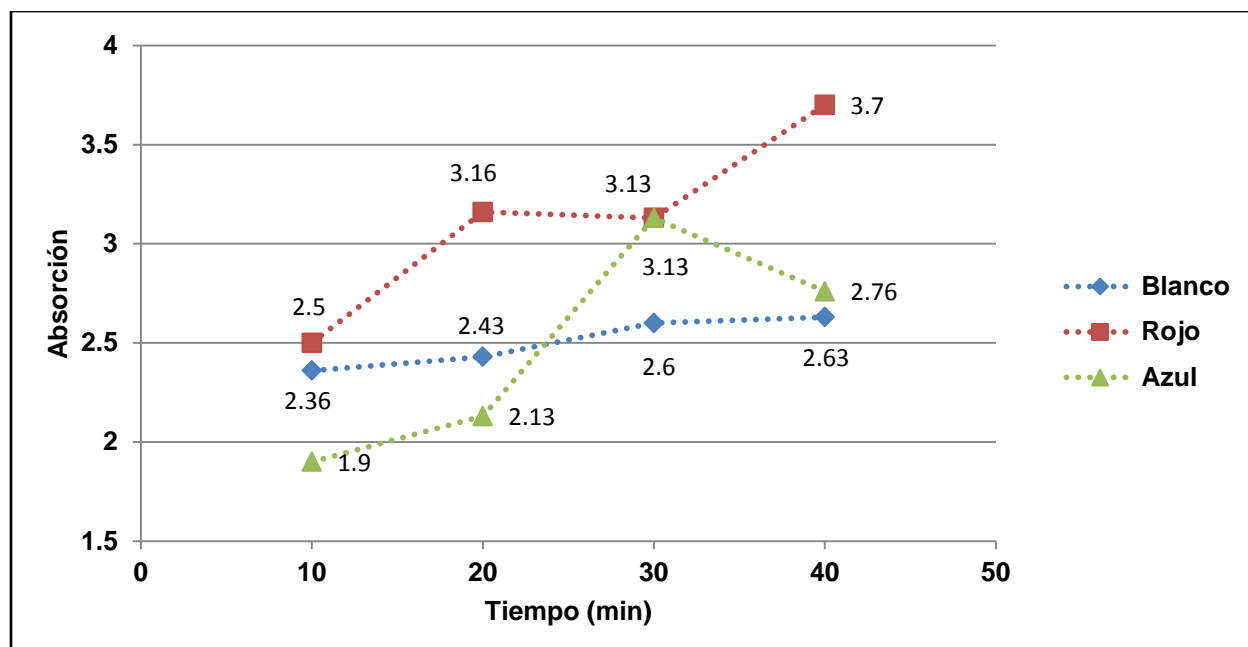


Figura 5. Comportamiento de la absorción de agua en granos de maíz pigmentado.

6.2 Caracterización de las harinas

La comercialización de la harina para preparar atole facilita su consumo como bebida así como su conservación, ya que si se comercializara preparado, su vida de anaquel sería muy corta, además de que la harina es fácil de manipular. En este sentido, la segunda parte de este trabajo consistió en el análisis físico de las harinas resultantes de los tratamientos establecidos. Adicionalmente se utilizó como testigo *MAIZENA*® (fécula de maíz) sin saborizante ni colorante.

6.2.1. Caracterización de color en harinas

Para la caracterización de las harinas se midió el color utilizando la escala de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), que considera los parámetros: L^* toma valores de 0 (negro) a 100 (blanco) y representa el grado de iluminación del color, a^* toma valores de -100 (verde) a +100 (rojo), y b^* que toma valores de -100 (azul) a +100 (amarillo).

Con respecto a los valores de L^* se observaron diferencias significativas únicamente para el maíz blanco sin tostar comparado con el blanco tostado ($P= 0.0161$). Para los otros maíces el valor de L^* en el tratamiento sin tostar contra su respectivo valor de L^*

en el tratamiento tostado no mostraron diferencias significativas. Esto puede deberse a que el cambio de color ocasionado por el tostado en los maíces rojo y azul fue enmascarado por el propio color del grano. Por otro lado, la comparación de los valores de L* entre los diferentes granos, mostró un valor mayor para el maíz blanco con un valor de 88.99, enseguida se ubicó el maíz rojo con un valor de 78.88 y finalmente el azul con un valor de 74.51 ($P < 0.0001$) (Figura 6). En la comparación de las harinas con respecto al testigo, los resultados se comportaron como se esperaba, donde el maíz blanco tuvo un valor de L* más cercano al testigo que los maíces rojo y azul (Cuadro 7). Esto se puede explicar tomando en cuenta que la *MAIZENA*® es prácticamente almidón con un alto grado de pureza extraído del grano de maíz y prácticamente blanco, además de que en este estudio no fue sometido a un proceso de tostado que afecte su color, mientras que las harinas se prepararon utilizando el grano completo con todos sus pigmentos contenidos en la capa aleurona y endospermo. Adicionalmente el tostado ocasionó un cambio de color en el grano.

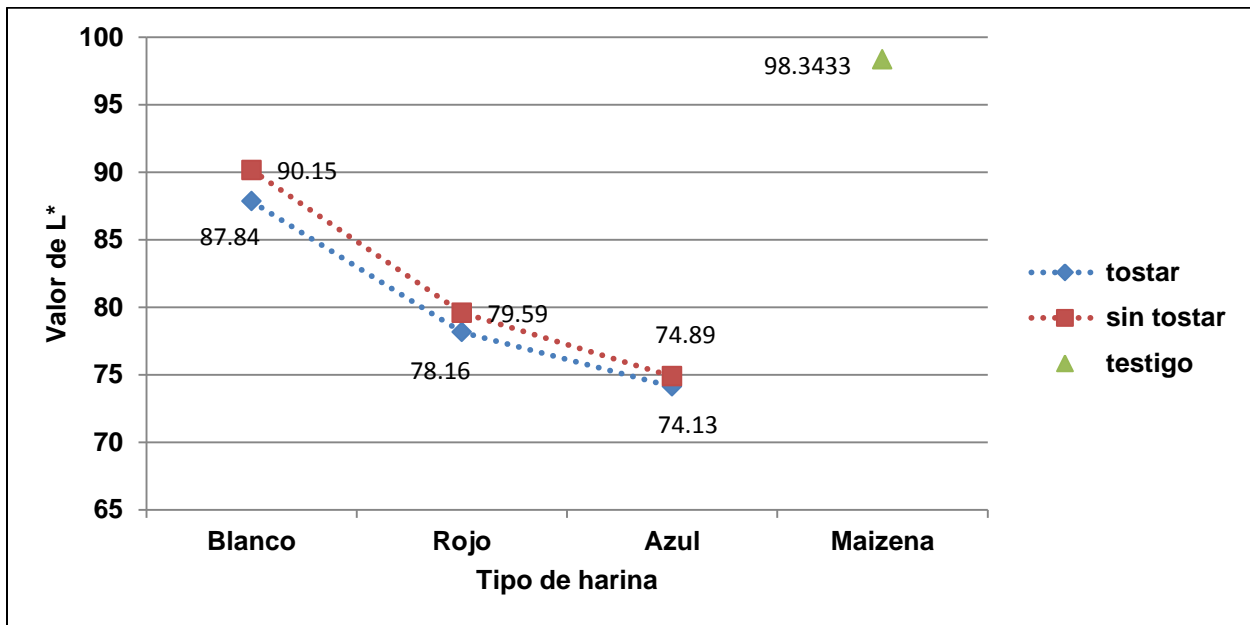


Figura 6. Valores de L* en harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

Cuadro 7. Separación de medias para los valores de L* en la comparación entre harinas de maíz pigmentado y MAIZENA®.

Tipo de harina	Estimación	Agrupación por letras
MAIZENA®	98.3433	A
Blanco	90.15	B
Blanco Tostado	87.8467	C
Rojo	79.5967	D
Rojo Tostado	78.1633	D
Azul Tostado	74.8933	E
Azul	74.13	E

En cuanto al análisis de los valores de a* comparando las harinas de grano sin tostar con su respectiva harina de grano tostado, sólo se observaron diferencias significativas en el maíz de color rojo (tostado $a^* = 5.8733$, sin tostar $a^*=7.14$), en los demás granos el valor de a* prácticamente no fue afectado por el tostado. Los valores de a*(Figura 7) comparados entre los diferentes granos resultaron ser negativos para el maíz blanco (ubicados ligeramente en la escala de verde) y positivos para los maíces rojo y azul (ubicados en la escala de rojo). Estos resultados estuvieron acorde con lo esperado particularmente en el caso del maíz rojo (Cuadro 8). Los valores de a* de las harinas con respecto al testigo mostraron que el maíz blanco fue el que más se acercó a este último con una diferencia promedio de 0.3999 unidades, mientras que el maíz azul se ubicó en una diferencia promedio de 3.5867 unidades y el rojo en una diferencia promedio de 8.0233 unidades.

Cuadro 8. Separación de medias para los valores de a^* entre harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

Maíz	Estimación	Agrupación por letras
Rojo	7.14	A
Rojo Tostado	5.8733	B
Azul Tostado	2.1733	C
Azul	1.9667	C
Blanco	-0.79	D
Blanco Tostado	-1.0433	D
MAIZENA®	-1.5167	E

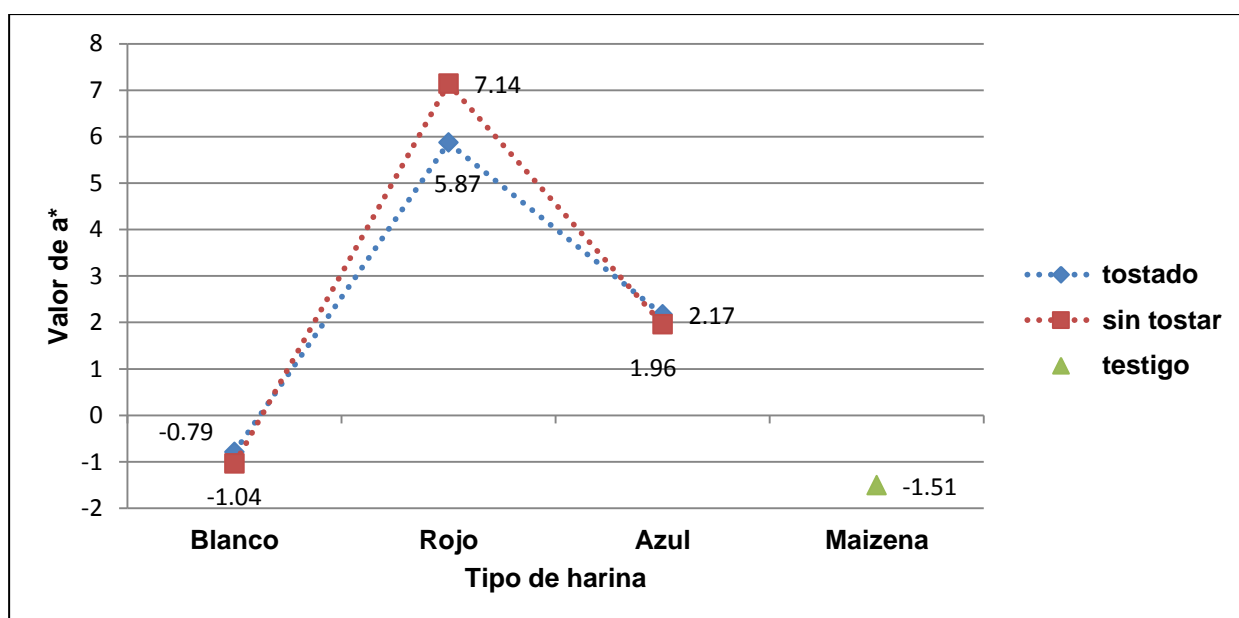


Figura 7. Valores de a^* en harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

De acuerdo a los valores de b^* , en las harinas se observaron diferencias significativas tanto en los diferentes tipos de maíz (blanco, rojo y azul) como en los diferentes tratamientos (tostado y sin tostar). La mayoría de los valores se ubicaron en la escala positiva (amarillo), a excepción de la harina azul sin tostar que se ubicó en la escala negativa (azul). El testigo fue diferente a todas las variedades y tipos de tratamiento, tuvo una diferencia menor con la harina de maíz azul tostado con valor de 0.9 unidades (Figura 8). En general las harinas de maíz tostado tuvieron valores de b^* mayores que las harinas de maíz sin tostar, con una diferencia promedio de 2.5689 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Separación de medias para los valores de b^* entre harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y *MAIZENA*®.

Maíz	Estimación	Agrupación por letras
Blanco Tostado	10.2967	A
Blanco	7.09	B
Rojo Tostado	5.3467	C
<i>MAIZENA</i> ®	4.0967	D
Azul Tostado	3.1967	E
Rojo	2.0767	F
Azul	-2.4833	G

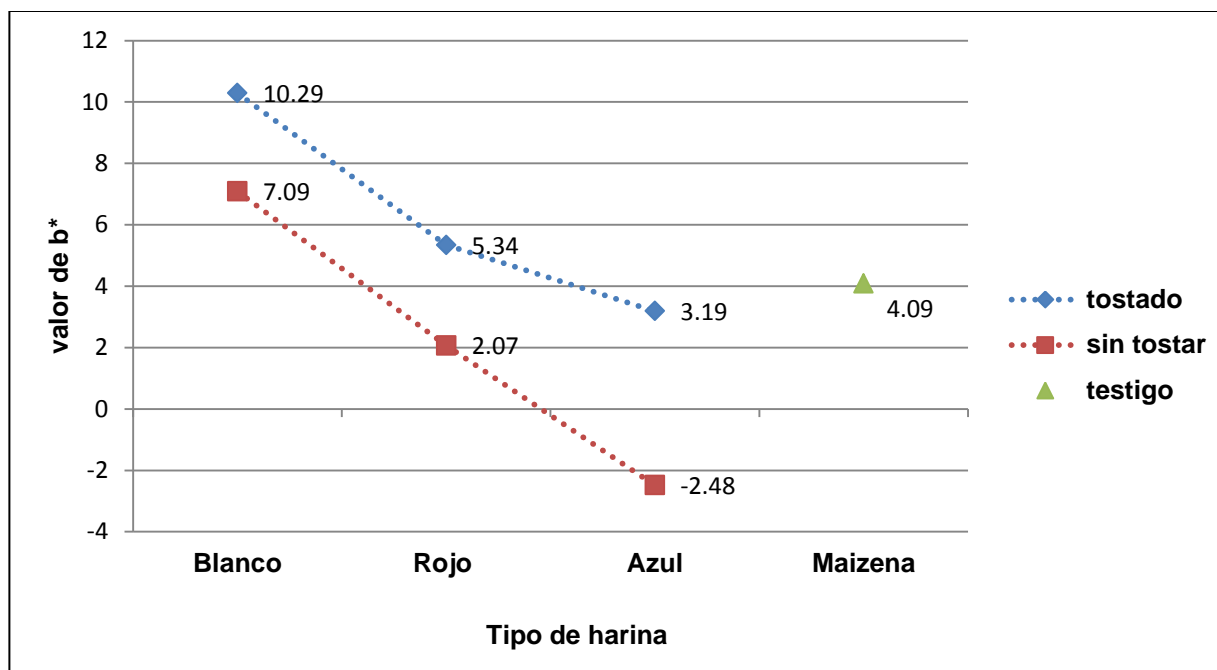


Figura 8. Valores de b^* en harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

6.2.2. Caracterización de color en atole

En este estudio se realizaron mediciones de color para atoles preparados con harinas de las tres variedades de maíz (blanco, rojo y azul) sin tostar y tostado.

Con respecto al valor de L^* se observó que no hubo efecto de tratamiento (tostado y sin tostar), es decir que los valores de este parámetro en atoles de granos sin tostar prácticamente se mantuvieron iguales, comparado con su respectiva harina de grano tostado ($P= 0.171$). Adicionalmente, tampoco se observó efecto combinado ($P= 0.1173$) entre maíz y el tratamiento térmico (tostado). Las diferencias significativas se observaron únicamente al comparar el valor de L^* en atoles de diferente tipo de maíz ($P < 0.0001$), donde los promedios de este parámetro para los maíces blanco, rojo y azul fueron 62.19, 53.83 y 46.83 respectivamente (Cuadro 10). En comparación con el testigo sólo el atole de maíz azul (tostado y sin tostar) fue el que se acercó más al atole de MAIZENA® (46.83 vs 47.04), no observándose diferencias significativas en sus valores de L^* (Figura 9).

Cuadro 10. Separación de medias para los valores de L* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

Maíz	Estimación	Agrupación por letra
Blanco Tostado	62.5675	A
Blanco	61.8300	AB
Rojo	55.4275	BC
Rojo Tostado	52.2400	CD
Azul	47.1900	D
MAIZENA®	47.0400	D
Azul Tostado	46.4875	D

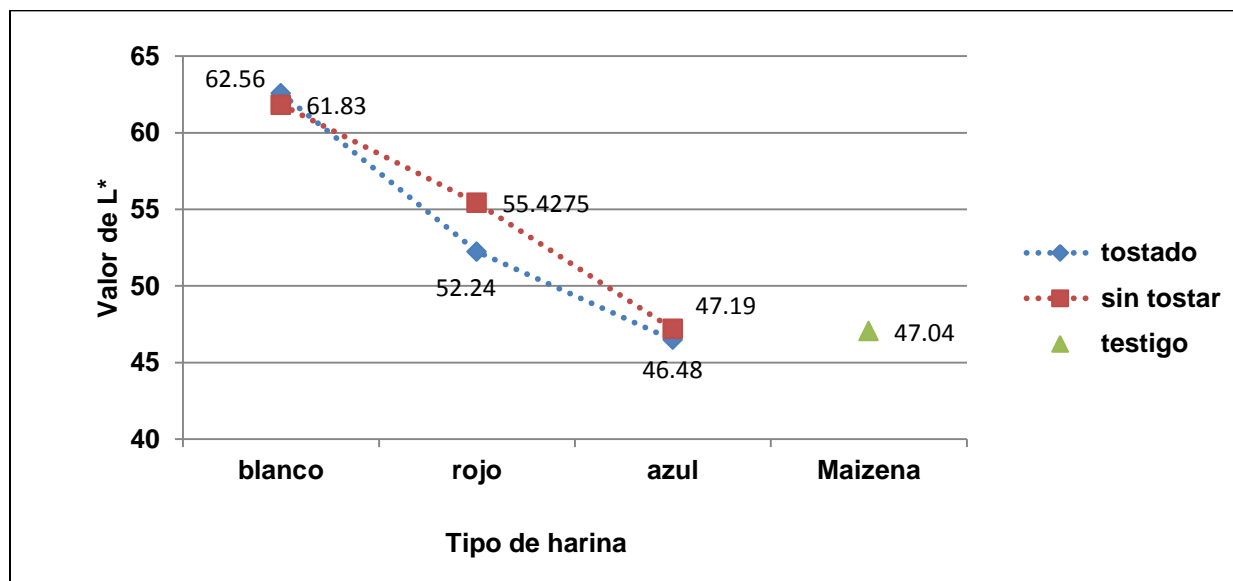


Figura 9. Valores de L* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

El análisis estadístico del valor de a^* en atoles dio como resultado diferencias significativas únicamente para el efecto del tipo de grano ($P < 0.0001$). Para el efecto de tratamiento (tostado y sin tostar) y el efecto de la interacción (maíz x tratamiento) no se encontraron diferencias significativas ($P= 0.5521$ y $P= 0.1342$ respectivamente). Los valores de a^* en atole de maíz blanco se ubicaron en el lado negativo de la escala (verde), los correspondientes a atoles de maíz azul variaron entre la escala positiva y negativa, mientras que los correspondientes a atoles de maíz rojo se ubicaron en el lado positivo de la escala (rojo). Los datos precisos con la separación de medias y clasificación por letras utilizando el método de Tukey se presentan en el Cuadro 11.

En general los valores de a^* en los atoles de los diferentes maíces fueron similares a los del testigo, excepto en los maíces de color rojo (Figura 10).

Cuadro 11. Separación de medias para los valores de a^* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y *MAIZENA*®.

Maíz	Estimación	Agrupación por letras
Rojo Tostado	4.8	A
Rojo	3.7525	A
Azul	1.9875	AB
Azul Tostado	-0.1675	BC
<i>MAIZENA</i> ®	-0.8025	BC
Blanco	-2.2025	C
Blanco Tostado	-2.235	C

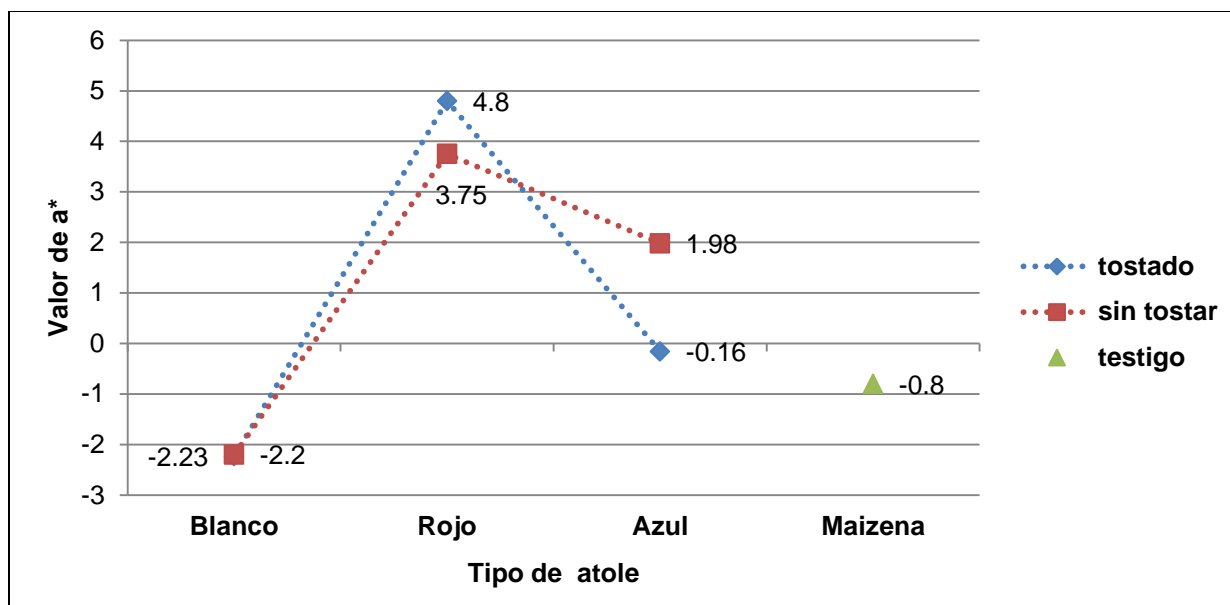


Figura 10. Valores de a* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y MAIZENA®.

Con respecto al parámetro b* de color medido en atoles, se encontraron diferencias en los efectos tanto de tipo de maíz (blanco, rojo y azul; $P < 0.0001$), como de tratamiento (tostado y sin tostar; $P < 0.0001$), sin que la interacción entre estos factores fuera significativo ($P = 0.0866$). Como se esperaba, los atoles preparados con maíz azul mostraron valores de b* en el lado negativo de la escala que representa el color azul y fueron significativamente diferentes de los atoles preparados con harinas de maíces blanco y rojo, los cuales mostraron valores de b* en el lado positivo de la escala que corresponde al color amarillo. Los datos precisos con la separación de medias y clasificación por letras utilizando el método de Tukey se indican en el cuadro 12. El efecto del tratamiento de tostado se observó en un incremento promedio en el valor de b* de 3.5208 unidades en los atoles preparados con harina de granos tostados.

El parámetro b* observado en el testigo se ubicó en el lado negativo de la escala y aunque fue significativamente diferente a todos los atoles preparados con harina de maíz, se situó entre los valores observados en el atole de maíz azul tostado y azul sin tostar (Figura 11).

Cuadro 12. Separación de medias para los valores de b^* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y *MAIZENA*®.

Maíz	Estimación	Agrupación por letras
Rojo Tostado	6.46	A
Blanco Tostado	5.36	B
Rojo	3.52	C
Blanco	1.5025	D
Azul Tostado	-3.075	E
<i>MAIZENA</i> ®	-4.61	F
Azul	-6.84	G

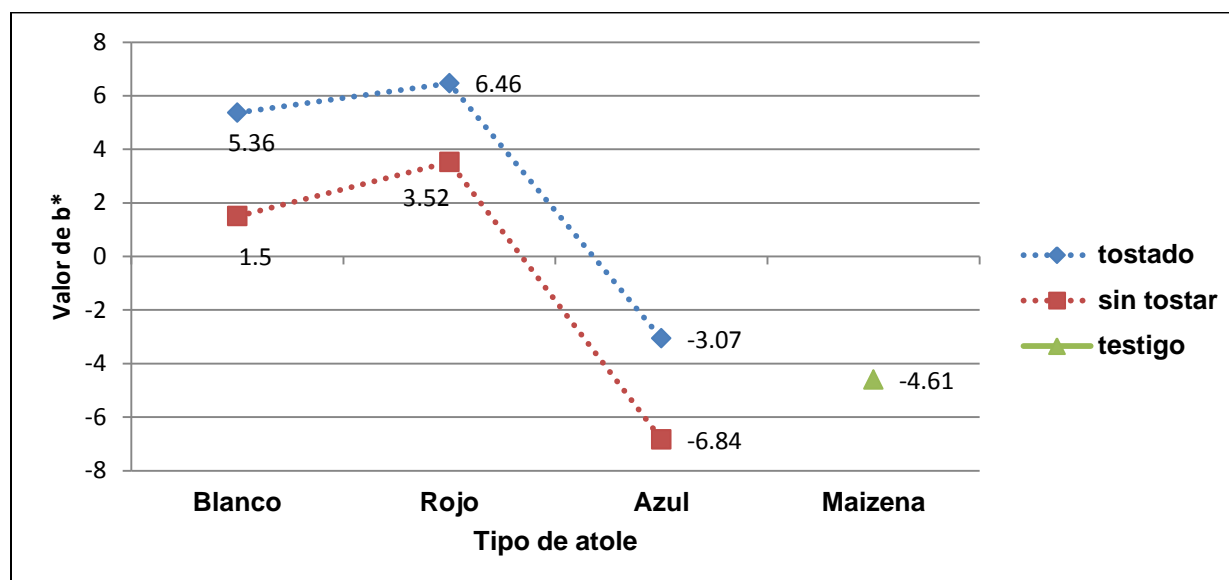


Figura 11. Valores de b^* en atoles de harina de maíz pigmentado sin tostar y tostado y *MAIZENA*®.

De acuerdo al análisis estadístico el valor de b^* fue significativo, así mismo en los resultados de las interacciones se observa que no existió relación de un tratamiento a otro en los atoles de maíz rojo y blanco; sin embargo, en los atoles de maíz azul hubo interacción entre ellos y a su vez tuvieron interacción con la *MAIZENA*®.

Para el valor L^* el atole blanco de un tratamiento a otro incrementó su valor de luminosidad, pero no ocurrió lo mismo con los atoles azules y rojos. El testigo presentó una similitud con los atoles azules.

6.2.3. Comparación entre el color de los atoles con respecto a las harinas

Con la finalidad de ver si existe alguna relación se compararon las harinas con respecto a los atoles para cada valor de la escala CIE (L^* , a^* , b^*).

Para el valor de L^* , de acuerdo al análisis estadístico se determinó que es significativo, con respecto a las interacciones del cuadro 13 y 14, se puede deducir que hay similitud en las harinas azules y rojas de cada tratamiento, no siendo así para las harinas de color blanco donde sólo existe relación entre las dos harinas de cada tratamiento.

El testigo (*MAIZENA*®) no tuvo interacción con ninguna de las harinas de las otras variedades; su comportamiento así como el de las harinas y atole de las variedades seleccionadas se muestran en la figura 12.

Cuadro 13. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de L^* de las harinas y atoles de maíz pigmentado.

Efecto	Valor de F	Probabilidad
Tratamiento	48.8	<.0001
Producto	1831.46	<.0001
Tratamiento*Producto	26.15	<.0001

Cuadro 14. Separación de medias para los valores de L^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.

Tratamiento	Producto	Promedio	Agrupación Por letras
<i>MAIZENA</i> ®	Harina	98.3433	A
Blanco	Harina	90.15	B
Blanco Tostado	Harina	87.8467	B
Rojo	Harina	79.5967	C
Rojo Tostado	Harina	78.1633	C

Cuadro 14 Continuación

Azul Tostado	Harina	74.8933	C
Azul	Harina	74.13	C
Blanco Tostado	Atole	62.5675	D
Blanco	Atole	61.83	D
Rojo	Atole	55.4275	E
Rojo Tostado	Atole	52.24	EF
Azul	Atole	47.19	F
MAIZENA®	Atole	47.04	F
Azul Tostado	Atole	46.4875	F

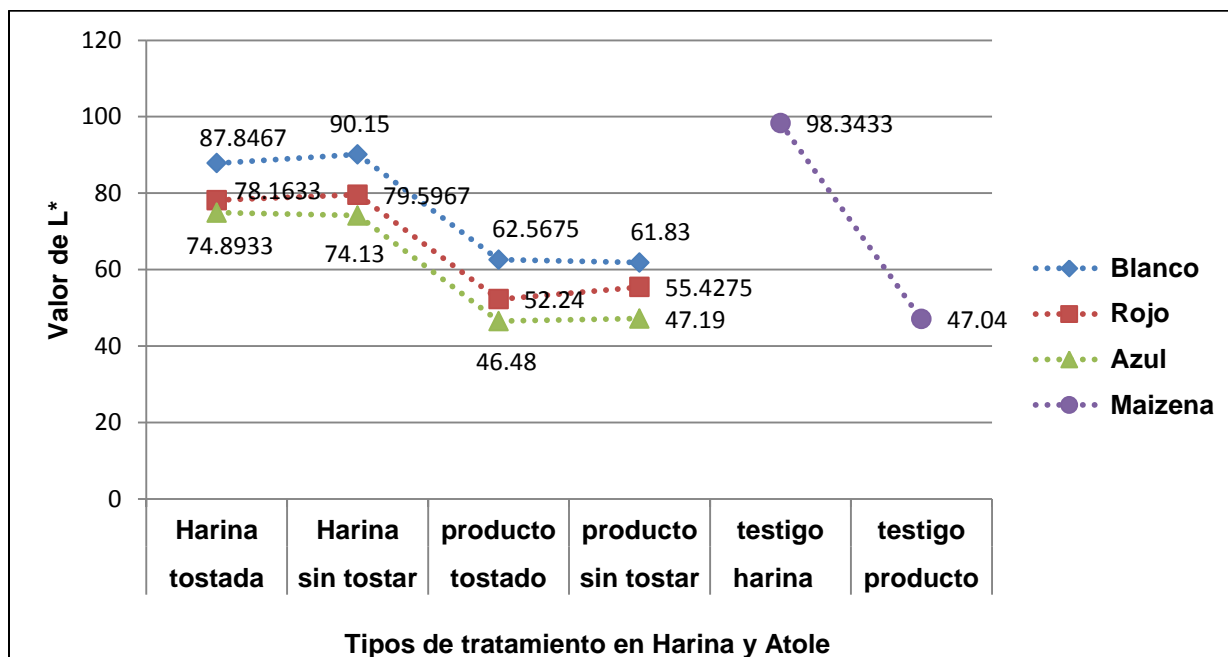


Figura 12. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de L*.

De acuerdo al análisis estadístico para el valor de a^* se determinó que hubo diferencias significativas en cuanto al tratamiento térmico, tipo de grano e interacción (Cuadro 15 y 16).

El comportamiento de harinas y atoles de maíz pigmentado se muestran en la figura 13.

Cuadro 15. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de a^* de las harinas y atoles de maíz pigmentado.

Efecto	Valor de F	Probabilidad
Tratamiento	51.87	<.0001
Producto	14.79	0.0005
Trat*Producto	2.59	0.0349

Cuadro 16. Separación de medias para los valores de a^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.

Tratamiento	Producto	Promedio	Agrupación por Letras
Rojo	Harina	7.14	A
Rojo Tostado	Harina	5.8733	AB
Rojo Tostado	Atole	4.8	ABC
Rojo	Atole	3.7525	BC
Azul Tostado	Harina	2.1733	CD
Azul	Atole	1.9875	CD
Azul	Harina	1.9667	CD
Azul Tostado	Atole	-0.1675	DE
Blanco	Harina	-0.79	DE
MAIZENA®	Atole	-0.8025	DE
Blanco Tostado	Harina	-1.0433	DE
MAIZENA®	Harina	-1.5167	E
Blanco	Atole	-2.2025	E
Blanco Tostado	Atole	-2.235	E

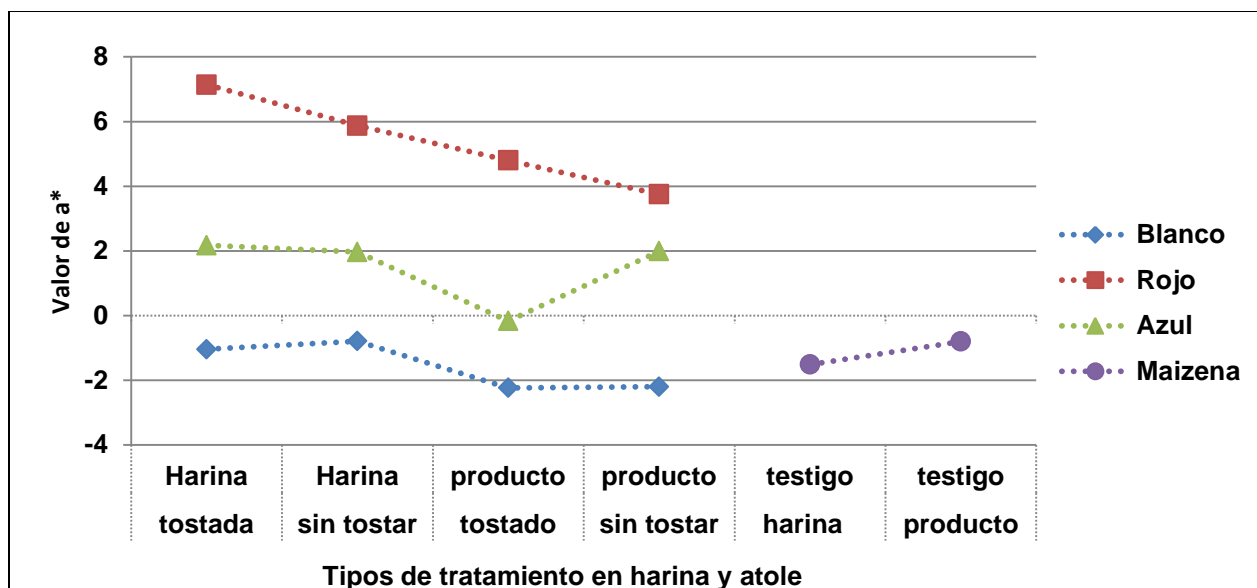


Figura 13. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de a*.

En valor de b* de acuerdo al análisis estadístico se determinó que es significativo, con respecto al cuadro 17 y 18 de interacciones, pero no hay similitud en harinas ni en el testigo así como también en sus respectivos productos.

El comportamiento del testigo y harinas así como su respectivo producto se muestran en la Figura 14.

Cuadro 17. Efecto del tratamiento y el producto en el valor de b* de las harinas y atoles de maíz pigmentado.

Efecto	Valor de F	Probabilidad
Tratamiento	870.74	<.0001
Producto	1290.32	<.0001
Trat*Producto	174.77	<.0001

Cuadro 18. Separación de medias para los valores de b^* en la comparación entre atoles y harinas de maíz pigmentado.

Tratamiento	Producto	Promedio	Agrupación por letras
Blanco Tostado.	Harina	10.29	A
Blanco	Harina	7.09	B
Rojo Tostado.	Atole	6.46	B
Blanco Tostado.	Atole	5.36	C
Rojo Tostado.	Harina	5.34	C
MAIZENA®	Harina	4.09	D
Rojo	Atole	3.52	D
Azul Tostado.	Harina	3.19	D
Rojo	Harina	2.07	E
Blanco	Atole	1.50	E
Azul	Harina	-2.48	F
Azul Tostado.	Atole	-3.07	F
MAIZENA®	Atole	-4.61	G
Azul	Atole	-6.84	H

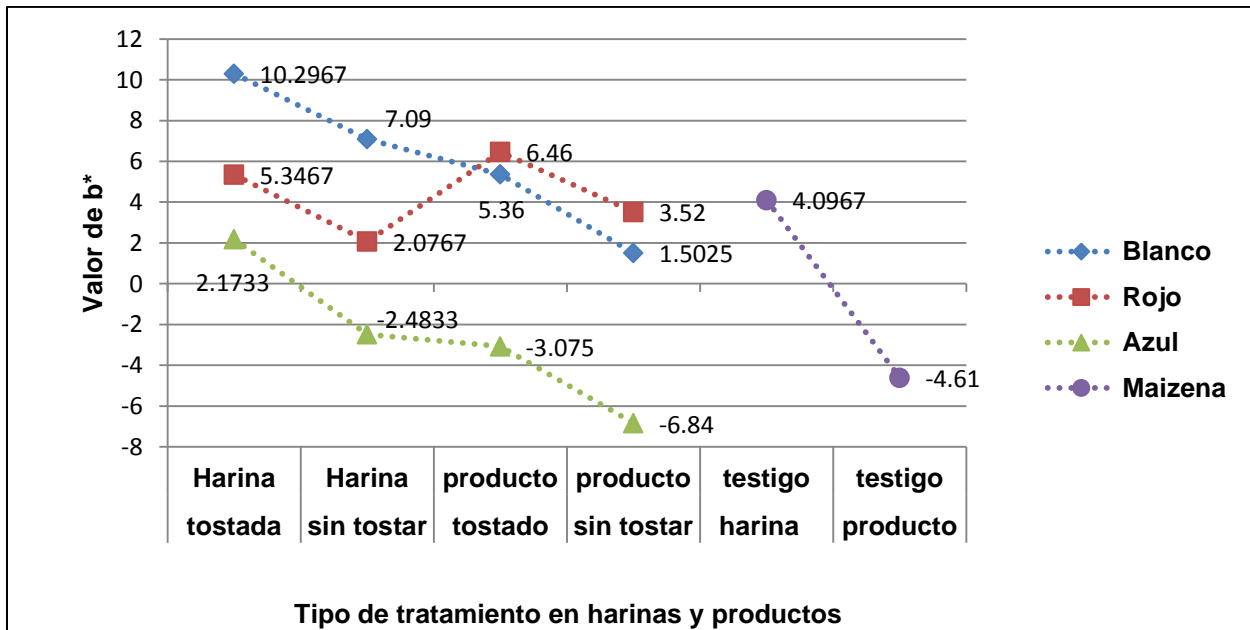


Figura 14. Comportamiento de las interacciones de harina y atole de maíz pigmentado en valores de b^* .

6.2.4. Actividad de agua

La actividad de agua (A_w) en alimentos está relacionada con el agua disponible principalmente para el desarrollo de microorganismos tales como bacterias, levaduras y hongos, pero también con la actividad enzimática, el oscurecimiento no enzimático y la oxidación de lípidos. Los valores de A_w para los tres tipos de harinas en los dos tratamientos de maíz sin tostar y tostado fueron comparados con los de fécula de maíz comercial de marca *MAIZENA*® natural para la preparación de atole (Figura 15). Los resultados indicaron que comparando entre los diferentes granos de maíz, no hubo diferencias significativas en su valor de A_w ($P=0.1475$). Sin embargo, por el efecto del tratamiento térmico se observó una disminución ($P<0.0001$) promedio en el A_w en las harinas de grano tostado de 0.067 unidades. Este comportamiento es claramente explicado por la disminución en el contenido de humedad ocasionado por el tratamiento térmico en las harinas obtenidas de granos tostados. Adicionalmente, la diferencia en A_w en los tratamientos tostado y sin tostar del grano de maíz rojo (0.02 unidades) no fue significativamente diferente ($P=0.7522$), lo cual pudo ser ocasionado por una rápida absorción de agua del ambiente por parte de la harina de maíz rojo tostado. En comparación con el testigo (*MAIZENA*®), el valor de A_w de todos los seis tratamientos experimentales estuvieron significativamente por debajo de la fécula de maíz (Cuadro 19).

Cuadro 19. Separación de medias para los valores de A_w de las harinas de maíz pigmentado y el testigo.

Maíz	Promedio	Agrupación por letras
<i>MAIZENA</i> ®	0.55	A
Azul	0.46	B
Blanco	0.4533	BC
Rojo	0.4067	CD
Rojo Tostado	0.3867	DE
Azul Tostado	0.3767	DE
Blanco Tostado	0.3533	E

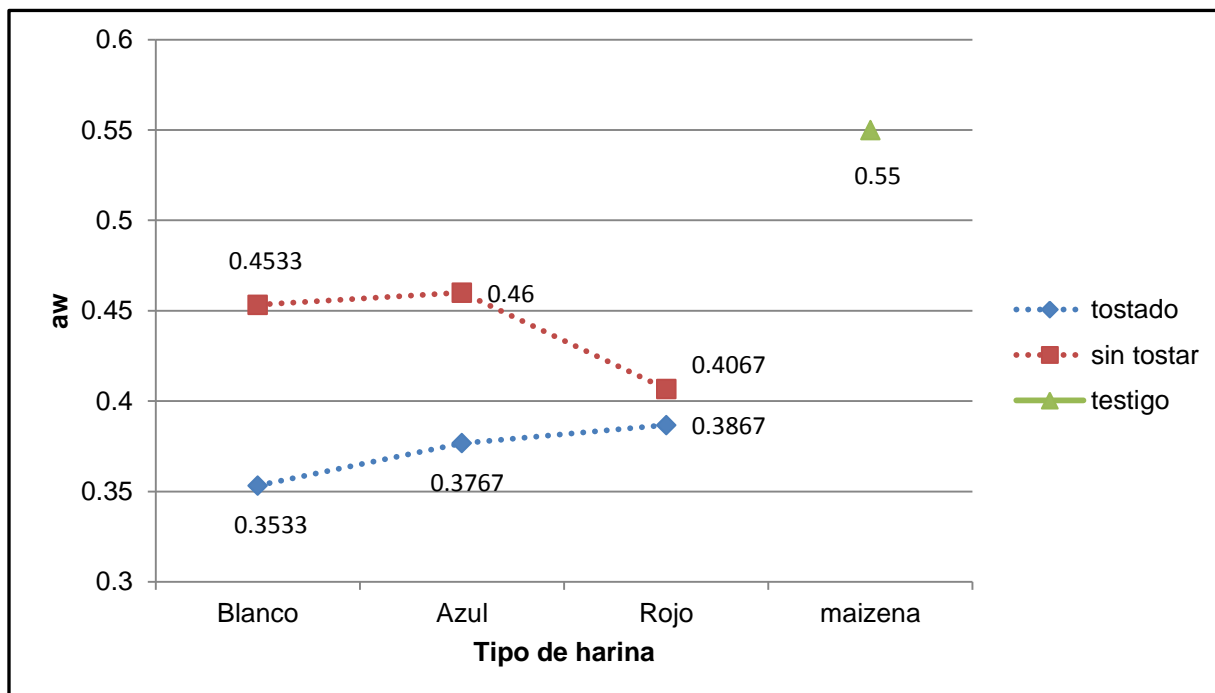


Figura 15. Comparación de valores de Aw entre harinas de maíz pigmentado y el testigo

6.2.5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad

El índice de absorción de agua mide la capacidad de la harina para retener agua a temperatura ambiente y sin tratamiento térmico, mientras que el índice de solubilidad mide la cantidad de sólidos que se disuelven en una cantidad de agua fija también a temperatura ambiente.

En cuanto a la absorción de agua, se evidenciaron efectos tanto en el tipo de grano ($P < 0.0001$) como entre el tratamiento térmico ($P < 0.001$). Además la combinación de ambos factores se reflejó en ligeras pero significativas diferencias en el comportamiento de la absorción de agua ($P = 0.0192$), al comparar harinas de grano sin tostar con harinas de granos tostados. Las tres variedades de grano fueron significativamente diferentes entre sí respecto a sus índices de absorción de agua, donde la harina de maíz blanco mostró el valor más alto ($2.5 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$), seguida por la harina de maíz azul ($2.33 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$) y finalmente el maíz rojo ($2.26 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$).

Por otro lado, el tratamiento térmico ocasionó un incremento significativo en su índice de absorción de agua en las harinas de las tres variedades de maíz. Este incremento fue del orden de $0.15 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$ en promedio para las harinas de las tres variedades. El efecto de la interacción de los factores tipo de grano y tratamiento térmico se observa en la harina de maíz blanco, donde el incremento en su índice de absorción de agua a causa del tratamiento térmico fue menor que en las harinas de los granos pigmentados (Figura 16). Este resultado pudo ser ocasionado por las diferencias en los componentes estructurales del mismo grano, ya que los resultados de la caracterización sugieren un mayor contenido de endospermo duro en el maíz blanco que en los maíces de color. De acuerdo con Watson *et al.* (1955) y Wolf *et al.* (1969), las células del endospermo duro están rodeadas por una matriz proteica más gruesa y los gránulos de almidón son más pequeños. Los resultados de este análisis concuerdan con los observados por Felsman *et al.* (1976), quienes reportaron un incremento en la capacidad de absorción de agua en maíz tostado a 127 y 137°C.

En general las harinas de maíz tuvieron índices de absorción de agua superiores a la fécula de maíz utilizada como testigo. Mientras que en las harinas de maíz (tostado y sin tostar) el índice de absorción de agua osciló en un rango de 2.18 y 2.55 $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$, y en el testigo fue de 1.27 $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{harina}}$. Esta diferencia puede ser explicada tanto por la variabilidad en la molienda del grano de maíz en el laboratorio, comparadas con la molienda que se realiza en el proceso de molienda húmeda utilizada por la industria para extraer el almidón o fécula de maíz comercial. Es probable que la molienda en el laboratorio haya dañado gránulos de almidón incrementando así su capacidad de absorción de agua a temperatura ambiente. Adicionalmente, las harinas de maíz contienen componentes como fibra del pericarpio que pudo haber contribuido al incremento en el índice de absorción de agua. Los datos precisos con la separación de medias y clasificación por letras utilizando el método de Tukey se presentan en el cuadro 20.

Cuadro 20. Comparación de medias del índice de absorción de agua de harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado.

Maíz	Tratamiento	Promedio	Agrupación por letras
Blanco	Tostado	2.5457	A
Blanco	Sin tostar	2.4531	B
Azul	Tostado	2.4352	B
Rojo	Tostado	2.3454	C
Azul	Sin tostar	2.2324	D
Rojo	Sin tostar	2.1774	D

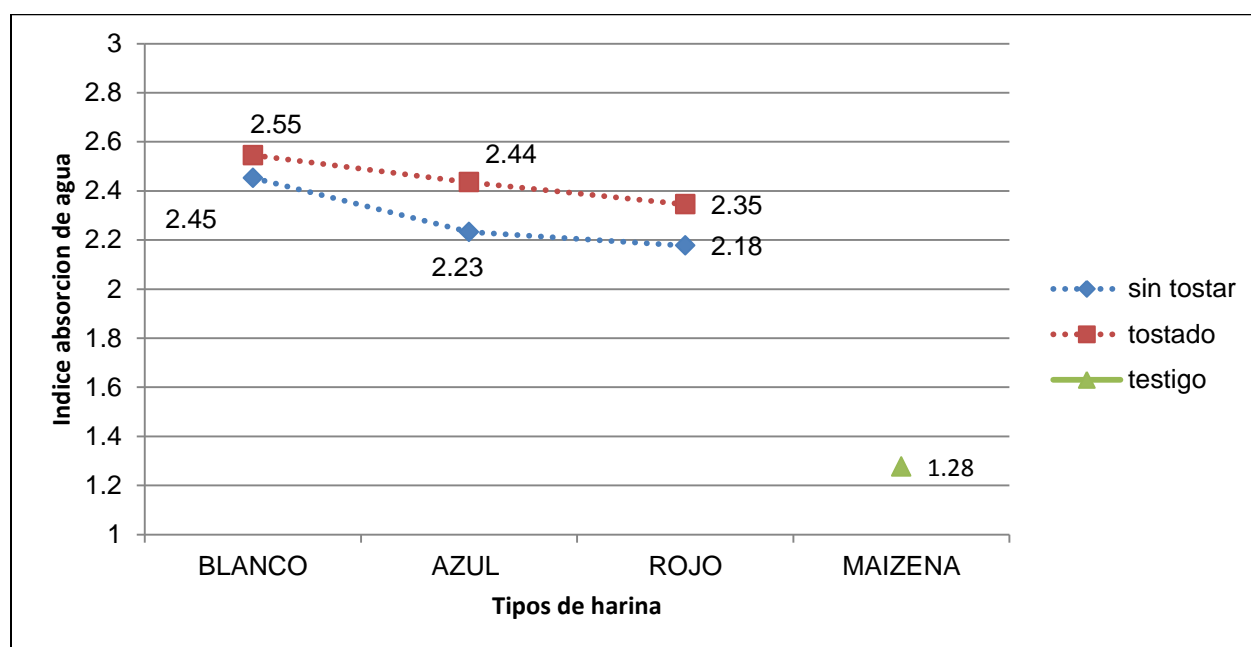


Figura 16. Índice de absorción de agua de harinas de maíces pigmentados sin tostar y tostados y el testigo.

6.2.6. Índice de solubilidad

Respecto a la solubilidad de las harinas, el análisis estadístico reportó efectos significativos respecto al tipo de grano ($P < 0.0001$), tratamiento térmico ($P < 0.0001$) y de la interacción de ambos factores ($P < 0.0001$). Sin embargo, el efecto del tipo de grano se observó únicamente en el índice de solubilidad de la harina de los granos tostados,

donde la harina del grano azul tostado fue significativamente superior a las harinas de los granos blanco y rojo tostados. En las harinas de los granos sin tostar no se observó diferencia significativa en el índice de solubilidad (Cuadro 21). A diferencia del índice de absorción de agua, el índice de solubilidad se vio afectado negativamente en los granos tostados, es decir, en promedio para las tres variedades de maíz, el índice de solubilidad disminuyó en 1.44% comparando con las harinas de granos sin tostar. En comparación con el testigo, las harinas de maíz tuvieron valores de índice de solubilidad en un rango de 4.45 y 6.5 que es significativamente inferior al valor (23.3) observado en el testigo (Figura 17).

Los resultados de ambos índices sugieren que durante el tostado del grano suceden cambios físicos en los componentes que afectan al gránulo de almidón y por lo tanto las propiedades de las harinas para preparar atoles. Felsman *et al.* (1976), indicaron que granos tostados a 127 y 137°C son más susceptibles a degradación enzimática, su densidad se reduce así como su concentración de lisina.

Cuadro 21. Medias del índice de solubilidad de harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado.

Maíz	Tratamiento	Promedio	Agrupación por letra
Azul	Sin tostar	6.49	A
Blanco	Sin tostar	5.75	B
Rojo	Sin tostar	5.55	B
Azul	Tostado	4.52	C
Rojo	Tostado	4.50	C
Blanco	Tostado	4.44	C

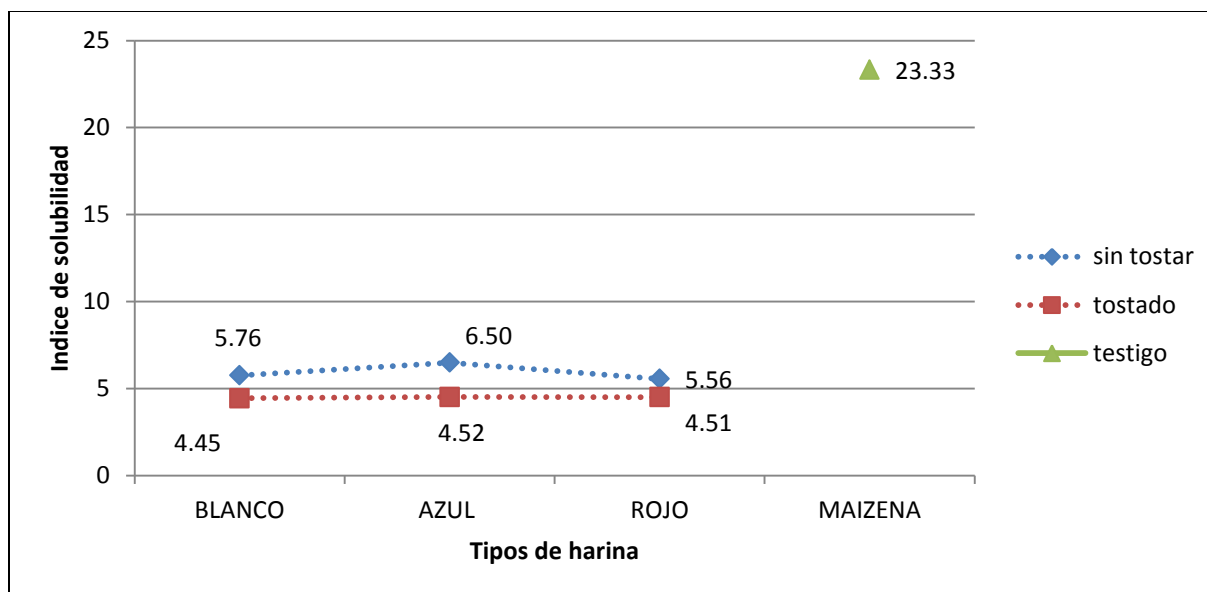


Figura 17. Índice de solubilidad de harinas de maíz pigmentado sin tostar y tostado y el testigo.

6.2.7. Capacidad de hinchamiento e índice de solubilidad

La capacidad de hinchamiento se utilizó para determinar la cantidad de agua que pueden absorber las harinas debido principalmente a la gelatinización del almidón que contienen. La capacidad de hinchamiento se midió en harinas de maíces sin tostar y tostados a las concentraciones de 5, 7.5 y 10% (gramos de harina en volumen de agua).

Se puede considerar que la capacidad de hinchamiento fue significativa tanto para el tipo de tratamiento como para la concentración.

En la Figura 18 se muestra que el atole de granos sin tostar de las tres variedades a una concentración de 5% fue comparable, con ligeras variaciones en un rango de 11.64 y 12.22 g_{agua}/g_{harina}; sin embargo, en las concentraciones de 7.5 y 10% el atole de maíz blanco mostró una mayor capacidad de hinchamiento en comparación con los atoles de maíces de color, quienes expresaron un comportamiento similar en las tres concentraciones. La tendencia observada en los maíces pigmentados es una disminución en la capacidad de hinchamiento conforme se incrementa la concentración. Esta misma tendencia se observó en el testigo (MAIZENA®) aunque en éste los cambios fueron más notorios ya que disminuyó de 24.42 g_{agua}/g_{harina} en la

concentración de 5% a 10.43 g_{agua}/g_{harina} en la concentración de 10%. Estas tendencias observadas en la capacidad de hinchamiento pudieron ser provocadas por la competencia de los gránulos de almidón por absorber agua del medio y sugiere que a menor concentración de harina o fécula, los gránulos pueden absorber agua sin competir demasiado, mientras que a concentraciones más altas, la competencia se vuelve más intensa limitando la absorción de agua para el hinchamiento. Esto puede explicar también la tendencia observada en el maíz blanco donde se estima que contenga una menor cantidad de gránulos de almidón debido a que su contenido de endospermo duro es mayor que en los granos de maíces pigmentados. Adicionalmente Martin y Fitzgerald (2002), observaron que en arroz el contenido de proteínas incrementa la cantidad de agua que absorbe durante el cocimiento por medio de una red de enlaces disulfuro.

Con respecto a las harinas de maíces tostados (Figura 19), el comportamiento de la harina de maíz blanco fue inverso al observado en las harinas de granos sin tostar; es decir, la capacidad e hinchamiento fue inferior en comparación con las harinas tostadas de granos pigmentados, aun cuando en estos últimos se conservó la tendencia a disminuir de la capacidad de hinchamiento conforme aumentó la concentración. Estas diferencias sugieren un efecto del tostado en los gránulos de almidón que impacta directamente en la capacidad de hinchamiento de los mismos.

La capacidad de hinchamiento en la harina de maíz tostado se comportó de manera muy similar al testigo, lo que sugiere que el tostado pudo haber dañado una cantidad de gránulos, particularmente de la superficie del grano ocasionando una menor competencia por la absorción de agua durante la gelatinización.

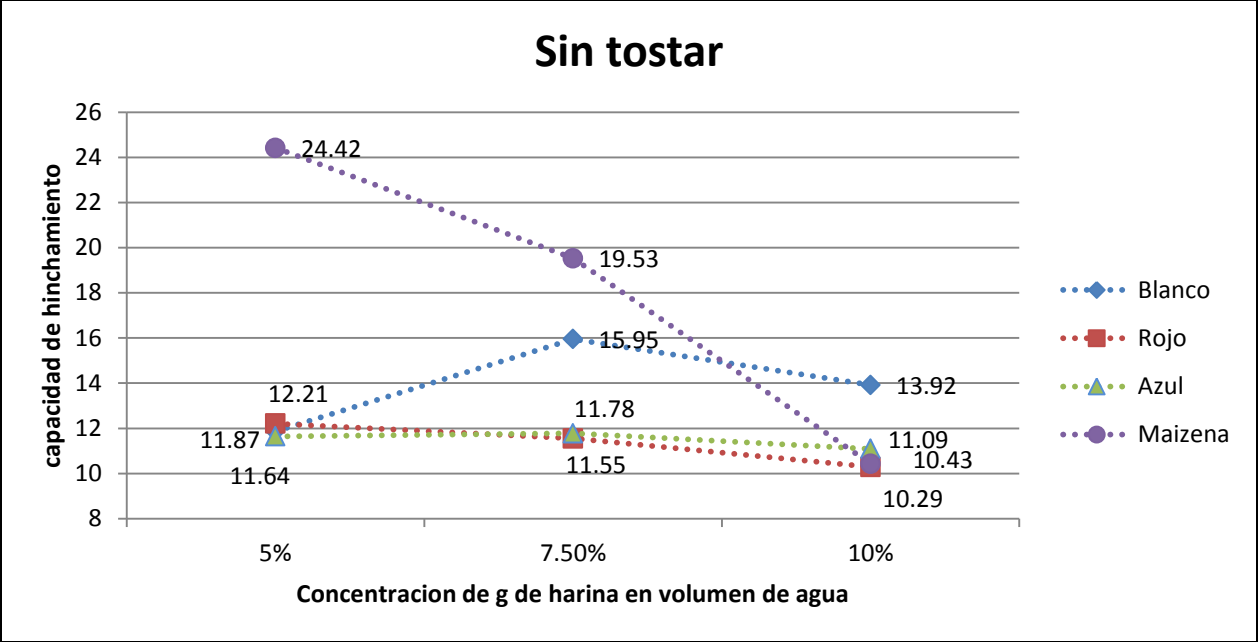


Figura 18. Capacidad de hinchamiento de harinas de maíz pigmentado sin tostar y el testigo.

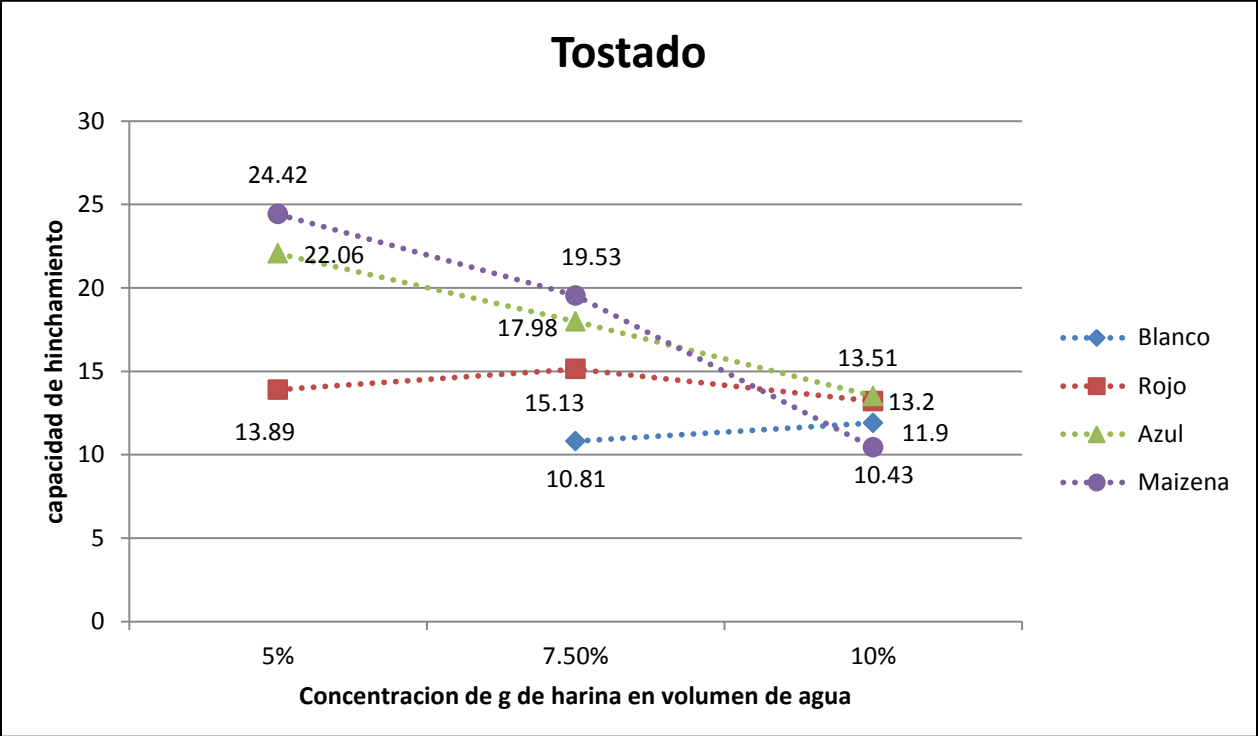


Figura 19. Capacidad de hinchamiento de harinas de maíz pigmentado tostado y el testigo.

6.2.8. Índice de solubilidad

El índice de solubilidad se utilizó para medir la cantidad de sólidos disueltos en el sobrenadante que resultó después de la centrifugación de las muestras de atole, a concentraciones de 5, 7.5 y 10% en harinas de maíz blanco, rojo y azul, tostado y sin tostar, y el testigo *MAIZENA*®.

En la figuras 20 y 21 se muestran los valores del índice de solubilidad para las harinas de granos de maíz pigmentado tostado y sin tostar a concentraciones de 5, 7.5 y 10%. En ambas gráficas los valores correspondientes al testigo son los mismos dado que se utilizaron para comparación con los valores de las harinas de maíz.

En general para todas las muestras (de granos tostados y sin tostar, de las diferentes variedades y el testigo) se observó una disminución en el índice de solubilidad conforme se incrementó la concentración. Este comportamiento indica que al aumentar la concentración, las harinas absorbieron más agua dejando una menor cantidad de agua libre para disolver sólidos.

Las harinas de granos pigmentados sin tostar (Figura 20) mostraron un comportamiento similar en las tres concentraciones, mientras que la harina de granos de maíz blanco sin tostar reportó valores de índice de solubilidad de 19.16%, por debajo de los valores de los maíces pigmentados, en promedio. Esto concuerda con lo observado en la capacidad de hinchamiento donde la harina de granos de maíz blanco sin tostar mostró valores superiores a los de las harinas de granos pigmentados; es decir, la cantidad de agua que retuvo fue mayor dejando una menor cantidad disponible para disolver sólidos solubles.

En las harinas de granos tostados (Figura 21) el índice de solubilidad para aquella de maíz blanco fue mayor que el de las harinas de granos tostados pigmentados. Lo cual coincide con los resultados de la capacidad de hinchamiento, que también para las harinas de maíz blanco tostado fue menor que el de las harinas de maíz pigmentado tostado. Es decir, hubo una mayor cantidad de agua disponible en las harinas de maíz blanco tostado, incrementando así su índice de solubilidad.

El comportamiento del índice de solubilidad del testigo a través de las diferentes concentraciones fue de manera inversa a lo observado en las harinas de maíz pigmentado, aun cuando la concentración en que varió (7% y 24.95) fue similar a la variación en las harinas de maíz. Mientras que en las harinas de maíz el índice de solubilidad disminuyó al incrementar la concentración, en el testigo fue a la inversa, incrementó el índice de solubilidad. Esto pudo deberse a la ausencia de proteína en el testigo, y en consecuencia una menor cantidad de enlace disulfuro que interactúan con las cadenas de amilosa liberadas de los gránulos de almidón.

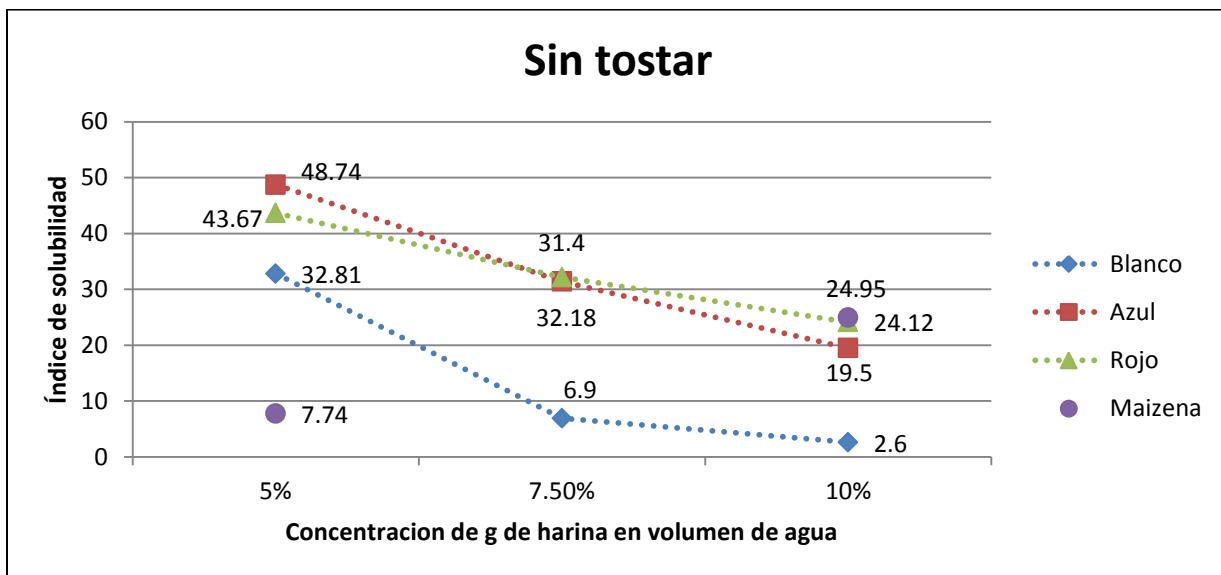


Figura 20. Índice de solubilidad en los atoles de maíz pigmentado sin tostar y el testigo.

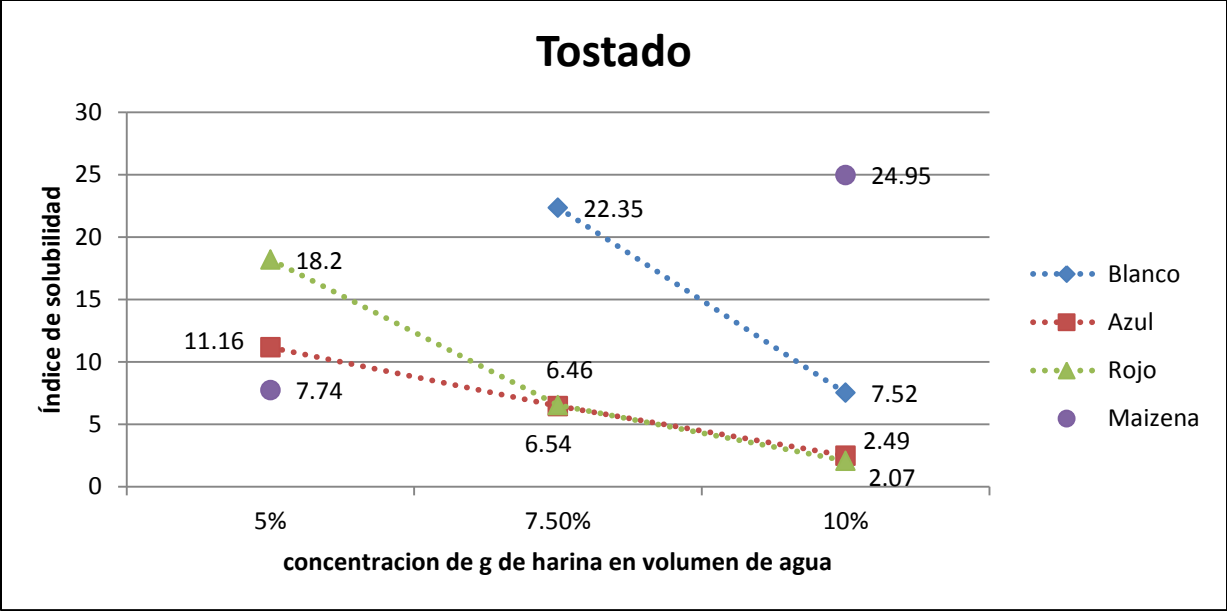


Figura 21. Índice de solubilidad de atoles de maíz pigmentado tostado y el testigo.

7. CONCLUSIONES

Las harinas para preparar atole a base de maíz pigmentado presentan ventajas nutricionales con respecto a las harinas elaborados con fécula de maíz, ya que posee un mayor contenido de proteína y carbohidratos dado que se fabrica a partir de maíz integro. Esto a pesar de que las harinas para preparar atoles a base de fécula de maíz son fortificadas con algunas vitaminas y minerales.

En general los maíces de color exhibieron características similares en la mayoría de las propiedades del grano y las harinas. El tratamiento térmico de tostado ocasionó cambios sustantivos en el grano y sus cualidades para la preparación de atoles principalmente en color, actividad de agua, índices de absorción y solubilidad, así como sus índices de hinchamiento y solubilidad.

El tostado representa ventajas en términos del incremento en la capacidad de hinchamiento, cambios en las propiedades sensoriales e incluso puede controlar aflatoxinas. Sin embargo, es posible que la disminución en la capacidad antioxidante de las antocianinas y flavonoides debido al tratamiento térmico sea de importancia nutricional.

8. RECOMENDACIONES

Los resultados parciales obtenidos en este trabajo muestran que el atole de maíz pigmentado tostado, es más nutritivo y puede tener una mejor aceptación sensorial en comparación con el atole preparado a base de harina comercial (*MAIZENA®*) por lo que se recomienda profundizar en el estudio de las características sensoriales de este producto, así como en el efecto en sus antioxidantes.

El maíz pigmentado presenta ventajas nutracéuticas y farmacológicas debido a su alto contenido de antocianinas presentes en su capa aleurona y pericarpio; sin embargo, es posible que el tratamiento de tostado pueda afectar sus beneficios antioxidantes. Por lo que se recomienda hacer un estudio sobre el perfil de antocianinas en harinas a base de maíz pigmentado en el tratamiento tostado.

Existe poca evidencia de resultados de investigación realizados sobre harinas de maíz íntegro para la elaboración de atole, este trabajo es una aportación y se sugiere que se continúe con la investigación de este tema.

9. LITERATURA CITADA

- Agama-Acevedo E., Ottenhof M. A., Farhat I. M., Paredes-Lopez O, Ortiz-Cereceres J. y Bello-Pérez L. A. (2004). Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. INCI, nov. vol.29, no.11, p.643-649. ISSN 0378-1844.
- Antonio M. M., Vázquez A. J. L., García S. G., Miranda C. S., Mejía C. J. A. y García C. F. V. (2004). Variedades criollas de maíz azul chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Revista fitotecnia Mexicana 27 (1): 10.
- Billeb S. A. C., Bressani R. (2001). Características de cocción por Nixtamalización de once variedades de maíz Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. ALAN v.51 n.1 supl.51 Caracas mar.:86
- Contreras L. E., Jaimez O. J., Porras M. G., Juárez S. L. F., Añorve M. J. y Villanueva R. S.(2010). Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto. ALAN. 60 N° 2: 184,185.
- Cuevas M. E., Antezana A. y Winterhalter P. (2008). Análisis y caracterización de Antocianinas en diferentes variedades de maíz (*zeamays*) boliviano. Memorias, red-alfa lagrotech, comunidad europea. Cartagena pp. 85, 86,
- Del Pozo-Insfran. D., Brenes C.H., O. Serna S. S. O., Talcott S. T.(2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. Food Research International 39: 696–703
- FAO (2010) Foods and Agriculture Organization of the United Nations. Depósito de documentos. Accesado el 03/Marzo/2012
- Felsman R.J., Harvey R.W., Linnerud A.C., y Smith F.H. (1976). Effect of roasting temperature on corn grain charactersitics. Journal of Animal Science. 42 (2) 476 480.
- Gear J. R. E. (2006) El cultivo del maíz en la Argentina Maizar.Serie de informes especiales de ILSI Argentina, volumen II: Maíz y Nutrición: 4
- Hernández U. J. P. (2008). Tortilla de maíz pigmentado digestibilidad del almidón aspectos fisicoquímicos y moleculares. IPN. pp.
- INEGI (2011) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática <http://www.inegi.gob.mx/>.Accesado el 24/Ene/2012
- Laria J., E. Meza, Mondragon M., Silva R., Peña J.L. (2005). Comparison of overall water uptake by corn kernel with and without dissolved calcium hydroxide at room temperature. Journal of Food Engineering 67 (1) 451–456.
- Martin M., Fitzgerald M.A. (2002). Proteins in rice grains influence cooking properties. Journal of Cereal Science. 36, 285-294.
- Massieu T. Y., Lechuga M. J. (2009) El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo, Análisis Económico. pp. 282.

- Melgarejo M. (2006) El maíz: su importancia histórica en la cultura americana ASAGA. Serie de informes especiales de ILSI Argentina, volumen II: Maíz y Nutrición: 22 - 25
- Mora-Rochin S, Gutiérrez-Urbe J. A., O. Serna-Saldivar S. O., Sánchez-Peña P., Reyes-Moreno C., Milán-Carrillo J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 52: 502, 506
- Osorio B., Romo M., Mejía L., Rivera C., Miranda S., Rueda –Enríquez S. M. (2012) Evaluación de las propiedades termodinámicas, fisicoquímicas y análisis químico proximal de atole de maíz. 4 Congreso internacional, de nixtamalización. Memorias 2012: 78.
- SAGARPA (2012) Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/>Accesado el 24/Ene/2012
- Salinas M. Y., Cruz C. F. J., Díaz O. S. A., Castillo G. F. (2012) Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (1): 33 – 40, 2012
- Salinas M. Y., Soria R. J., Espinosa T. E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. INIFAP, folleto técnico 42 (2010): 6
- SE (2011) Secretaría de economía. Análisis de la cadena de valor maíz – tortilla: situación actual y factores de competencia local. <http://www.economia.gob.mx/> Accesado el 21/Abril/2012
- Serratos H. J.M. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano *Greenpeace México*: 7, 12, 13, 26
- SIAP (2010) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Situación actual y perspectivas “1996 – 2010”.<http://w4.siap.gob.mx> Accesado el 15/Marzo/2012
- Watson S. A., Sanders E.H. Wakely R.D. y Williams C.B. 1955. Peripheral cells of the endosperm of grain sorghum and corn and their influence on starch purification. *Cereal Chem.* 32:165-182.
- Wikipedia (2012) Atole. <http://en.wikipedia.org/wiki/Atole>. Accesado el 24/Marzo/2012.