



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

**ELABORACIÓN DE UNA GOLOSINA TIPO MAZAPÁN A
PARTIR DE MAÍZ AZUL (*Zea mays* L.)**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

P R E S E N T A

GRISELDA ALCÁNTARA SÁNCHEZ



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



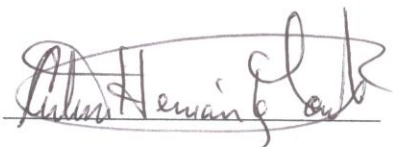
Enero 2014

Chapingo, Estado de México

**ELABORACIÓN DE UNA GOLOSINA TIPO MAZAPÁN A
PARTIR DE MAÍZ AZUL (*Zea mays* L.)**

Tesis realizada por **Griselda Alcántara Sánchez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**



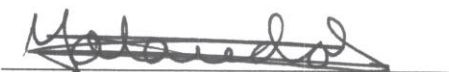
Presidente

Dr. Arturo Hernández Montes



Secretario.

Dra. María Gricelda Vázquez Carillo



Vocal

Dra. Yolanda Salinas Moreno

DEDICATORIAS

A Dios porque me enseñó a no rendirme, más bien, aunque el hombre que somos exteriormente se va desgastando, ciertamente el hombre que somos interiormente va renovándose día a día (2 Cor 4:16).

A mis padres; Luz María y Floriberto

A mis hermanos; Dina, Marcos y Gaspar

A mis cuñadas Yolanda y Victoria

A mis sobrinos; Denisse e Iker

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por haber financiado mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por abrirme sus puertas al conocimiento y darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida profesional.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por confiar en mí, por su paciencia y ayuda invaluable en la realización de este trabajo de investigación.

A la Dra. Gricelda Vázquez Carrillo por la disponibilidad e interés en esta investigación.

A la Dra. Yolanda Salinas Moreno por su tiempo y gran ayuda en la realización de este trabajo.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por su apoyo y buena disposición siempre que la necesité.

Al M.C. Ramón Huerta Zurita por su amable disposición y enseñanza en el proceso de germinación.

Al Dr. José Luis Arellano Vázquez por proporcionar los maíces azules.

Al Técnico Mateo Barrientos Reyes del Laboratorio de Semillas por brindarme las facilidades en el uso de dicho laboratorio.

Al Químico Cecilio Bautista Bañuelos del Laboratorio de Usos Múltiples por su disposición en el uso de equipos y reactivos.

A la M. C. Ofelia Buendía González por su buena disposición en el uso del laboratorio de panificación.

A la Dra. Rosario García Mateos por facilitarme el equipo de liofilización.

Al Profesor Félix Esparza Torres por el apoyo en el laboratorio de alimentos.

Al Señor Carlos Saldívar y su esposa Julieta, de la empresa Qualitas, por compartirme sus conocimientos en el área de innovación de productos.

Al M.C. Armando Magdaleno Torres Chicolatl por sus palabras de apoyo, su paciencia y su bondad desinteresada.

A la Secretaria Esperanza Salinas Banda porque siempre mostro apoyo y facilidad en diversos trámites.

Al personal del Laboratorio de Calidad Maíz del Instituto Nacional e Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Viridiana, Luz, Erandi, Aurora, Edith, Sr. Lino y Sr. Miguel.

Al panel de evaluación sensorial; David, Lupita, Roberto, Gaby, José Luis, Miriam, Sinaí, Edith, Esther y Bezaleel.

A mis compañeros Beatriz, Azalia, Rosa, Sofía, Armando, Daniel, Alejandro y Hugo porque hicieron agradable mi estancia durante la maestría.

Y sin lugar a dudas a todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron en la realización de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Originaria del municipio de Zautla, Estado de Puebla. En 2008 obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Durante 2008 hasta 2010 realizó actividades de apoyo a la investigación, diseño, desarrollo y análisis de experimentos relacionados con la calidad de tubérculos de papa, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). En 2010 a 2011 ingresa a la empresa Grupo PM S. A. de C.V., como soporte técnico del área de productos frescos de frutas y verduras.

ELABORACIÓN DE UNA GOLOSINA TIPO MAZAPÁN A PARTIR DE MAÍZ
AZUL (*Zea mays* L.)

DEVELOPMENT OF A CANDY TYPE MARZIPAN FROM BLUE
CORN (*Zea mays* L.)

Griselda Alcántara-Sánchez G¹, Arturo Hernández- Montes²

RESUMÉN

El proceso de germinación y secado fueron usados para preservar la mayor cantidad de fitoquímicos en maíz azul y elaborar golosinas tipo mazapán con y sin maíz germinado. Se estudiaron híbridos de maíz azul, los cuales se germinaron a 15 y 25°C, durante 0, 48 y 96 h. Se evaluó el secado en estufa (30, 50 y 70°C; 18 h) y en microondas (180, 360 y 540 W; 30 min) y se cuantificaron antocianinas, fenoles y actividad antioxidante (AA). La germinación a 48 h y 25 °C, y el posterior secado en estufa a 70 °C y 18 h minimizó la pérdida de antocianinas a un 20 %, e incrementó los fenoles (36%) y AA (18%). La evaluación sensorial demostró que la golosina elaborada con maíz azul no germinado fue la más aceptada por su sabor dulce, sabor a pinole y su cohesividad, los cuales se correlacionaron con el porcentaje de grasa, proteína, pH y antocianinas.

Palabras clave: fitoquímicos, germinación, secado y calidad sensorial.

¹ Alumna

² Director

ABSTRACT

The processes of germination and drying were used to preserve the biggest quantity of phytochemicals in blue corn to develop candies type marzipan with and without germinated corn. Hybrids of blue maize were studied, which were germinated at 15 and 25 ° C for 0, 48 and 96 h. Oven (30, 50 and 70 ° C, 18 h) and microwave (180, 360 and 540 W, 30 min) drying was evaluated and anthocyanins, phenolics and antioxidant activity (AA) were quantified. Germination at 48 and 25 ° C, and drying in an oven at 70 ° C and 18 h minimized anthocyanins loss by 20 % and increased phenols (36%) and AA (18%). Sensory evaluation showed that the candy made with blue no germinated corn was accepted by the sweet taste, pinole flavor and its cohesiveness, which were correlated with the percentage of fat, protein, pH and anthocyanins.

Keywords: phytochemicals, germination, drying and sensory quality.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iv
RESUMÉN.....	v
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
2 MARCO TEÓRICO.....	1
2.1 Producción de maíz en México	1
2.1.1 Regiones de cultivo de maíz azul	2
2.2 Particularidades de los maíces azules.....	2
2.2.1 Características agronómicas de los maíces azules.....	2
2.2.2 Características de la planta del maíz	3
2.2.3 Características del grano de maíz azul.....	4
2.2.4 Valor nutritivo.....	7
2.2.5 Principales usos del maíz azul	8
2.2.6 Pigmentos presentes en maíz azul	8
2.3 Mejoramiento de la calidad del maíz	8
2.3.1 Híbridos	9
2.4 Germinación	9
2.4.1 Efecto de la temperatura en la germinación.....	10
2.4.2 Cambios en nutrientes y fitoquímicos en la germinación.....	11
2.4.3 Fenoles, antocianinas y actividad antioxidante en la germinación.....	11
2.5 Compuestos fenólicos.....	12
2.5.1 Importancia y clasificación de los compuestos fenólicos.....	13
2.5.2 Antocianinas	13
2.5.3 Biosíntesis de antocianinas	14

2.5.4 Factores que afectan la estabilidad y color en las antocianinas	15
2.6 Antioxidantes naturales	16
2.7 Secado de alimentos	17
2.7.1 Secado por microondas	18
2.7.2 Secado convencional.....	19
2.8 Golosina tipo mazapán a partir de cereales y leguminosas	19
2.9 Evaluación sensorial de algunos cereales.....	20
3 BIBLIOGRAFÍA	22
CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GERMINACIÓN Y SECADO DE MAÍZ AZUL	29
RESUMEN.....	30
ABSTRACT	30
1 Introducción	31
2 Materiales y métodos	32
2.1 Material vegetal	32
2.2 Acondicionamiento y caracterización físicas de los granos	32
2.3 Proceso de germinación.....	32
2.4 Secado de maíz azul germinado	34
2.5 Variables respuesta.....	35
2.5.1 Peso hectolítrico (densidad aparente)	35
2.5.2 Dureza (método indirecto mediante el índice de flotación).....	35
2.5.3 Peso de cien granos.....	36
2.5.4 Color	36
2.5.5 Triptófano	36
2.5.6.1 Extracción.	37
2.5.6.2 Cuantificación de antocianinas.	37
2.5.6.3 Cuantificación de fenoles solubles totales.	37
2.5.7 Actividad antioxidante (ABTS ⁺).....	38
2.5.8 Actividad acuosa.....	39
2.5.9 Humedad.....	39
2.6 Análisis estadísticos	39

3 Resultados y discusión	40
3.1. Análisis físico del grano	40
3.2 Germinación de maíz azul	41
3.2.1 Efecto de los factores sobre las variables respuesta	41
3.2.1.1 Antocianinas.....	41
3.2.1.2 Fenoles solubles totales.....	44
3.2.1.3 Actividad antioxidante.	46
3.2.1.4 Triptófano.....	47
3.2.1.5 Color.....	47
3.3 Secado de maíz azul germinado	49
3.3.1 Curvas de secado	49
3.3.2 Humedad y actividad acuosa	51
3.3.3 Contenido total de antocianinas.....	53
3.2.4 Fenoles solubles totales y actividad antioxidante	55
3.3.5 Color	57
4 Conclusiones	59
5 Bibliografía	60
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE GOLOSINAS TIPO MAZAPÁN ELABORADAS CON MAÍZ AZUL.....	64
RESUMEN.....	65
ABSTRACT	65
1 Introducción	66
2 Materiales y métodos.....	66
2.1 Elaboración de la golosina	66
2.2 Variables respuesta.....	70
2.2.1 Color	70
2.2.2 Actividad acuosa	70
2.2.3 Humedad.....	70
2.2.4 Cenizas.....	70
2.2.5 Proteína (Método Technicon)	70
2.2.6 Extracto etéreo o contenido de aceite	71

2.2.7 Potencial de hidrogeno (pH)	71
2.2.8 Análisis de perfil de textura (TPA).....	71
2.3 Pruebas sensoriales.....	72
2.3.1 Análisis sensorial descriptivo	72
2.3.2 Evaluación con consumidores	73
2.4 Análisis estadísticos	73
2.4.1 Análisis fisicoquímicos.....	73
2.4.2 Análisis de datos sensoriales.....	73
2.4.3 Relación de variables	74
3 Resultados	75
3.1 Caracterización química, de color y textura	75
3.2 Análisis sensorial descriptivo.....	76
3.3 Análisis de componentes principales	79
3.4 Prueba de aceptabilidad.....	81
3.5 Relación de variables fisicoquímicas y sensoriales.....	83
4 Conclusiones	88
5 Bibliografía	88

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.	6
Cuadro 2. Composición química proximal en maíz azul, amarillo y blanco.	7
Cuadro 3. Temperaturas cardinales de cinco diferentes semillas.	10
Cuadro 4. Tratamientos para la germinación de dos híbridos azules HA912 y HA913 a temperaturas de 15 y 25 ° C por 0, 48 y 96 h.	33
Cuadro 5. Etapas del proceso de germinación para los híbridos azules HA912 y HA913.	34
Cuadro 6. Tratamientos para el secado de maíz azul en estufa y horno de microondas.	35
Cuadro 7. Caracterización física de los híbridos de maíz azul para los Valles Altos de México HA912 y HA913.	41
Cuadro 8. Efecto de genotipo y condiciones de germinado en variables físicas químicas y de maíces azules.	42
Cuadro 9. Contenido de humedad final y actividad acuosa, para granos de maíz azul germinado y secado en horno de microondas y estufa.	52
Cuadro 10. Formulación de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas con maíz azul.	67
Cuadro 11. Descripción del proceso de elaboración de una golosina tipo mazapán a partir de maíz azul.	68
Cuadro 12. Valores promedio para análisis fisicoquímico de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas a partir de maíz azul.	75

Cuadro 13. Valores promedio para las variables mecánicas medidas por análisis de perfil de textura de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas a partir de maíz azul.....	76
Cuadro 14. Lenguaje sensorial para el análisis descriptivo cuantitativo de golosina tipo mazapán elaborada con maíz azul.....	77
Cuadro 15. Valores de intensidad para siete atributos sensoriales identificados en cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul germinado.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional de los principales cereales para 2012.	1
Figura 2. Patrón de acumulación de antocianinas en los órganos de la planta de maíz a través del ciclo de cultivo, con énfasis en vainas, laminas foliares y espiga.	3
Figura 3. Partes estructurales del grano de maíz.	5
Figura 4. Antocianidinas más comunes en los alimentos.	15
Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de germinación y obtención de muestra para evaluación de fitoquímicos para los híbridos azules HA912 y HA913.	33
Figura 6. Ángulo de tono (hue) y pureza (croma) del color de harina de maíz azul germinada a 0, 48 y 96 h.	48
Figura 7. Pérdida de humedad para maíz azul germinado y secado en estufa a tres temperaturas (30, 50 y 70°C) por 18 h.	50
Figura 8. Pérdida de humedad para maíz azul germinado y secado en microondas a tres potencias (180, 360 y 540 Watts), por 30 min.	51
Figura 9. Efecto del método y la temperatura de secado en el contenido total de antocianinas de maíces azules germinados: estufa (T1, T2, T3) y horno de microondas (T4, T5, T6).	54
Figura 10. Fenoles solubles totales y actividad antioxidante para seis tratamientos secados en estufa (T1, T2, T3) y horno de microondas (T4, T5, T6).	56

Figura 11. Variables de color y contenido total de antocianinas (CTA) para grano (izquierda) y harina (derecha) de maíz germinado y secado por estufa (T1-T3) y horno de microondas (T4-T6).	58
Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la golosina tipo mazapán elaborada a partir de maíz azul.....	69
Figura 13. Atributos de apariencia, aroma, sabor y textura considerados por un panel de análisis descriptivo cuantitativo para cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.	79

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Producción de maíz en México

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político, social y hasta religioso. A nivel nacional y con respecto a la producción de cereales, el maíz ocupa el 66 % de la producción, seguido del sorgo y trigo (Figura 1). Los estados productores de maíz con mayor presencia nacional son; Sinaloa (16 %), Jalisco (15 %), Michoacán (8 %) y México (7 %) (SIAP, 2012).

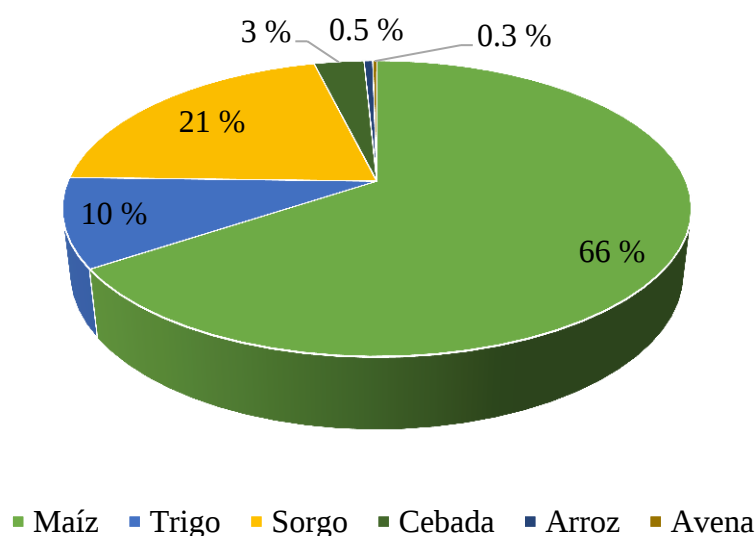


Figura 1. Producción nacional de los principales cereales para 2012.

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP).

En los Valles Altos centrales de México se cultivan alrededor de un millón 500 mil ha de maíz (*Zea mays* L.), de los cuales 85 % se siembran en temporal o secano. Aproximadamente, un tercio de los productores de maíz en temporal siembran al menos un

tercio de su parcela con maíz azul u otro color, lo que equivale a una superficie de 150 mil ha, de las que se cosechan unos 300 mil toneladas de grano de color. Las estadísticas oficiales no registran el color del grano, de manera que es complicado tener la estimación de la producción de grano azul y rojo (Salinas *et al.*, 2010).

2.1.1 Regiones de cultivo de maíz azul

En el Estado de México se estima que la superficie cultivada de maíces azules representa 4.8 % de la superficie cultivada de maíz; la superficie estimada de maíz a nivel estatal del ciclo primavera-verano 2008, fue de 567 662 ha; que representa 25.41 % del total de la superficie del Estado de México, y 49.37 % de la frontera agrícola estatal (Salinas *et al.*, 2010). Se estima una cosecha anual de 300 mil toneladas de granos pigmentados, y los principales estados productores de maíz son; Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo (Antonio *et al.*, 2004).

2.2 Particularidades de los maíces azules

2.2.1 Características agronómicas de los maíces azules

Las características agronómicas que varían dentro de los maíces azules son; días a floración masculina y femenina, número de hileras por mazorca, largo y ancho del grano (Espinosa *et al.*, 2006). Dentro de los principales problemas están al acame que puede llegar a 30 % de la parcela, así como también algunas variedades son susceptibles a la pudrición de mazorcas, probablemente debido a la textura harinosa de su grano (Antonio *et al.*, 2004). Arellano *et al.* (2003) determinaron que las variedades de maíz azul son sensibles a condiciones de sequía y temperatura distintas a su lugar de origen.

2.2.2 Características de la planta del maíz

En la planta de maíz, las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, que abarcan desde tallo, vainas, hojas e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en las brácteas, el raquis, y el grano. Las vainas foliares son los órganos en los cuales comienza a expresarse la pigmentación, seguido de las láminas foliares, el tallo y la espiga, así como el jilote inferior y superior, y el pedúnculo (Figura 2).

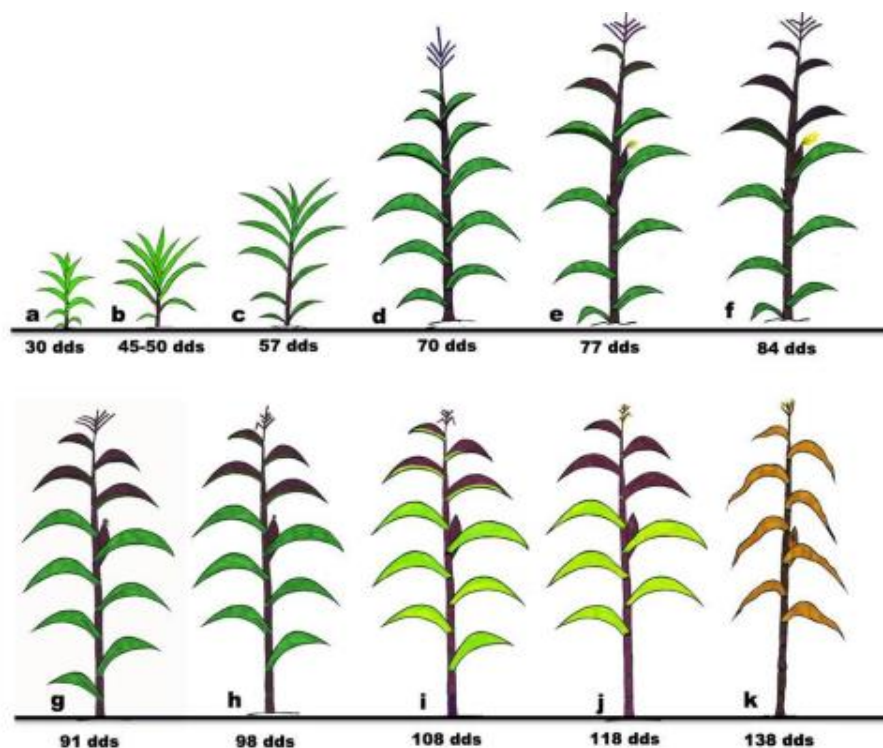


Figura 2. Patrón de acumulación de antocianinas en los órganos de la planta de maíz a través del ciclo de cultivo, con énfasis en vainas, laminas foliares y espiga.

La pigmentación morada muestra que hay acumulación de antocianinas. El cambio en la intensidad del color de las láminas foliares indica en a) y b) que éstas comienzan su desarrollo; c) proceso de maduración, d), e), f), g) y h) mayor acumulación de antocianinas, i), j) y k) proceso de senescencia y pérdida de láminas. Fuente: Mendoza, 2012.

El olote y el grano son los órganos que finalizan la pigmentación y generalmente son en los que más se ha enfocado el mejoramiento genético y/o la presión de selección para pigmentación de maíz, debido a la necesidad de ofertar grano blanco a la industria de la

masa y la tortilla que provengan de mazorcas con olote blanco, puesto que los granos obtenidos de mazorcas con lotes rosados y rojos contienen compuestos fenólicos que le confieren un color pardo a los productos derivados (Mendoza, 2012).

2.2.3 Características del grano de maíz azul

La mayoría de los maíces azules son típicamente de grano harinoso, el endospermo es de textura suave. El color azul se encuentra en la capa de células llamada aleurona, donde una mayor concentración de pigmentos de antocianina hace que los granos parezcan negros (Salinas *et al.*, 2010). Estructuralmente el maíz está compuesto principalmente de cuatro partes anatómicas que son; el pericarpio, el pedicelo, el endospermo y el germen (Figura 3).

Pericarpio. Éste es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio está compuesto por una capa de cutícula cerosa que cubre a la epidermis, ambas retardan la absorción de humedad al interior del grano por el mesocarpio, compuesto por células alargadas y estrechamente adheridas con numerosas cavidades que proveen interconexiones capilares entre todas las células y facilitando la absorción de agua. Todas las partes del pericarpio están compuestas por células muertas que son de forma tubular (Watson, 2003; Paredes-López *et al.*, 2006).

Pedicelo. Representa aproximadamente el 0.8 % del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote. Está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. Esta estructura es responsable de la absorción de líquidos del pedicelo al pericarpio (Watson, 2003).

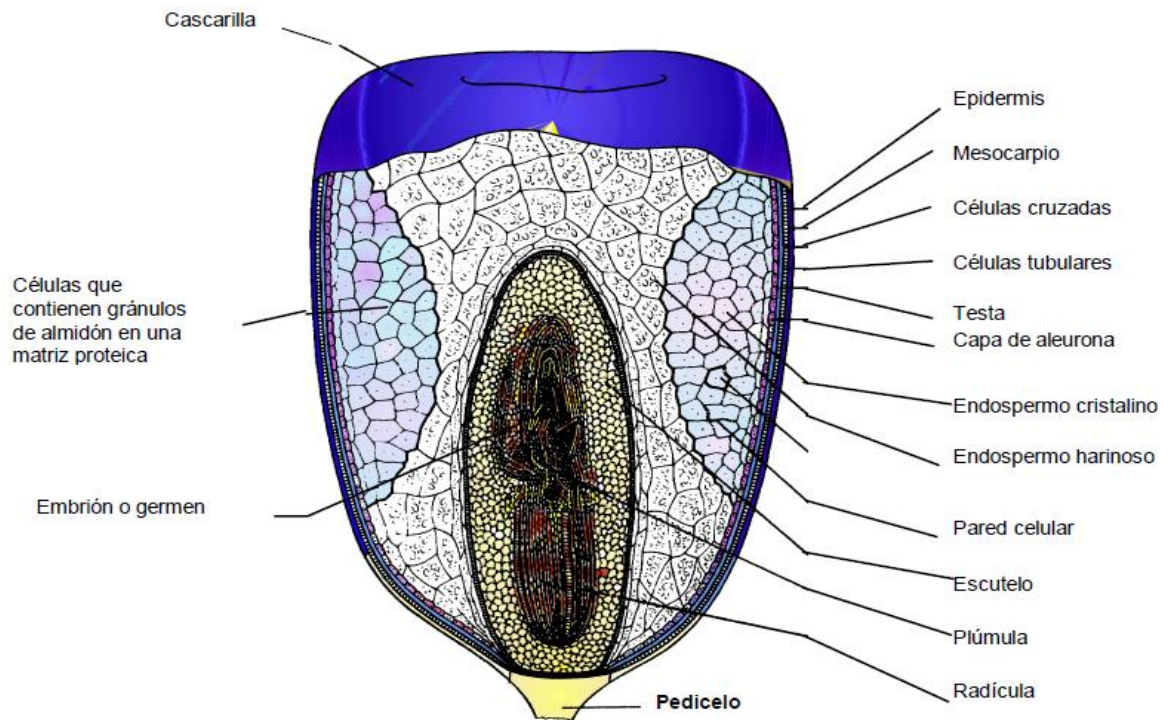


Figura 3. Partes estructurales del grano de maíz.

Fuente: Véles, 2008.

Endospermo. Está compuesto por células alargadas con paredes delgadas de material celulósico, empacadas con gránulos de almidón (de 5 a 30 μm) sumergidos en una matriz continua proteica (almidón-proteína), es depositada y contenida en grandes estructuras celulares. La unión e integridad estructural entre la proteína y los gránulos de almidón hace completamente duro al grano de maíz. El endospermo está compuesto de dos regiones: una harinosa y otra córnea, generalmente en una relación de 2:1. La región harinosa del endospermo es caracterizada por células grandes, por gránulos grandes y redondos y una delgada matriz proteica. El endospermo córneo tiene pequeñas células, pequeños gránulos de almidón y una densa matriz proteica. El endospermo constituye aproximadamente el 82.3 % del grano en peso seco y está compuesto principalmente por almidón (86.4 %) (Watson, 2003).

Germen. Es el embrión u órgano reproductor del grano y está compuesto por plúmula, radícula y escutelo. El escutelo constituye el 90 % del germen y funciona como un órgano o almacén de nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas sintetizadas durante la etapa inicial de germinación hacia la plúmula (Watson, 2003). Todas las células del embrión y el escutelo son potencialmente activadas metabólicamente durante una hidratación (Watson, 2003).

Como se muestra en el Cuadro 1, 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 (0,1 %) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 %), aproximadamente 8 % de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Cuadro 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.

Componente químico (%)	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas (%)	3.7	8	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 (%)	7.3	87.6	8.3
Azúcar (%)	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 2003.

2.2.4 Valor nutritivo

El grano azul con endospermo harinoso posee mayor valor alimenticio que el grano amarillo, pues el contenido de lisina en el maíz azul es de 2.3 mg g⁻¹ contra 1.4 mg g⁻¹ registrado en maíz híbrido amarillo, en general el contenido de proteína y minerales del maíz azul son más altos con respecto a otros maíces. También contiene niveles más altos de flavonoides, que actualmente son utilizados como fuentes de antioxidantes (Dickerson, 2003). No obstante, que tiene algunas ventajas nutricionales, su atractivo principal está en su color azul y sabor diferente (Antonio *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Composición química proximal en maíz azul, amarillo y blanco.

Compuesto	Maíz azul	Maíz amarillo	Maíz blanco
Humedad (%)	10.6	12.5	8
Fibra (g)	12.2	2.5	6.5
Carbohidratos (g)	74.6	76.0	76.0
Proteínas totales (g)	8.0	7.88	7.0
Grasas totales (g)	4.3	-	8.0
Cenizas (g)	0.6	0.5	1.0

Fuente: Casanueva *et al.*, 1995; Véles, 2004; Nweke, 2010.

Durán (2008) menciona que el maíz azul tiene menos almidón y menor índice glucémico que las variedades de consumo más frecuentes (blanco y amarillo). El menor contenido de almidón parece no afectar en la elaboración de tortillas, copos y palomitas de maíz con maíces de dureza suave, ya que aportan menos calorías, lo que le hace ideal para la alimentación y, sobre todo, para prevenir padecimientos tales como la diabetes. La

composición proximal en maíz azul, maíz blanco y maíz amarillo se expresan en el Cuadro 2.

2.2.5 Principales usos del maíz azul

Existen reportes que indican que desde épocas remotas el agricultor ha seleccionado los tipos de maíz de acuerdo con sus preferencias, necesidades alimentarias, económicas, y con las características ambientales de su área de cultivo; de este modo, al maíz azul ha sido relacionado con la precocidad y se ha utilizado para la elaboración de atole, tortillas, tlacoyos, gorditas, pinole y una gran variedad de alimentos mexicanos (Antonio *et al.*, 2004).

2.2.6 Pigmentos presentes en maíz azul

El maíz es capaz de acumular antocianinas, de las cuales la más abundante es la cianidina 3-glucosido (De Pascual-Teresa *et al.*, 2002). Más de 20 genes que juegan un rol estructural o regulatorio en la ruta biosintética del maíz han sido descubiertos. Las reacciones de biosíntesis catalizadoras de antocianinas se llevan a cabo en el citosol, entonces estos pigmentos son almacenados en la vacuola, probablemente con el reclutamiento de la proteína codificada por el gen *ZmMRP3* (Goodman *et al.*, 2004). Los colores típicos azules y morados de las semillas de maíz tropical son debidos a los genes regulatorios *B/Pl* que confieren el color al pericarpio y también a la planta (Pilu, 2011).

2.3 Mejoramiento de la calidad del maíz

Además de la cocción en agua de cal, se conocen otros procedimientos que mejoran la calidad del maíz. Uno de ellos es la fermentación natural del maíz cocido, que aumenta la concentración de vitamina B y mejora la calidad proteínica (Wang y Fields, 1978). Se ha demostrado que el pozol, alimento hecho a base de maíz tratado con cal al que se deja fermentar naturalmente, es de mejor calidad que el maíz nativo o las tortillas. También es

conocido que la germinación del maíz mejora el valor nutritivo del mismo, al aumentar en cierta medida su contenido de lisina y triptófano (Tsai *et al.*, 1975; Martínez *et al.*, 1980) y hacer disminuir el de zeína.

2.3.1 Híbridos

Varios híbridos de maíz azul han sido desarrollados y están comenzando a emplearse, y además tienen la ventaja de que pudieran incrementar los rendimientos, reducir costos, y mejorar la disponibilidad de los maíces azules para su procesamiento. La característica principal de los híbridos es que tienen un endospermo más duro y pueden ser más fácilmente procesados con el equipo que se está utilizando en la industria (Betrán *et al.*, 2001). Otra característica de los maíces híbridos es que debido a que su endospermo es duro se disminuye el ataque de insectos durante su almacenamiento. Así también el acame que presenta es mucho menor y tiene el doble de producción, con respecto a los maíces criollos (Salinas *et al.*, 2010).

2.4 Germinación

La germinación comienza con el consumo de agua por una semilla seca y por un proceso llamado imbibición que es completado cuando una parte del embrión, usualmente la radícula, se extiende para penetrar la estructura que rodea a la semilla (Jiamyanggyuen y Oraikul, 2008). El proceso de la germinación puede dividirse arbitrariamente en varios eventos; 1) Imbibición. Proceso físico de absorción de agua, 2) Activación. Puesta en marcha de la maquinaria de síntesis y degradación, 3) División y elongación celular, 4) Ruptura de la cubierta seminal por el embrión, 5) Establecimiento de la plántula como un ente autónomo (Basra, 1995).

2.4.1 Efecto de la temperatura en la germinación

El proceso de germinación, como en todos los procesos fisiológicos está afectado por la temperatura. Para cada clase de semillas existe una temperatura mínima y una máxima en la que ocurre la germinación. Además, dentro del rango temperatura mínima-máxima, existe un punto en el que se obtiene máxima germinación y ésta ocurre más rápidamente; este punto corresponde a la temperatura óptima. Estas temperaturas se conocen como las temperaturas cardinales de germinación (Cuadro 3). También una descripción de cada intervalo de temperaturas de germinación se menciona a continuación (Basra, 1995):

Temperatura mínima. Por debajo de esta temperatura los procesos de germinación no se pueden detectar visualmente, dentro de un período razonable de tiempo. Bajas temperaturas pero por encima del punto de congelación no son letales a las semillas.

Cuadro 3. Temperaturas cardinales de cinco diferentes semillas.

Cultivo	Temperatura (°C)		
	Mínima	Optima	Máxima
Arroz	10-12	30-37	40-42
Maíz	8-10	32-35	40-44
Trigo	3-5	15-31	30-43
Tomate	20	20-35	35-40
Soya	8	32	40

Fuente: Basra, 1995.

Temperatura máxima. Es la temperatura por encima de la cual los mecanismos de germinación no operan y por lo tanto no se da crecimiento del embrión. En contraste con la temperatura mínima, la máxima es fácil de determinar ya que temperaturas superiores a la

máxima causan daños irreversibles a las semillas (excepción a esta regla son las semillas que entran en latencia a altas temperaturas).

Temperatura óptima. Esta se puede definir como la temperatura a la cual se da el porcentaje máximo de germinación en un mínimo de tiempo.

2.4.2 Cambios en nutrientes y fitoquímicos en la germinación

La germinación de cereales y pseudocereales tales como amaranto, maíz, trigo sarraceno, mijo, quínoa, arroz y sorgo muestran cambios en nutrientes como: proteínas, carbohidratos y lípidos (Botero *et al.*, 2012). También la germinación incrementa fitoquímicos, como por ejemplo antioxidantes; tocoferoles, carotenoides, vitamina C y compuestos fenólicos en cultivos como el arroz, trigo, maíz y mijo (Jiamyanggyuen y Oraikul, 2008). Nwanguma (1996) observó que durante el remojo de sorgo había un incremento en la concentración de polifenoles el cual podría ser debido a la síntesis *de novo* y la polimerización. Estos cambios varían de acuerdo a las prácticas de remojo, tiempo, temperatura y métodos de secado. Recientemente, el consumo de maíz germinado se ha incrementado. La harina de maíz germinado ha sido extensamente usados para productos de panadería, algunos tipos de pastas y en la fabricación de cerveza (Muller *et al.*, 2012).

2.4.3 Fenoles, antocianinas y actividad antioxidante en la germinación

Numerosos estudios han demostrado que el perfil nutricional y químico de los granos de diversos cereales, se alteran con la germinación. También se ha mencionado que desde el momento en que las semillas rompen la latencia, respuestas protectoras emergen a través de la síntesis de compuestos fenólicos y otros compuestos (Taiz y Zeiger, 1998). Un estudio es el realizado por Randhir y Shetty (2005) quienes investigaron el efecto de la oscuridad en la estimulación de polifenoles totales y su actividad antioxidante en maíz dulce germinado,

encontraron que la vía de los fenilpropanoides se estimuló durante la germinación oscura de maíz y consecuentemente el contenido de fenoles totales se incrementó en un valor de 4000 mg kg⁻¹. También señalan un aumento en la actividad antioxidante del 81% de inhibición de DPPH (2-difenil-1-picrilhidrazil) después de ocho días de germinación. En este estudio se mostró el incremento en la síntesis de compuestos fenólicos en presencia o ausencia de luz en brotes germinados de maíz.

En otro estudio realizado por Nava *et al.* (2008) optimizaron el proceso de germinación para incrementar el contenido de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en granos de maíz azul. Por medio de la manipulación de variables como el tiempo de remojo (24 h), germinación (96 h) y temperatura (25°C), encontraron que durante este proceso las antocianinas se incrementaron en un 43.01 %, mientras que la actividad antioxidante aumentó en un 53%. De acuerdo con los resultados se confirma que en la germinación se estimula la producción de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante. Al mismo tiempo señala las posibilidades de aprovechar los beneficios de estos metabolitos secundarios en la producción de una bebida fermentada.

Las antocianinas, al igual que otras sustancias fenólicas, se encuentran en la naturaleza en forma de glicósidos, siendo sus agliconas las antocianinas. La presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas de maíz, lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales, por ello el estudio de los pigmentos de maíz morado ha despertado un interés creciente (Cuevas-Montilla *et al.*, 2008).

2.5 Compuestos fenólicos

Son compuestos que tienen uno o más grupos hidroxilos insertados al anillo aromático. El fenol es el esqueleto base del grupo de los fenólicos, en donde el anillo aromático es el

benceno. Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, que engloba a más de 800 compuestos distintos. Su forma más frecuente es la de polímeros o ligninas, mientras que su presencia en los tejidos animales está relacionada con el consumo e ingestión de alimentos vegetales (Shahidi y Naczk, 1995). La distribución de los compuestos fenólicos en los tejidos y células vegetales varía considerablemente de acuerdo al tipo de metabolitos que se trate situándose en el interior de las células o en la pared celular (Adary y Modolot-Cosson, 1997).

2.5.1 Importancia y clasificación de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal, tanto frescos como procesados (Clifford, 1992). Su contribución a la pigmentación de los alimentos vegetales está claramente reconocida a través de las antocianinas, responsables de los colores rojo, azul, violeta, naranja y púrpura de la mayoría de las plantas, y de sus productos (Shahidi y Naczk, 1995). Los compuestos fenólicos se pueden agrupar en diferentes clases dependiendo de su estructura química básica (Figura 4); poseen un anillo aromático, derivado del benceno, con uno o más grupos hidróxidos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.) (Tsimidou, 1998).

2.5.2 Antocianinas

Las antocianinas forman parte de la familia de los polifenoles y se definen como flavonoides fenólicos. Representan el grupo más importante de pigmentos hidrosolubles detectables en la región visible por el ojo humano. Estos pigmentos son responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul en varias frutas, vegetales y cereales, acumulados en las vacuolas de la célula. Las antocianinas poseen diferentes funciones en la planta como son

la atracción de polinizadores para la posterior dispersión de semillas y la protección de la planta contra los efectos de la radiación ultravioleta y contra la contaminación viral y microbiana (Garzón, 2008).

2.5.3 Biosíntesis de antocianinas

Se ha establecido experimentalmente que al anillo A de las antocianinas se sintetiza por la ruta del ácido malónico con la condensación de tres moléculas de malonil-CoA, mientras que el anillo B se sintetiza por la ruta de ácido shikímico. El ácido shikímico da paso a la fenilalanina que por acción de una fenilalanina amonía liasa (PAL) y después de una pérdida de NH_3 se convierte en ácido p-coumárico. El p-coumaril-CoA luego participa en una reacción de condensación con las tres moléculas de malonil-CoA para formar una chalcona de 15 carbonos (C), reacción propiciada por una chalcona sintetasa. Este compuesto intermedio de 15 C es transformado en una flavanona en una reacción catalizada por una chalcona isomerasa. Finalmente, la flavanona es transformada en la correspondiente antocianidina por una reacción de hidroxilación en el carbono 3 seguida por una deshidratación. La molécula de antocianidina se estabiliza por glicosilación del heterociclo; reacción en la que interviene una glicosil transferasa y posterior posibles reacciones de metilación de los hidroxilos seguidas de acilaciones (Garzón, 2008).

Las antocianinas comúnmente encontradas en cereales son la cianidina, delphinidina, malvidina, pelargonidina, petunidina y peonidina. La estabilidad de estos compuestos aumenta conforme aumenta el número de metoxilos en el anillo B y disminuye de acuerdo a la disminución de hidroxilos. Como resultado, la antocianina más común es la cianidina (Timberlake y Henry, 1988) (Figura 4).

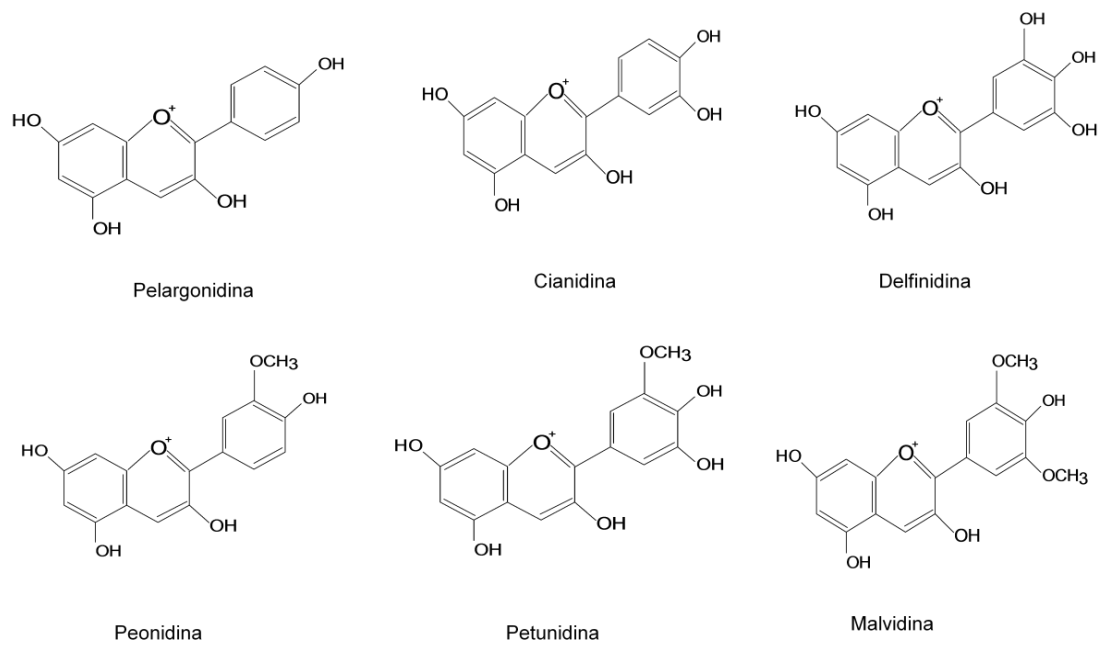


Figura 4. Antocianidinas más comunes en los alimentos.

Fuente: Garzón, 2008.

2.5.4 Factores que afectan la estabilidad y color en las antocianinas

La incorporación de las antocianinas en matrices alimenticias o productos farmacéuticos y cosméticos son limitadas debido a su baja estabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento (Wrolstad, 2000; Cevallos-Casals y Cisneros Zeballos, 2004). Factores como su misma estructura química, pH, temperatura, presencia de oxígeno y ácido ascórbico, concentración y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad del pigmento.

Efecto del pH. La acidez tiene un efecto protector sobre la molécula. En soluciones acuosas a valores de pH inferiores a dos, básicamente 100 % del pigmento se encuentra en su forma más estable o de ión oxonio o catión flavilio (AH^+) de color rojo intenso. A valores de pH más altos ocurre una pérdida del protón y adición de agua en la posición 2, dando lugar a un equilibrio entre la pseudobase carbinol o hemiacetal (B) y la forma chalcona (C), o de cadena abierta. Tanto el hemicetal como la chalcona, son formas incoloras y bastante inestables. A

valores de pH superiores a 7 se presentan las formas quinoidales (A , A^-) de color púrpura que se degradan rápidamente por oxidación con el aire (Hutchings, 1999).

Efecto de la temperatura. Incrementos de temperatura resultan en pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura de anillo con la consecuente producción de chalconas incoloras (Timberlake, 1980).

Otros factores. La concentración del pigmento y la actividad de agua de la matriz afectan la estabilidad del color. Garzón (2008) menciona que cuando la concentración de antocianinas alcanza valores altos, se presentan fenómenos de autoasociación entre dos cationes flavilio, dos formas hemiacetal, dos bases quinoidales, e inclusive, entre una base quinoidal y un catión flavilio y protegiendo la molécula de antocianina. Por otro lado, incrementos en la actividad de agua del medio causan degradación de las antocianinas probablemente debido a una mayor interacción entre el agua y el catión flavilio para formar la pseudobase inestable.

2.6 Antioxidantes naturales

Un antioxidante es una sustancia o molécula que puede prevenir reacciones entre componentes celulares y radicales libres. Los radicales son sustancias químicas altamente reactivas que pueden provocar daños en las membranas celulares, a las proteínas y al ADN (CIAD, 2009). Los fenoles son considerados fitoquímicos antioxidantes, debido a su anillo fenólico y sustituyentes hidroxilo pueden funcionar para atrapar electrones libres. Otros compuestos con actividad antioxidante son las antocianinas, que junto con los fenoles proporcionan la actividad antioxidante total de frutos y hortalizas. Wang y Jiao (2000), demostraron que frutos ricos en antocianinas evidencian una alta actividad antioxidante contra la presencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y contra los radicales peróxido ($ROO\cdot$), superóxido ($O_2^{\cdot-}$), hidroxilo ($\cdot OH$) y oxígeno singlete (1O_2).

Según Pokorni (2001) los antioxidantes tienen varias líneas de defensa; 1) Inhiben la formación de especies reactivas de oxígeno y radicales libres a través del secuestro de iones metálicos, por reducción de hidroperóxidos y peróxidos de hidrogeno, 2) Absorben radicales libres y actúan como segunda línea de defensa. Captan radicales inhibiendo la cadena de iniciación y rompiendo la cadena de propagación. Los principales representantes hidrófilos son la vitamina C, el ácido úrico, la bilirrubina y la albúmina. Los compuestos polifenólicos también actúan como potentes absorbedores de radicales libres, 3) Reparación de daño realizado por las enzimas y que constituyen la lipasa de las membranas, proteasa, enzimas de reparación del ADN y transferasa, 4) Adaptación, ya que los antioxidantes son producidos y transferidos al lugar correcto, en el momento y cantidad correctos.

En general, los radicales libres están involucrados en el desarrollo de diferentes patologías y en el proceso de envejecimiento de los organismos, pero en pequeñas cantidades no producen efectos tóxicos ya que son neutralizados por los antioxidantes presentes en los organismos de manera natural (Frei, 1994). Algunas enfermedades y desordenes asociados con los radicales libres son: cáncer, diabetes, enfermedades coronarias, lesiones hepáticas, artritis, inflamaciones, trombosis, degeneración neurológica y envejecimiento entre otras (Madhavi *et al.*, 1996).

2.7 Secado de alimentos

El secado de alimentos es uno de los métodos más viejos para la preservación y es un importante aspecto en el procesamiento de alimentos. El objetivo del secado es remover agua de los alimentos. Velu *et al.* (2006) recomendaron un intervalo de temperatura de secado de 80-100 °C para asegurar efectos positivos en la molienda y calidad de secado. Los cambios que pueden ocurrir en algún producto durante el secado, son en las propiedades ópticas

(color, apariencia), propiedades sensoriales (olor, color y sabor), propiedades estructurales (densidad, porosidad, volumen específico), texturales y propiedades rehidratantes (tasa de rehidratación, capacidad de rehidratación), además de los cambios que se puedan presentar en las características nutricionales (vitaminas y proteínas).

2.7.1 Secado por microondas

El secado por microondas utiliza la energía eléctrica en el rango de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz, con 2,450 MHz siendo la frecuencia más comúnmente utilizado. Las microondas se generan en el interior del horno mediante la intensificación de la corriente alterna de las líneas eléctricas domésticas a una frecuencia de 60 Hz a 2,450 MHz, todo ello se logra por medio de un dispositivo llamado el magnetrón (Sagar y Suresh K, 2010). Entonces el microondas tiene la específica ventaja de calentar rápido y uniforme, debido a la penetración de las microondas dentro del cuerpo del producto. Ellas generan calor dentro de los granos por movimientos rápidos de moléculas polares causando la fricción molecular la que ayuda a un calentamiento más rápido y uniforme que uno de forma convencional. Este secado es especialmente ventajoso si el paso siguiente es la molienda, el resultado es un consumo menor de energía. Con el secado por microondas existe una alta eficiencia térmica, menor tiempo de secado, calidad del producto comparado con el secado convencional por aire caliente, debido a que el calor generado por la energía del microondas ocurre principalmente en el producto, no en las paredes del horno o la atmosfera. El secado por microondas ha sido reportado para mejorar la calidad del producto tales como mejor aroma, más rápida y mejor rehidratación, ahorros considerables de energía y tiempos de secado mucho menores, comparado con el secado por aire (Velu *et al.*, 2006).

2.7.2 Secado convencional

El secado convencional puede ser definido como calor simultáneo y una operación de transferencia de masa en la cual la actividad del agua de un material es reducida por la remoción y evaporación de agua dentro de una corriente de gas insaturado. Los productos son secados a altas temperaturas por largo tiempo. El daño térmico que ocurre para un producto es directamente proporcional a la temperatura y el tiempo involucrados. Temperatura alta y tiempo corto de secado puede causar serios daños a la calidad del producto, tales como el sabor, color, nutrientes y reducción en la densidad, volumen y capacidad de rehidratación del producto seco (Drouzas y Schubert, 1996). Debido a las altas temperaturas y cortos tiempos de secado, compuestos volátiles son vaporizados y se pierden con el vapor del agua, lo que resulta en pérdidas significativas de sabor en productos secos.

2.8 Golosina tipo mazapán a partir de cereales y leguminosas

Matsunami *et al.* (1985) patentaron un proceso para elaborar una imitación del mazapán a partir de soya. El proceso inicia con el remojo y descascarado, germinado y agrietado de la soya por medio de agua caliente a una temperatura de al menos 95 °C, para la eliminación del sabor a soya. Los granos fueron enfriados con agua fría (10 a 20 °C) por 1 a 2 minutos, posteriormente se deshidrató y se añadió azúcar en una proporción de 1:2 a 3:1 y grasa (4 a 20 %) en proporción al peso, se obtuvo una mezcla y se procedió a su molienda. La mezcla molida se sometió a tratamientos térmicos de 70 a 90 °C, de 30 a 50 minutos y posteriormente fueron enfriados.

Sánchez *et al.* (2007) elaboraron un mazapán con alto valor nutricional, elaborado con salvado de arroz y sabor a chocolate, el cual contenía 18 % de fibra total, 16 % proteína, 25 % de grasa y con una aceptabilidad del 90 % de la población. Ellos concluyeron que es

factible y económico utilizar el salvado de arroz en el desarrollo de este producto, ya que permite buenas características mecánicas, sensoriales y nutrimentales, además de tener un alto contenido de antioxidantes naturales y vitaminas del complejo B.

Chavarría *et al.* (2010) formularon un mazapán proteico, con el objetivo de obtener un dulce con un mayor y mejor contenido de proteínas, gracias a las materias primas de las que fue elaborado (cacahuete, avena y lenteja). Ellos concluyeron que el mejor tratamiento fue el de la mezcla lenteja-avena con una proporción de 30 % - 20 %, la cual proporcionó un producto con las características fisicoquímicas y sensoriales más adecuadas, posibilitando así el objetivo de producir un mazapán con alto valor proteico.

2.9 Evaluación sensorial de algunos cereales

La evaluación sensorial es una disciplina científica que evoca, mide, analiza e interpreta características de los alimentos u otros productos, tal como son percibidos por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Schutz, 1998). De esta herramienta se ha valido la industria del maíz para la innovación de productos, así encontramos que el pinole un producto tradicional en el que los consumidores evalúan el tamaño óptimo de partícula, la dulzura y textura de las diferentes harinas (Lozano *et al.*, 2008).

Otro producto a considerar son las palomitas de maíz morado, las cuales fueron comparadas con las palomitas de maíz amarillo comerciales, en el que se requirió de 67 panelistas elegidos al azar para una prueba de consumidores, a los cuales se les vendó los ojos para que evaluaran el sabor, las muestras fueron presentadas sin sal ni aderezo. A cada panelista se le pidió que probara dos palomitas por cada tipo de maíz y que emitiera un juicio de acuerdo a la escala del 1 al 10 (1=la peor y 10=la mejor). La aceptabilidad fue de 6.61 para las

palomitas amarillas comerciales y 6.75 para las moradas, estadísticamente no se encontró diferencias significativas (Lago *et al.*, 2013).

Propiedades antioxidantes y sensoriales fueron evaluadas en panes elaborados con tres tipos de harina de cebada, mediante un panel de 10 personas entrenadas, cada miembro tenía mínimo cinco años de experiencia en el uso de análisis descriptivo en varios tipos de alimentos y bebidas. Una lista de 17 atributos fue generada y definida. Los panes fueron evaluados para cada atributo, en fresco, así como para 1 y 2 días de almacenamiento. La evaluación sensorial mostró diferencias en los atributos sensoriales entre los distintos tipos de variedades de cebada con que fueron elaborados los panes y se encontró una buena consistencia entre la prueba sensorial y la cantidad de fenoles (Holtekolen *et al.*, 2007).

3 BIBLIOGRAFÍA

- Andary C. & Mondolot-Cosson L. (1997). Histolocalization of plant polyphenols in tissues and cell walls. Some applicatins. *In: Polyphenols in foods. Proceeding of European cost concerted action scientific workshop, Aberdeen, Scotland.* Pp.: 41-44.
- Antonio, M. M., Arellano, V. J. L., García, G., Miranda, C. S., Mejía, J. A. & González, V. F. (2004). Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista. Fitotecnia Mexicana*, 27(1):9-15.
- Arellano, V. J. L., María, R. A., Salinas, M. Y. & Taboada, G. O. R. (2003). Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2): 101-107.
- Basra, A. S. (1995). Seed Quality: basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press, New York.
- Betrán, F. J., Bockholt, A. J. & Rooney, L. (2001). Blue corn *In: specialty corns.* Hallauer, A. R. (ed). Iowa State University. Ames Iowa, USA. 293-337 pp.
- Bótero, O. M., Fong, C., Rothschild, J. & Finney, P. (2012). Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: A review. *Cereal Chemistry*, 89 (1): 1-14.
- Burge, R. M. & Duensing, W. J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*, 34: 535-538.

- Casanueva, E., Kaufer, M. & Pérez, A. B. (1995). Tablas de Nutriología Médica. Ed. Panamericana, México, Pp: 367-369.
- Cevallos-Casals, B. A. & Cisneros-Zeballos, L. (2004). Stability of anthocyanin based aqueous extract of andean purple corn and red fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. Food Chemistry, 86:69-77.
- Chavarría, M. D. M., Reyes, S. B., Sepúlveda, V. A., Soria, C. M. Y. & Vázquez, G. (2010). Mazapán proteínico. *In: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. Acapulco, México.*
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) (2009) Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. Trillas: CIAD-UACJ. México D. F. 419p.
- Cuevas-Montilla, E., Antezana, A. & Winterhalter, P. (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*zea mays*) boliviano. *In: memorias red-alfa lagrotech comunidad europea. Cartagena, Colombia.*
- Clifford, M. N. (1992). Sensory and dietary properties of phenols. *In: Proceedings of the 16th International Conference of Grape polyphenols, 16: Part II pp. 18-23.*
- De Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C. & Rivas-Gonzalo, J. C. (2002). LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. Journal Science Food Agricultural, 82: 1003-1006.
- Dickerson, W. G. (2003). Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. Cooperative extension service, college of agriculture and home economics. New Mexico State University. Las Cruces, NM. pp 2.

- Drouzas, A. E. & Schubert, H. (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, 28 (2): 203-209.
- Duran, H. D. (2008). Descripción fisiológica y molecular de semillas de maíz azul. Tesis Profesional IPN. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México.
- Espinosa, T. E., Castillo, G. M. C. & Castillo, G. F. (2006). Nota científica: diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29 (2):19-23.
- Frei, B. (1994). *Natural Antioxidants in Human Health and Disease*. Academic Press. UK. 558 p. http://www.cahe.nmsu.edu/cahe/redtops/_h/h-233.html.
- Garzón, A. G. (2008). Anthocyanins as Natural Colorants and Bioactive Compounds. A Review *Acta biological Colombia* 13 (3): 27–36.
- Goodman, C. D., Casati, P. & Walbot, V. (2004). A Multidrug Resistance–Associated Protein Involved in Anthocyanin Transport in *Zea mays*. *The Plant Cell*, 16 (7): 1812-1826.
- Hutchings, J. H. (1999). *Food Color and Appearance*. 2nd ed. Gaithersburg, Md. Aspen Publishers, Inc.
- Jiamyangyuen, S. & Oraikul, B. (2008). The physicochemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice. *International Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(2): 119–124.
- Lago, C., Landoni, M., Cassani, E., Doria E., Nielsen, E. & Pilu, R. (2013). Study and characterization of a novel functional food: purple popcorn. *Molecular Breeding*, 31:574-585.

- Lozano, A. O., Solorzano, V. E., Bernal, L. I., Rebolledo, R. H. & Jacinto, H. C. (2008). “Pinole” de alto valor nutricional obtenido a partir de cereales y leguminosas. *Ra Ximhai* 4(2): 283-294.
- Madhavi, D. L., Deshpande, S. S. & Salunkhe, D. K. (1996). *Food Antioxidants*. Marcel Dekker, Inc. USA.
- Martínez, A. B., Gómez-Brenes, R. A. & Bressani, R. (1980). Relación del contenido de lisina y triptófano con el de zeína, durante la germinación del grano de maíz y su posible vinculación con el ciclo vegetativo de la planta. *Arch. Latinoam.* 30: 607-633.
- Matsunami, H., Tsuruda, T., Hitosugi, N. & Hirukawa, Y. (1985). Process for producing imitation marzipan. U.S. Patent Documents 4880644.
- Mendoza, M. C. G. (2012). Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y su producción. Tesis profesional. Colegio de Postgraduados p. 1-80.
- Muller, B. C., Pinheiro E. W. & Abreu, G. M. B. (2012). Bioactive amines in fresh, canned and dried sweet corn, embryo and endosperm and germinated corn. *Food Chemistry*, 131 (4):1355–1359.
- Nava, A. D., Jimenez, A. A. & Hernández, S. H. (2008). Optimization of germination conditions of blue corn (*Zea Mays* L.) by Taguchi orthogonal array methodology. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- Nwanguma, C. B. & Eze, M. O. (2006). Changes in the concentrations of the polyphenolic constituents of sorghum during malting and mashing. *J Sci Food Agric* 70: 162-166.
- Nweke, F. N. (2010). Rate of water absorption and proximate analysis of different varieties of maize cultivated in Ikwo local Government Area of Ebonyi State, Nigeria. *African*

- Journal of Biotechnology, 9 (52), Pp. 89:13-8917. Nigeria.
- Paredes-Lopez, O., Guevara-Lara F. & Bello-Pérez, L. A. (2006). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de cultura económica, México.
- Pilu, R. (2011). Paramutation: just a curiosity or fine tuning of gene expression in the generation? *Curr Genomics*, 12:298-306.
- Pokorny, J. (2001) Antioxidants in foods: practical applications. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A. 380 p.
- Randhir, R. & Shetty, K. (2005). Developmental stimulation of total phenolics and related antioxidant activity in light-and dark-germinated corn by natural elicitors. *Process Biochemistry*, 40: 1721-1732.
- Sagar, V. R. & Suresh, K. P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *J Food Sci Technol* 47 (1): 15-26.
- Salinas, M. Y., Soria, R. J. & Espinosa, T. E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. INIFAP. Coatlinchan, Estado de México. Folleto Técnico No- 23 Pp. 10,12.
- Sánchez, M. J., González, R. G., Rendón, F. L. & Quintero, G. A. G. (2007). Mazapán con alto valor nutricional, elaborado con salvado de arroz. *Industria Alimentaria* 29:12-17.
- Shahidi, F. & Naczk, M. (1995). Food phenolics. Sources, Chemistry, Effects, Application. Technomic, Publishing CO., INC eds. Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Schutz, H. G. (1998). Evolution of the sensory science discipline. *Food Technology*, 52 (8): 109-113.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2012) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: 30 mayo de 2012.
- Timberlake, C. F. (1980). Anthocyanins-Occurrence, Extraction and Chemistry. *Food Chemistry*, 5(1):69-80.
- Timberlake, C. F. & Henry, B. S. (1988). Anthocyanins as food colourants. PP 107 *In: Plant flavonoids in Biology and Medicine II*. Cody V. Middleton E. Harborne E, Beretz A. (eds). Alan R. Liss Inc. New York.
- Tsai, C. Y., Dalby, A. & Jones, R. A. (1975). Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem.* 52: 356-360.
- Taiz, L. & E, Zeiger. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. 792 p.
- Tsimidou, M. (1998) Polyphenols and quality of virgin olive oil in retrospect. *Ital J Food Sci*, 110. Pp. 99.116.
- Véles, M. J. J. (2004). Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis profesional. IPN Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Pp. 38.
- Velu, V., Nagender, A., Rao, P. P.G. & Rao, D. G. (2006). Dry milling characteristics of microwave dried maize grains (*Zea mays* L.). *Journal of Food Engineering*, 74: 30-36.
- Wang, S. Y. & Jiao, H. (2000). Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals and singlet oxygen. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 48: 5677-5684.
- Wang, Y. Y. D. & Fields, M. L. (1978). Germination of corn and sorghum in the heme to

improve nutritive value. *J. Food Sci.*, 43: 1113- 1115. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Pp. 38.

Watson, S. A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel. *In: White P J and Johnson L A (eds). Corn: Chemistry and Technology. Second edition. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. p. 69-101.*

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. & Mangelsdorf, P. C. (1951). Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *In: Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Revista de Geografía Agrícola. Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. p. 609-732.*

Wrolstad, R. E. (2000). Anthocyanins. *In: Lauro GJ, Francis FJ, (eds). Natural Food Colorants. New York, N.Y.: Marcel Dekker, Inc. (Ed) p. 237-252.*

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GERMINACIÓN Y SECADO DE MAÍZ AZUL

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GERMINACIÓN Y SECADO DE MAÍZ AZUL

(*Zea mays* L.)

PHYSICAL CHARACTERIZATION, GERMINATION AND DRYING BLUE CORN (*Zea mays* L.)

Griselda Alcántara-Sánchez G¹, Arturo Hernández- Montes²

RESUMEN

Se estudió el efecto de la germinación y secado en las antocianinas, fenoles y actividad antioxidante. para la germinación se evaluó el efecto del tiempo (0, 48 y 96 h) y temperatura (15 y 25 ° C) en dos maíces azules (HA913 y HA912). El secado fue en estufa (30, 50 y 70°C; 18 h) y horno de microondas (180, 360 y 540 W; 30 min). La germinación a 48 h y 25 °C, aumentaron las antocianinas (12 %), los fenoles (15 %) y la actividad antioxidante (19 %). Se encontró una relación entre los fenoles y la actividad antioxidante ($r=0.79^{**}$). El secado en estufa (70 °C y 18 h) evidenció una pérdida de antocianinas (20%), aumento en fenoles (36%) y en actividad antioxidante (18%). Los resultados obtenidos indican que la germinación y secado modifican y conservan el contenido fitoquímico, por lo que es un proceso alternativo para la conservación de estos compuestos.

Palabras clave: antocianinas, fenoles, actividad antioxidante, germinación y microondas.

ABSTRACT

The effect of the drying and germination was studied in anthocyanins, phenolics and antioxidant activity. For germination the effect of time (0, 48 and 96 h) and temperature (15 and 25 ° C) in two blue corn (HA913 and HA912) were evaluated. Drying was in made in oven (30, 50 and 70 ° C, 18 h) and microwave (180, 360 and 540 W, 30 min). Germination at 48 and 25 ° C, increased anthocyanins (12%), phenols (15%) and antioxidant activity (19%). A relationship between phenolics and antioxidant activity ($r = 0.79^{**}$) was found. The oven-dried (70 ° C and 18 h) showed a loss of anthocyanins (20%), increase in phenols (36%) and antioxidant activity (18%). The results showed that germination and drying modify and retain the phytochemical content, so it is an alternative process for the conservation of these compounds.

Keywords: anthocyanins, phenols, antioxidant activity, germination and microwave.

1 Introducción

El maíz es un cereal de importancia en el mundo, debido a su uso en el consumo humano y por las aplicaciones industriales. Este cereal muestra una diversidad genética, que da origen a un numero de variedades y recientemente se ha incrementado el interés por los maíces pigmentados debido a las antocianinas que poseen (Ultrilla *et al.*, 2009).

En la actualidad el maíz azul ha encontrado nuevos mercados exteriores, por el hecho de que se pueden obtener productos alimenticios teñidos de forma natural, que en el mundo actual tienen relevancia, por los problemas de salud asociados con el consumo indiscriminado de alimentos con colorantes artificiales. Además, los pigmentos presentes en este maíz son de gran interés por el poder antioxidante que poseen y que además son considerados como un alimento nutraceutico (Salinas *et al.*, 1999). Sin embargo, a pesar de las ventajas que ofrecen los maíces pigmentados, con diferentes perfiles nutraceuticos, su procesamiento afecta significativamente la cantidad y biodisponibilidad de estos compuestos (Serna-Saldivar *et al.*, 2013).

En contraste, algunos procesos como el de germinación aumenta en 32 % las antocianinas y fenoles, así como un 56 % la actividad antioxidante, incrementos que son atribuidos principalmente a los compuestos fenólicos que pueden ser modificados desde la germinación de la semilla (Nava *et al.*, 2008).

Dado que la germinación es un proceso de activación de un mecanismo enzimático el secado puede detenerlo, pero al mismo tiempo puede producir cambios en las propiedades de apariencia y sensoriales (olor, color y sabor). A pesar de que el secado es un proceso severo que puede afectar el contenido fitoquímico, es posible lograr buenos resultados con condiciones óptimas y equipos adecuados (Velu *et al.*, 2006; Izli y Isik, 2013).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue germinar y secar maíz azul para evaluar la retención del contenido de antocianinas (CTA), fenoles solubles totales (FST) y la actividad antioxidante (AA).

2 Materiales y métodos

2.1 Material vegetal

Se evaluaron los híbridos de maíz azul; HA912 y HA913, ambos desarrollados por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Pigmentado del Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y adaptados a los Valles Altos de México (2300 a 2700 msnm).

2.2 Acondicionamiento y caracterización físicas de los granos

Los granos limpios, libres de materia extraña, granos podridos, quebrados o dañados, se acondicionaron a una humedad de entre 12 y 14 %. Se determinó el peso hectolitrico (PH), índice de flotación (IF), peso de cien granos (PCG) y color (ver apartado 2.5).

2.3 Proceso de germinación

En los dos maíces investigados, se evaluaron dos temperaturas (15 y 25 ° C) y tres tiempos de germinación (0, 48 y 96 h), por lo que se conformaron 12 tratamientos (Cuadro 4), con tres repeticiones cada uno. Las unidades experimentales fueron conformadas por 10 g de maíz azul, y se midieron las variables respuesta; contenido total de antocianinas (CTA), triptófano, fenoles solubles totales (FST) y actividad antioxidante (AA) (ver apartado 2.5). Las condiciones y el proceso de germinación se muestran en el Cuadro 5 y la Figura 5.

Cuadro 4. Tratamientos para la germinación de dos híbridos azules HA912 y HA913 a temperaturas de 15 y 25 ° C por 0, 48 y 96 h.

Tratamiento	Tipo de maíz	Germinación	
		Temperatura (°C)	Tiempo (h)
1	HA912	15	0
2		15	48
3		15	96
4	HA913	15	0
5		15	48
6		15	96
7	HA912	25	0
8		25	48
9		25	96
10	HA913	25	0
11		25	48
12		25	96

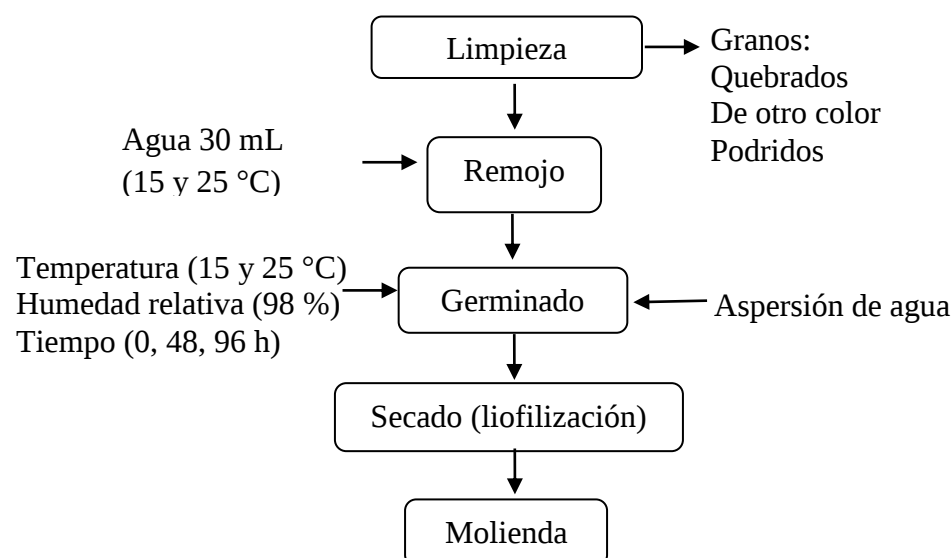


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de germinación y obtención de muestra para evaluación de fitoquímicos para los híbridos azules HA912 y HA913.

Cuadro 5. Etapas del proceso de germinación para los híbridos azules HA912 y HA913.

Tratamiento	Condiciones	Tiempo
Desinfección	Con 1 % v/v de hipoclorito de sodio	15 min
Lavado	Enjuagar por tres veces con agua destilada para remover algunos remanentes del agente desinfectante.	15 min
Remojo	Sumergir los granos en 250 mL de agua a 25 °C, hasta alcanzar una humedad del grano de 35 %.	24 h
Germinación	En cámara germinadora (Single Chamber Germinator, Mod. D-7140, Chicago IL), a 60 % de humedad relativa y temperatura de 15 y 25°C (asperjar agua cada 24 h).	0, 48, 96 h
Secado	Mediante liofilización a -48 h y 0.2 mbar (Labconco Corporation, Kansas city Missouri) para cuantificación de fitoquímicos.	24 h

En esta fase de la experimentación el secado fue realizado mediante liofilización para evitar daños a los fitoquímicos.

2.4 Secado de maíz azul germinado

El secado del maíz germinado se evaluó en estufa (Memmert GmbH & Co. Modelo ULM 50, Schwabach, Alemania) a tres temperaturas (30, 50 y 70 ° C), durante 18 h y en horno de microondas (Lightwave convection, Modelo MJ1481BP, Marca LG), a tres potencias (180, 360 y 540 W) durante 30 min (Cuadro 6). Las unidades experimentales fueron conformadas por 20 g de maíz azul, en cada tratamiento se evaluaron tres repeticiones y se midieron las

variables de respuesta; humedad, actividad acuosa (a_w), contenido total de antocianinas (CTA), fenoles solubles totales (FST) y actividad antioxidante (AA) (ver apartado 2.5).

Cuadro 6. Tratamientos para el secado de maíz azul en estufa y horno de microondas.

Tratamientos	Tipo de secado	Tiempo
	Estufa (°C)	(h)
T1	30	18
T2	50	18
T3	70	18
	Horno de microondas (Watts)	(min)
T4	180	30
T5	360	30
T6	540	30

2.5 Variables respuesta

2.5.1 Peso hectolítrico (densidad aparente)

El peso hectolítrico (PH) se considera como la densidad aparente del grano y se fundamenta en obtener el peso de la semilla contenida en un volumen de un litro (Método 84-10. AACC 1976; Pomeranz *et al.*, 1986). Las mediciones fueron a partir de 300 g de maíz y se usó el recipiente de 250 mL, se dejó caer libremente en un recipiente de 1 L y se raso en forma de zig-zag, el valor obtenido se multiplico por cuatro y el resultado se expresa en kg hL^{-1} .

2.5.2 Dureza (método indirecto mediante el índice de flotación)

El Índice de flotación (IF), es una medida relativa de la densidad del grano (Salinas *et al.*, 1992). Para ello fue necesario preparar una solución de nitrato de sodio (41.0 g en 100 mL de agua) con una densidad de 1.2500 ± 0.0005 la cual es medida por un picnómetro. Con la solución previamente ajustada, se tomaron 500 mL en un vaso de 1 L y se añadieron 100 granos de los cuales se contabilizo los que flotaron (Salinas y Vázquez *et al.*, 2006).

2.5.3 Peso de cien granos

Para el peso de 100 semillas, se contaron manualmente de manera aleatoria 100 granos sanos de cada muestra por duplicado y se pesaron en una balanza semi-analítica (Sartorius BL610, GER, sensibilidad de 0.01g) (Salinas y Vázquez *et al.*, 2006).

2.5.4 Color

Esta variable se midió mediante un colorímetro Hunter Lab, Mini Scan™ XE Plus (Modelo 45/0-L Serie 5348), con la escala CIE L*a*b* y un ángulo de 10°. El colorímetro previamente se calibró con los mosaicos negro y blanco. A partir de tales parámetros se calculó el ángulo de tono (hue) y el índice de saturación de color (Pureza) de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\text{Ángulo de tono} = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad \text{Ecuación (1)} \quad \text{Pureza} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

2.5.5 Triptófano

El contenido de triptófano en grano entero se determinó de acuerdo al método del ácido glioxílico descrito por Galicia *et al.* (2011) por medio del cual, una molécula de ácido glioxílico y dos de triptófano forman un complejo colorido con un máximo de absorción de 560 nm. Para esto, se preparó el reactivo A, B y C. El reactivo A se preparó disolviendo el cloruro férrico (270 g) en 0.5 mL de agua destilada y se aforó a 1 L con ácido acético glacial (999.5 mL). Para la preparación del reactivo B, fue necesario un baño de hielo en el cual se colocó un vaso de 2 L y adiciono 333 mL de agua destilada fría y se añadió el ácido sulfúrico (1667 mL). La combinación del reactivo A y B fue necesaria para obtener el reactivo C. Se procedió a pesar 100 mg de muestra, previamente desengrasada, y se añadió 3 mL de solución de papaína. Se dejó en incubación a 65 °C durante 16 h. Las muestras hidrolizadas

se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3500 rpm durante 5 min. Se transfirió 1 mL del hidrolizado a los tubos de ensaye con 4 mL del reactivo C. Se agitaron los tubos y se incubaron a 65 °C durante 15 min para máximo desarrollo de color. Se dejaron enfriar las soluciones coloreadas y se transfirieron a tubos calibrados para medir a 560 nm. Los resultados se informan en %, ó g de triptófano por 100 g de muestra seca.

2.5.6 Análisis de compuestos fenólicos

2.5.6.1 Extracción. Para la cuantificación de fenoles y antocianinas fue necesario realizar una extracción general previa, para ello se pesó 1 g de muestra (harina) y se colocó en un matraz Erlenmeyer. Se añadió 20 mL de metanol acidificado al 1 % con ácido trifluoroacético (TFA, Sigma-Aldrich Chemicals) y la mezcla se sonificó durante 15 min en un baño sonificador (Brason 2510). Después los matraces se almacenaron en refrigeración durante 1 h con 45 min, para completar 2 h de extracción. Posteriormente los extractos fueron centrifugados por 15 min a 2862 x g. El sobrenadante se filtró con papel Whatman No. 4 y se aforo a 20 mL con el disolvente de extracción.

2.5.6.2 Cuantificación de antocianinas. Para el contenido total de antocianinas (CTA) se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro para microplacas (Epoch Bio-Tek Instrument, Inc.) el cual tiene un sistema basado en un monocromador UV-Vis para selección de longitudes de onda, controlado a través del Software para Análisis de Datos Gen5. Se programaron lecturas de 520 y 700 nm. Un volumen de 300 µL de extracto se colocó en los pozos de las placas se incluyeron seis pozos como blancos (solvente de extracción), y el cálculo se realizó por diferencia de absorbancias.

2.5.6.3 Cuantificación de fenoles solubles totales. La cuantificación de fenoles solubles totales (FST) se realizó por el método colorimétrico de Folin Ciocalteu (F-C) (Singleton y

Rossi, 1995) con algunas modificaciones. Una placa de ELISA fue llenada con 240 μL de agua destilada, posteriormente una alícuota de 15 μL del extracto fue mezclado con 15 μL del F-C 1 N y se dejó reaccionar por tres min a temperatura ambiente, 30 μL de carbonato de sodio 1N fueron agregados a la muestra. Se colocaron blancos (metanol) y fueron manejados de la misma forma que las muestras. Se dejó reposar por 90 min en la oscuridad y se realizó la lectura en el espectrofotómetro para microplacas (Epoch Bio-Tek, Instruments Inc.) a 765 nm. Se elaboró una curva con ácido gálico.

2.5.7 Actividad antioxidante (ABTS⁺).

El radical ABTS 2-2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico), es un ensayo basado en la inhibición por antioxidantes de la absorbancia del radical catión 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico). Para lo cual se siguió lo descrito por Arnao *et al.* (2001) por lo que, se preparó una solución de 7 mM de ABTS en agua destilada a la que se llamó solución A, y otra de persulfato de potasio 2.45 mM, solución B. Posteriormente, se mezclaron en proporción 1:0.5 (solución A: solución B). La mezcla se dejó reposar durante 16 h en oscuridad a temperatura ambiente para generar el radical libre, a esta solución se le llamó solución stock. La solución stock fue diluida en una solución buffer de fosfatos 75 mM (PBS pH=7.4) hasta obtener una absorbancia de 0.70 ± 0.02 a 734 nm, a esta solución se le denominó solución de trabajo.

Para obtener la capacidad antioxidante de los extractos (previamente extraídos) se tomaron 200 μL y se colocaron en la celda de cuarzo, después se agregaron 2800 μL de la solución de trabajo, agitándose vigorosamente. Se midió la absorbancia de la solución cada minuto durante los primeros seis minutos, posteriormente cada cinco minutos, hasta completar 30 min.

El porcentaje de reducción se calculó mediante la expresión:

$$\% ABTS_{reducido} = \left[\frac{Abs_{blanco} - Abs_{muestra t}}{Abs_{blanco}} \right] (100) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde Abs_{blanco} = Absorbancia del blanco (200 μ L de PBS y 2800 μ L de la solución de trabajo a 734 nm)

$Abs_{muestra t}$ = valor de la absorbancia al tiempo t

Se elaboró una curva patrón con Trolox (forma soluble del α -tocoferol). Se preparó una solución de 500 μ M de Trolox disuelto en PBS, de ésta se realizaron diferentes diluciones (50, 100, 150, 200 y 250 μ M). Se midió % de reducción de ABTS o solución de trabajo. Se graficó concentración vs % de reducción; se realizó una regresión lineal y se obtuvo la ecuación. Los resultados se expresaron en micromoles Equivalentes de Trolox⁻¹gramos de Muestra Seca (μ moles ET⁻¹g MS).

2.5.8 Actividad acuosa

La actividad acuosa (a_w) se realizó con un medidor de actividad de agua Aqualab (Decagon, WA, E.E.U. U.), a una temperatura de 25 °C, con tres repeticiones por tratamiento (Milán *et al.*, 2004).

2.5.9 Humedad

El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso en las muestras antes y después del secado en estufa a 110°C por 2 h (método 44-11, AACC, 2000).

2.6 Análisis estadísticos

Se condujeron diseños completamente al azar para las características físicas del grano y el secado, mientras que para el proceso de germinación se realizó con un arreglo factorial 2 x 2

x 4 en un diseño completamente al azar. El factor A, con dos niveles; HA912 y HA913, Factor B con dos niveles; 15 y 25 °C y Factor C con tres niveles; 0, 48 y 96 h. En caso de diferencias se realizó una comparación de medias de las variables con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se empleó el programa SAS (SAS versión 9.1; SAS Institute Inc., Cary, NC).

3 Resultados y discusión

3.1. Análisis físico del grano

El índice de flotación o dureza y el tono de color del grano mostraron diferencias estadísticas para los híbridos HA912 y HA913 (Cuadro 7). De acuerdo a estos resultados los granos del híbrido HA912 se clasifican en maíces intermedios, mientras que los del híbrido HA913 en duros. Estas diferencias son debidas al genotipo, pues el manejo agronómico fue el mismo para los dos híbridos. El híbrido HA912, que fue de menor PH y dureza intermedia también, registró un mayor tono color azul-rojizo (Cuadro 7).

La determinación de la dureza del grano es una característica muy importante ya que de ella depende el uso para el cual es destinado este cereal. En el caso de los maíces azules se busca que sean duros, debido a que resisten las acciones mecánicas, lo que les permiten almacenarlos perfectamente. Esta resistencia puede explicarse a las complejas interacciones entre los componentes del endospermo, principalmente las proteínas y el almidón. También explicaría el mayor peso hectolítrico ya que la estructura compacta del endospermo córneo debería pesar más que la del harinoso.

Los maíces azules suaves tienden a fracturarse durante el almacenamiento, debido a ello, los genetistas hacen esfuerzos por mejorar la dureza del grano. Por lo que, al realizar las diferentes cruzas de maíces azules nativos con materiales blancos, con el fin de mejorar la calidad de la planta, el grano se vuelve menos harinoso y con menor contenido de

antocianinas, por eso la intensidad del color asociado en forma positiva con la suavidad del endospermo (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2000). En el Cuadro 7, se puede observar que el híbrido HA912 es un maíz de dureza intermedia (IF), mientras que el HA913 es duro. Lo anterior también es confirmado por el peso hectolitrico (PH), ya que el HA912 obtuvo un menor peso.

Cuadro 7. Caracterización física de los híbridos de maíz azul para los Valles Altos de México HA912 y HA913.

Hibrido	PH (kg L ⁻¹)	PCG (g)	IF (%)	Color		
				L	Tono (°)	Pureza
HA 912	74.4b	35.2a	42a	20.4a	358.9a	1.2a
HA 913	75.2a	35.2a	32b	18.0a	351.4b	0.9a
DSH	0	1.57	6.8	3.77	6.19	0.54
CV	0	1.03	4.33	4.55	0.41	12.10

PH: Peso hectolítrico, PCG; Peso de cien granos, IF; Índice de flotación, L; Luminosidad, DSH; Diferencia significativa honesta, CV; Coeficiente de variación (%). Medias con letra diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

3.2 Germinación de maíz azul

3.2.1 Efecto de los factores sobre las variables respuesta

3.2.1.1 Antocianinas. Se observó un efecto de la temperatura y el tiempo de germinación sobre el CTA altamente significativo ($p \leq 0.05$). A la temperatura de 25 °C se obtuvo un 25 %

más de antocianinas en base seca comparado a 15 °C. Así mismo se observa que a las 48 h de germinación hay un aumento del 12 %, mientras que a las 96 h es de 19% (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de genotipo y condiciones de germinado en variables físicas químicas y de maíces azules.

Nivel del factor	CTA (mg kg ⁻¹)	FST (mg kg ⁻¹)	AA (μM g ⁻¹)	TRIP (%)	Color		
					L	Tono (°)	Pureza
Factor A: Tipo de híbrido							
HA 912	917.7a	2816.4a	63.8a	0.063a	70a	180.2b	3.7a
HA 913	916.3a	2600.7b	55.0b	0.058b	68b	291.8a	3.5a
DSH	28.59	96.15	3.46	0.0024	1.88	32.22	0.24
Factor B: Temperatura (°C)							
25	1017.8a	2780.0a	61.4a	0.060b	66.2b	236.5a	4.03a
15	816.2b	2637.2b	57.3b	0.061a	71.12a	235.6a	3.28a
DSH	28.59	96.15	3.46	0.0024	1.88	32.22	0.24
Factor C: Tiempo (h)							
0	816.5c	2384.2c	50.3c	0.058b	67.6a	341.9a	3.84a
48	917.4b	2731.3b	59.7b	0.059ab	68.2a	267.2b	8.81a
96	972.1a	3010.2c	68.2a	0.060a	70.3a	99.0c	3.2b
DSH	42.33	142.36	5.1	0.0035	2.79	47.71	0.35
CV	4.55	5.18	8.49	5.68	4.02	19.92	9.44
A*B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A*C	NS	*	*	NS	NS	NS	NS
B*C	*	NS	NS	*	NS	*	NS

CTA; Contenido total de antocianinas (mg equivalentes de cianidina 3-G kg⁻¹ MS), FST; Fenoles Solubles Totales (mg de ácido gálico kg⁻¹ MS), AA; Actividad Antioxidante (μM equivalentes de trolox g⁻¹ MS), TRIP; Triptófano (g 100 g⁻¹ muestra); L; Luminosidad, DSH; Diferencia significativa honesta (Tukey, 0.05), CV; Coeficiente de Variación (%).* significativo $p \leq 0.05$.

Sin embargo, a pesar de presentar un aumento del 19 % a las 96 h, se observa que los incrementos importantes se encuentran en las primeras 48 h de germinación, ya que la diferencia entre las 48 h y 96 h, es del 6 %. Lo que indica que ese aumento podría ser menor a medida que avanzan los días de germinación.

Un comportamiento similar fue obtenido por Nava *et al.* (2008) quienes mencionan que después de las 24 h de remojo hay un aumento de antocianinas de 540 a 687 mg kg⁻¹ MS (expresado como cianidina-3-3 glucosido), lo que equivale a un 25 %, mientras que a las 96 h aumentan a 775 mg kg⁻¹ MS, es decir, en un 43 %. En estos maíces investigados el aumento de antocianinas fue del 20 %, con respecto a las 24 h.

Al respecto, Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2009), sugieren una dilución de compuestos fenólicos después de la etapa de imbibición y crecimiento, que ocurre en las primeras 72 h, es debido a un aumento en la absorción de agua. También se menciona que incrementos en la actividad de agua del medio causan degradación de las antocianinas probablemente debido a una mayor interacción entre el agua y el catión flavilio para formar la pseudobase inestable (Garzón, 2008).

Nava *et al.* (2008) encontraron incrementos en antocianinas de hasta 25 % en las primeras horas de germinación para un maíz azul del Estado de México. En contraste, los resultados del presente estudio mostraron el 12 % de incremento en el contenido de antocianinas. Sin embargo, Taylor y Briggs (1990) reportaron que la acumulación de antocianinas en plantas es controlada por múltiples genes regulatorios e inducidos por varios factores como la luz, entre otros. También Pasko *et al.* (2009) estudiaron el contenido de antocianinas en amaranto y semillas de quinoa durante su germinación, y reportaron que hay menos acumulación cuando la germinación es en la oscuridad que cuando hay luz. Para este estudio, los granos fueron

germinados en la oscuridad y quizá eso pueda explicar la baja acumulación, puesto que a las 48 h de germinación el incremento fue de aproximadamente 12 % y para las 96 h de 19 %. En lo que corresponde a las interacciones para esta variable no se encontró diferencia significativa (Cuadro 8).

3.2.1.2 Fenoles solubles totales. El contenido de FST resultó diferente para el tipo de híbrido, las temperaturas y el tiempo de germinación ($p \leq 0.05$). En el Cuadro 8, se puede observar que el híbrido HA912 preeesennntó 8 % más que el híbrido HA913. En tanto que el factor de temperatura mostró un incremento del 5 % a 25 °C. Mientras que para el tiempo de germinación se incrementaron de 15 a 26 % a las 48 y 96 h, respectivamente.

Un estudio similar, en cuanto a la germinación de maíz azul, es el realizado por Nava *et al.* (2008) ellos observaron que después de 24 h de remojo, los fenoles aumentaron de 1528 a 2600 mg kg⁻¹ MS (expresado como ácido ferulico) lo que equivale a un incremento del 70 %. Así mismo, en el estudio se mostró que cuando se germinaron a las 96 h, los fenoles aumentaron a 3800 mg kg⁻¹ MS, es decir, un 143 % más.

Dicko *et al.* (2005) evaluaron el incremento de fenoles en 50 variedades de sorgo y encontraron que más del 80 % de ellas presentaron un aumento, el cual podría ser influenciado por el efecto del ambiente y la variedad. En otro estudio realizado por Sokrab *et al.* (2012) encontraron que el efecto de la germinación en el contenido de polifenoles era influenciado por el genotipo, puesto que en promedio obtuvieron 20 % de incremento para la var-113 y 78 % para el genotipo TL-98B-6225-9XTL617.

Kaukivirta-Norja *et al.* (2004) mencionan que después de la germinación la mayoría de los fenoles se encuentran de forma conjugada (58 %), esterificados (25 %), glucosilados (15 %) y libres (2-3 %) y que predominan los ácidos libres; cafeíco, siríngico, ferúlico y sinápico.

Basra (1995) menciona que dentro del intervalo de temperatura mínima-máxima, en la que ocurre la germinación, hay un punto en el que se obtiene máxima germinación y ésta ocurre más rápidamente; este punto corresponde a la temperatura óptima. En el intervalo de temperatura mínima-óptima los porcentajes de germinación no son sustancialmente diferentes (siempre que el factor tiempo no sea limitante), pero la germinación sucede más rápidamente conforme ocurre desplazamientos hacia la temperatura óptima (32-35°C).

La temperatura de germinación está íntimamente relacionada con la condición fisiológica de la semilla, ya que recién cosechada presenta requerimientos muy específicos de temperatura para poder germinar. Este fenómeno está relacionado con la latencia. Conforme se pierde la latencia, el óptimo de temperatura puede variar hacia temperaturas más altas o más bajas y el intervalo de temperaturas dentro de las que ocurre germinación se amplía. Con el deterioro, las semillas tienden a necesitar temperaturas específicas para que ocurra germinación (Basra, 1995). También se ha mencionado que desde el momento en que las semillas rompen la latencia, respuestas protectoras emergen a través de la síntesis de compuestos fenólicos y otros compuestos (Taiz y Zeiger, 1998).

Quizá con la información previa se pudiera explicar porque hubo mayor presencia de compuestos a 25 °C que a 15 °C. Es decir, que a 25 °C estuvo solamente a 7 °C para llegar a la temperatura óptima (32-35 °C), mientras que a 15 °C le faltaron 17 °C. Lo anterior indica que 25 °C fue la temperatura más próxima a la óptima germinativa y que en ella se inició el rompimiento de la latencia, condiciones necesarias para activar el mecanismo germinativo y fenólico.

Al respecto de lo anterior, en esta investigación se propuso utilizar 35 °C como una temperatura de germinación, pero la humedad relativa presente dentro de las cámaras de

germinación y la temperatura, fueron condiciones muy favorables para el crecimiento de hongos, por lo que se optó por utilizar temperaturas que no propiciarán dicho crecimiento. Así se pudo observar que en campo era muy posible que las semillas de maíz germinen a la temperatura óptima germinativa (32-35 °C), pero a nivel de laboratorio es recomendable usar temperaturas que no induzcan el crecimiento de patógenos.

3.2.1.3 Actividad antioxidante. Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2009) informaron que la síntesis de fenoles y su actividad antioxidante podrían cambiar con la germinación. Esos cambios en la síntesis de fenoles con actividad antioxidante podría indicar la preparación de la semilla hacia las condiciones adversas. Para ellos, fue fundamental identificar la etapa de la germinación en donde el nivel de fenoles con propiedades antioxidantes es maximizado, y dirigir la atención al atractivo crecimiento de brotes comestibles con propiedades nutraceuticas mejoradas. Entonces encontraron que en el estado de latencia, el contenido de fenoles y la actividad antioxidante en base seca para semillas latentes representa una contribución promedio de aproximadamente 28.5 y 30.7 %, respectivamente, comparado con los de siete días de germinación, lo que indica que la mayor síntesis de fenoles ocurre durante la imbibición y crecimiento de la semilla.

En lo que se refiere a la actividad antioxidante, durante la germinación varias especies reactivas de oxígeno (ROS) son generadas como productos del metabolismo. Estos grupos de ROS incluyen radicales superóxidos (O_2^-), radicales de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y radicales hidroxilos ($OH^\cdot$). La formación de estos radicales de oxígeno resulta en la acumulación de hidroxiperoxidos lípidos por cadena radical de oxidación vía fosfolípidos radicales con membranas. Por lo tanto, se hipotetizó que el aumento podría ser resultado de

un incremento de actividad antioxidante en las grandes vesículas unilamelares de las semillas germinadas (Frias *et al.*, 2004).

Mediante el coeficiente de correlación se encontró una relación positiva ($p \leq 0.05$) entre la AA y los FST ($r=0.79^{**}$), lo que indica que los FST juegan un importante papel en la actividad antioxidante del maíz azul germinado. En lo que respecta a las interacciones, estas no fueron significativas entre los factores de estudio para esta variable (Cuadro 8).

3.2.1.4 Triptófano. Se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de triptófano entre híbridos, pero no para la temperatura y el tiempo de germinación. Los incrementos de triptófano para la temperatura y tiempo en promedio fueron del 2 % (Cuadro 8). Al respecto Dalby y Tsai (1976) estudiaron un maíz *opaco-2* y encontraron que los incrementos de triptófano ocurrían en las primeras 96 h de germinación a 28 °C. También observaron que en arroz ocurrían pequeños o nulos incrementos de triptófano.

3.2.1.5 Color. El efecto del tiempo también se manifestó en el color de las harinas obtenidas ya que se puede observar (Figura 6) que el tono del color cambia del cuadrante cuatro (azul-rojo) al cuadrante dos (verde-amarillo) conforme avanzan las horas de germinación, así mismo se encontró una correlación positiva altamente significativa ($p \leq 0.05$) de los FST con el ángulo de tono ($r=0.6^{**}$).

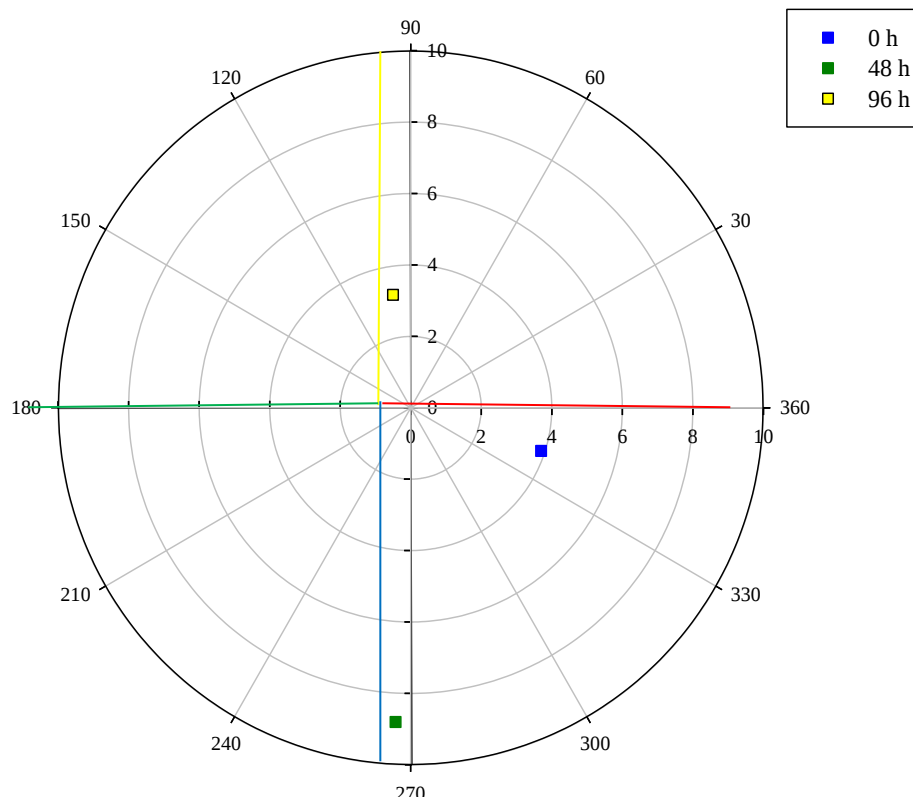


Figura 6. Ángulo de tono (hue) y pureza (croma) del color de harina de maíz azul germinada a 0, 48 y 96 h.

Es conocido que el proceso de germinación intensifica el color y sabor de un gran número de productos (Kaukivirta-Norja *et al.*, 2004). Por lo que, los resultados sugieren un importante cambio en el color de las harinas germinadas, lo cual pudiera estar asociada con el incremento de polifenoles en granos de maíz germinado que podría resultar de la solubilización de taninos condensados durante el remojo de las semillas y de la migración de los polifenoles hacia la capa externa (Sokrab *et al.*, 2012).

3.3 Secado de maíz azul germinado

3.3.1 Curvas de secado

Las curvas de secado mediante estufa mostraron que la pérdida en el contenido de humedad, para los granos germinados, fue mayor a medida que aumentó la temperatura y tiempo de secado. En la Figura 7, se observa que la pérdida de humedad fue más drástica para el T3 (70 °C), en las primeras tres horas de secado, debido a que pierde el 0.58 g, mientras que los T1 (30°C) y T2 (50°C) solo pierden 0.22 y 0.32 g, respectivamente. Para estos tratamientos la humedad final fue de 10.2, 6.8 y 5.8 %.

Las curvas de secado, mediante horno de microondas, mostraron que la pérdida de humedad fue mayor a medida que aumento la potencia y el tiempo de secado. En la Figura 8, se observa que la pérdida de peso en humedad fue más rápida para el T6 (540 W), en los primeros 2 min de secado, debido a que pierde 0.13 g, mientras que los T4 (360 W) y T5 (540 W) solo pierden 0.0053 y 0.055 g, respectivamente. Para estos tratamientos la humedad final fue de 9.3, 6.8 y 5.3 %. Cabe aclarar que el contenido final de humedad para ambos tipos de secado fue determinado sin contar el peso de la plúmula que en promedio fue de 0.3 g.

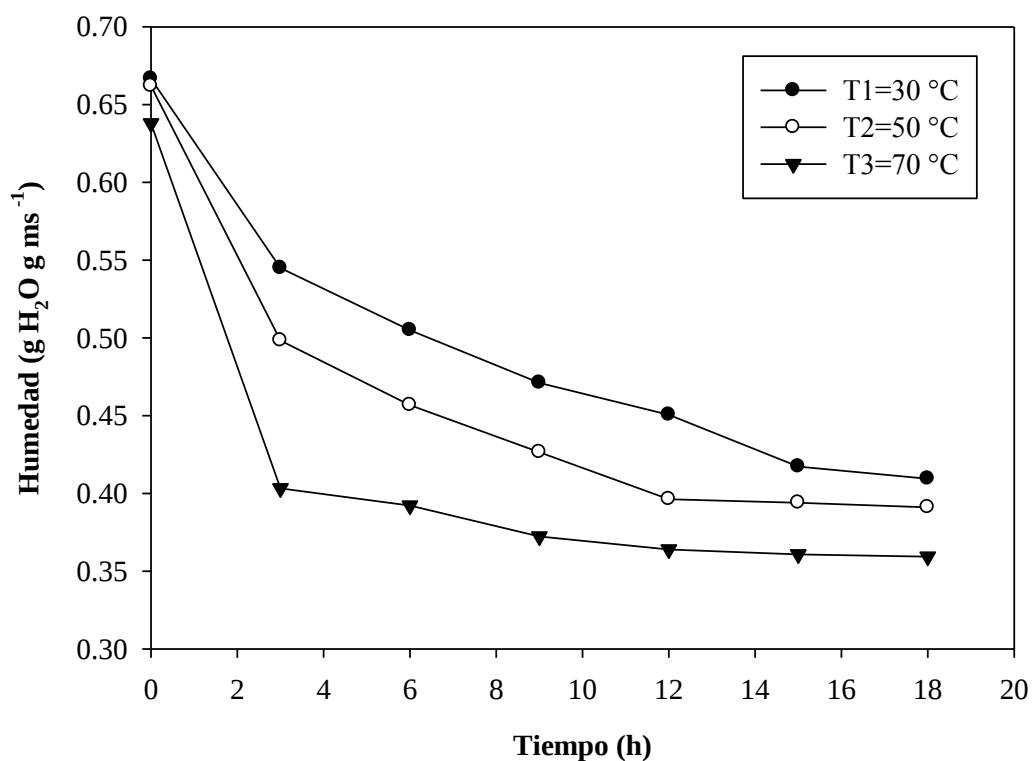


Figura 7. Pérdida de humedad para maíz azul germinado y secado en estufa a tres temperaturas (30, 50 y 70°C) por 18 h.

Velu *et al.* (2006) lograron una humedad en granos de maíz amarillo del 10 % con 390 W y 6.6 min de secado. Mientras que en un intercambiador de aire forzado lograron 2 % de humedad a 90 °C por 6.6 h. Otros estudios de secado en horno de microondas y de formas convencionales se han realizado en maíz, sin embargo, sólo se limitan a evaluar el efecto del secado en el color, la viscosidad de harinas y el cambio en la estructura de almidón a diferentes temperaturas (Velu *et al.*, 2006; Izli y Isik, 2013).

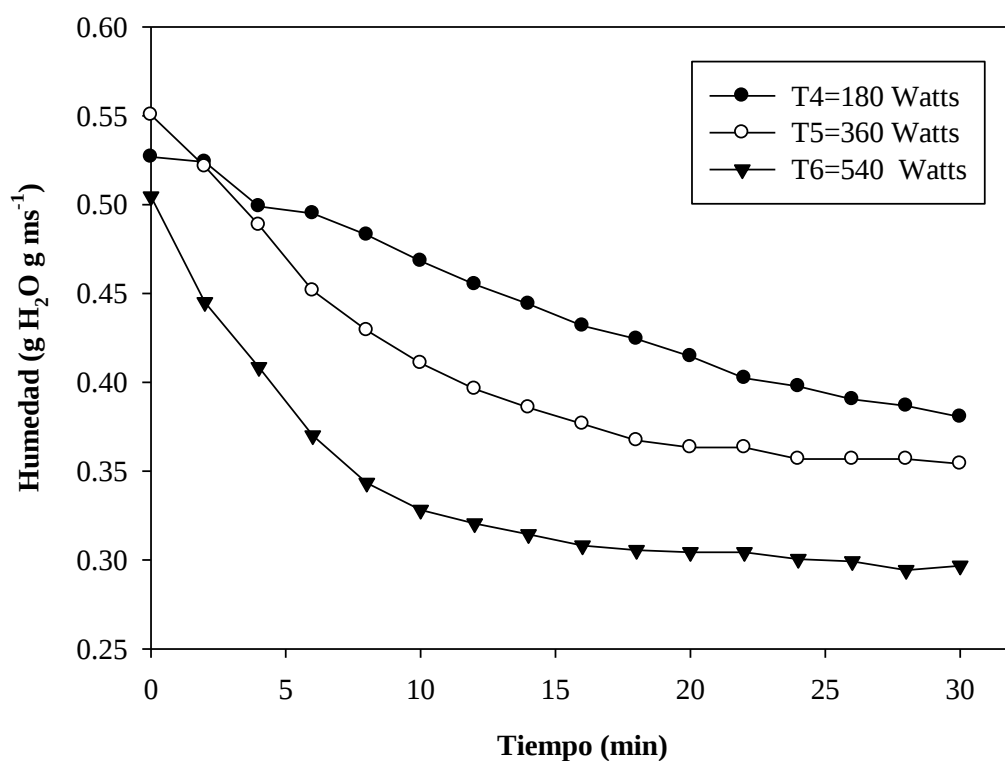


Figura 8. Pérdida de humedad para maíz azul germinado y secado en microondas a tres potencias (180, 360 y 540 Watts), por 30 min.

3.3.2 Humedad y actividad acuosa

El anova mostró diferencia ($p \leq 0.05$) por el efecto del método de secado en el contenido de humedad. En el Cuadro 9 se observa que los tratamientos secados en estufa registraron un promedio de humedad de 7.6 %, en tanto que los de horno de microondas fueron más secos (7.1 %). La comparación entre el tiempo de secado, muestra un comportamiento semejante ya que ambos métodos llegaron al mismo contenido de humedad, solo que los de estufa lo alcanzaron con 18 h de exposición, mientras que los de horno de microondas en 30 min. En contraste, se observó que la actividad acuosa (a_w) para los seis tratamientos fue estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) y se puede observar claramente que los tratamientos secados en estufa obtienen la menor a_w , en comparación con los de microondas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Contenido de humedad final y actividad acuosa, para granos de maíz azul germinado y secado en horno de microondas y estufa.

Tratamiento	Humedad (%)	Actividad acuosa (a_w)
Estufa (Temperatura, °C) *		
T1	10.2a	0.52c
T2	6.8b	0.38e
T3	5.8c	0.36f
Horno de microondas (Potencia, Watts) **		
T4	9.32a	0.72a
T5	6.82b	0.57b
T6	5.33c	0.50d
DSH	0.94	0.02
CV	4.6	0.25

* y **; tiempo de secado a 30 min y 18 h. DSH; Diferencia significativa honesta, CV; Coeficiente de variación (%).

El agua contenida en un producto puede dividirse en tres zonas hipotéticas; la zona III, que se considera “libre” (0.8 a 1.0) y que se encuentra en macrocapilares y forma parte de las soluciones que disuelven las sustancias de bajo peso molecular; la zona II, que corresponde al agua “ligada” (0.25 a 0.8) en la que se localizan capas más estructuradas; por último la zona I (0 a 0.25), que equivale a la capa monomolecular y la cual es más difícil de eliminar en los procesos de secado, en algunos casos se puede reducir parcialmente en la deshidratación, pero esto no es recomendable, ya que, además se requiere de mucha energía y se daña el

alimento, su presencia ejerce un efecto protector, sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque actúa como una barrera de oxígeno (Badui, 2006).

Los resultados en la actividad acuosa para ambas formas de secado que se muestran en el Cuadro 9, están en un intervalo de 0.36 a 0.72, lo que indica que se encuentran en la zona II, en la que el agua esta “ligada” y donde quizá no se tenga problemas con el crecimiento de microorganismos, pero si puede ocurrir la oxidación de lípidos, reacciones hidrolíticas, oscurecimiento no enzimático y actividad enzimática (Jiménez *et al.*, 2012).

3.3.3 Contenido total de antocianinas

La menor pérdida de antocianinas la obtuvo el T1 (6 %), mientras que la mayor fue para el T6 (36%), con respecto al testigo que presentó un contenido de antocianinas de 950 mg kg⁻¹ MS (equivalentes de cianidina 3- glucósido). Mientras que los T3 y T4 fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), y la pérdida de antocianinas con respecto al testigo fue de 20 y 27 %, respectivamente (Figura 9). Por lo cual, conviene poner atención a estos dos tratamientos ya que el primero ofrece menor pérdida de antocianinas con un tiempo de 18 h a 70 °C, mientras que el segundo brinda una merma numéricamente mayor (estadísticamente igual al T3) pero con un tiempo de 30 min a 180 W.

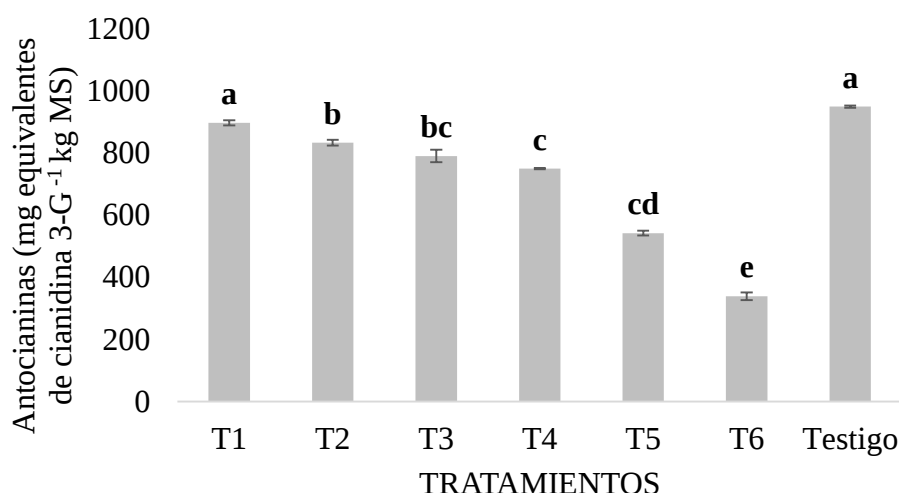


Figura 9. Efecto del método y la temperatura de secado en el contenido total de antocianinas de maíces azules germinados: estufa (T1, T2, T3) y horno de microondas (T4, T5, T6).

Aun no existe un mecanismo que explique la degradación por temperatura, se ha postulado que incrementos de temperatura resultan en pérdida del azúcar glicosilante en la posición tres de la molécula y apertura de anillo pirilio, con la consecuente producción de chalconas incoloras (Timberlake y Henry, 1988) lo que genera productos con precipitados de color café (Markakis, 1982).

Al respecto, los procesos como la nixtamalización causa cambios relevantes en el perfil nutracéutico del maíz, Del Pozo-Insfran *et al.* (2006) y Del Pozo-Insfran *et al.* (2007) estudiaron el destino de los polifenoles y compuestos relacionados durante la cocción alcalina para tortillas y frituras de maíces azules. Granos comerciales de color blanco y azul (tanto mexicano como americano) fueron secuencialmente procesados a masa, tortillas y frituras de maíz y las pérdidas de antocianinas fueron de 39, 53 y 78 %, respectivamente. El efecto de la temperatura en la estabilidad de antocianinas en productos alimenticios han sido estudiados por muchos investigadores, el consenso general es que los pigmentos antocianos

son notoriamente destruidos por el calor durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Markakis, 1982).

También se encontró una correlación positiva entre la a_w y el CTA ($r=0.87^{**}$), lo cual podría sugerir que la actividad acuosa determina la estabilidad del pigmento. Al respecto, Badui (2006) menciona que la oxidación de sustancias liposolubles, como las vitaminas y varios pigmentos, está influenciada por la actividad acuosa, que se incrementa en la zona de agua “ligada”, ocasionado por una falta de agua que proteja del oxígeno a la superficie del alimento.

3.2.4 Fenoles solubles totales y actividad antioxidante

Los tratamientos T3 y T6 resultaron diferentes ($p \leq 0.05$) para la AA (Figura 10). Así mismo, se encontró una correlación negativa altamente significativa de los FST y la a_w ($r= -0.86^{**}$).

Dicha relación se puede observar en la Figura 10, en donde los tratamientos T1-T3 presentan mayor contenido de FST, los cuales también presentan la a_w menor (0.52 a 0.36, respectivamente), en contraste con los T4-T6 ($a_w=0.72$ a 0.50). Este comportamiento pudiera deberse a la cantidad de oxígeno presente, puesto que en productos muy secos no existe agua que actúe como filtro de oxígeno y la oxidación de otros compuestos se produce fácilmente (Badui, 2006).

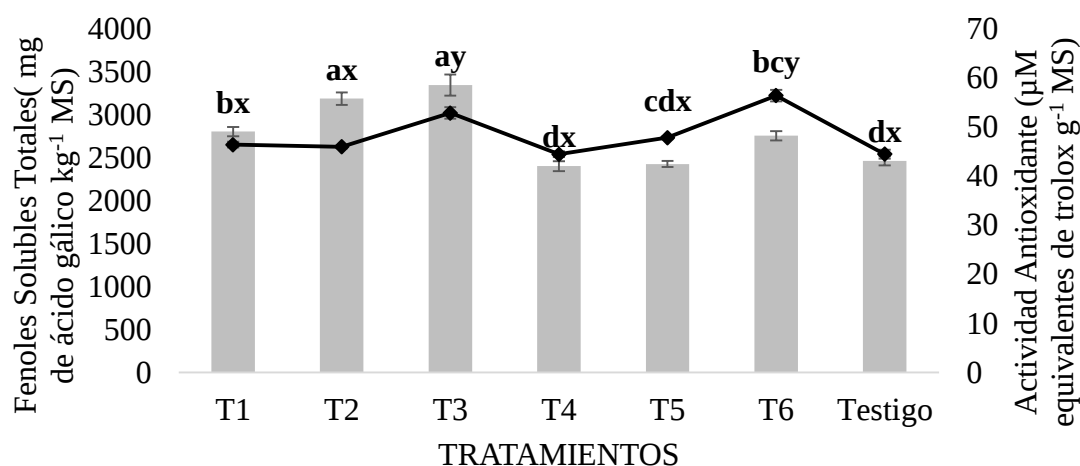


Figura 10. Fenoles solubles totales (■) y actividad antioxidante (—◆—) para seis tratamientos secados en estufa (T1, T2, T3) y horno de microondas (T4, T5, T6). Letras a, b, c y d, son estadísticamente diferentes. X y Y son estadísticamente diferentes.

En esta investigación se encontró que los tratamientos en estufa (T1-T3) y microondas (T4-T6) obtuvieron en promedio 3115 y 2530 mg kg⁻¹ MS de FST, respectivamente. Es decir 23 % más en los tratamientos sometidos a secado mediante estufa, lo cual pudiera generar ciertas desventajas en los productos alimenticios, debido a que pueden propiciar sabores amargos (Kaukivirta-Norja *et al.*, 2004).

En contraste con otros procesos donde los compuestos fenólicos son reducidos, De la Parra *et al.* (2007) demostraron que el proceso alcalino redujo significativamente el contenido de fenólicos totales y la capacidad antioxidante; los niveles observados de fenólicos totales en el grano (244 a 320 mg ácido gálico⁻¹ 100 g MS), masa (125 a 198 mg ácido gálico⁻¹ 100 g MS), tortilla (137 a 207 mg ácido gálico⁻¹ 100 g MS) y totopos (111 a 155 mg ácido gálico⁻¹ 100g MS), indicaron claramente la reducción significativa en estos importantes fitoquímicos.

3.3.5 Color

El color es un atributo determinante en la aceptación de un alimento. Cambios indeseables en el color de un alimento podría conducir a un decremento en la calidad y valor de mercado. El color en granos de maíz puede diferir considerablemente, intervalos de blancos a amarillos, naranjas, rojos, morados y cafés. En la Figura 11 se puede observar, en grano como en la harina, que la luminosidad disminuye a medida que baja el CTA, mientras que la pureza aumenta. El tono de color en el grano se correlaciona con el CTA, lo que significa que a medida que hay un valor mayor de esta variable también habrá un valor alto de este fitoquímico, mientras que para la harina se observa una relación inversa, es decir que si el tono aumenta, el valor del CTA disminuirá.

En un estudio realizado por Izli y Isik (2013) observaron que la luminosidad de maíz dentado amarillo decrecía con un incremento en las temperaturas para varias condiciones de secado, lo que indicó que la luminosidad fue inversamente correlacionada con la temperatura. Algo similar fue encontrado en muestras de maíz amarillo, secados en horno de microondas y convencionalmente, ya que el valor de luminosidad decreció de 76.4 a 71.8. Velu *et al.* (2006) sugiere que las altas temperaturas en el secado inducen la formación de pigmento café y en consecuencia decrecen los valores de luminosidad.

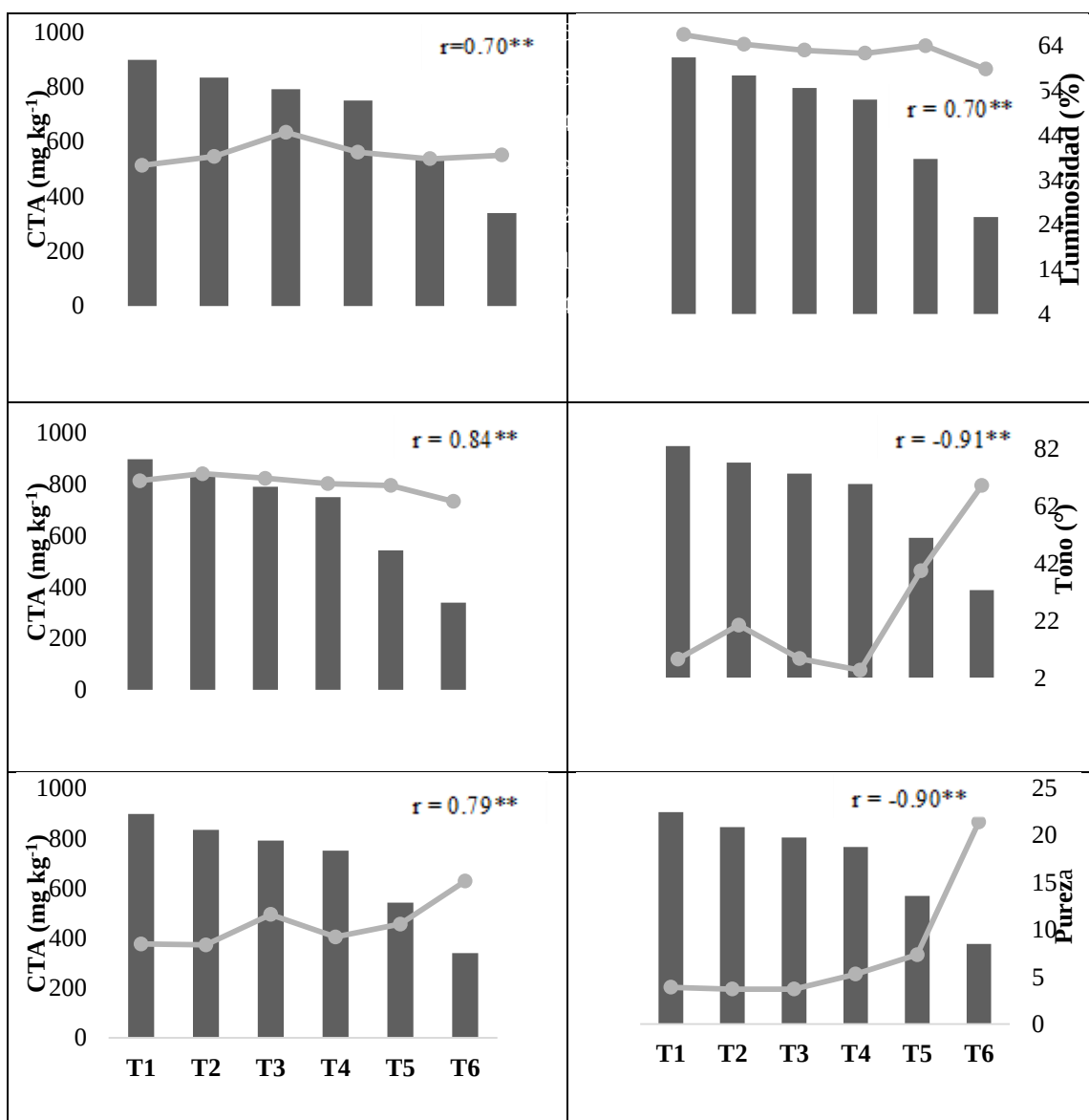


Figura 11. Variables de color (—●—) y contenido total de antocianinas (■) (CTA) para grano (izquierda) y harina (derecha) de maíz germinado y secado por estufa (T1-T3) y horno de microondas (T4-T6).

4 Conclusiones

Se observó un efecto de la temperatura y el tiempo de germinación sobre el contenido total de antocianinas (CTA), fenoles solubles totales (FST) y actividad antioxidante (AA) ($p \leq 0.05$). En las primeras 48 h de germinación a 25°C se encontraron los mayores incrementos de antocianinas (19%), fenoles solubles totales y de AA ().

Se encontró una correlación positiva ($p \leq 0.05$) entre la AA y los (FST) ($r=0.79^{**}$), lo que indica que los FST juegan un rol importante como los responsables de la AA en el maíz azul germinado. También se encontró una correlación positiva de los FST con el ángulo de tono ($r=0.6^{**}$) lo que evidencio que durante este proceso hay oscurecimiento.

Con el secado del maíz germinado en estufa y horno de microondas se redujo en 20 % el CTA. El secado de maíz germinado en estufa a 70 °C y 18 h permitió la mayor conservación de antocianinas (CTA), mientras que los FST aumentan. En tanto que en horno de microondas a una potencia de 180 W y 30 min, las antocianinas y fenoles no presentaron cambios importantes. La AA para ambos tipos de secado fue estadísticamente igual ($p \leq 0.05$). Las variables de color se correlacionaron con el CTA. En tanto que los valores bajos de luminosidad se asociaron a la formación de pigmento café, además de evidenciar que incrementos de temperaturas en el secado aumentan el oscurecimiento.

5 Bibliografía

- American Association of Cereal Chemists (AACC) (1995). Approved methods of the AACC, St. Paul MN.
- Arnao, M.B., Cano, A., Alcolea, J.F. & Acosta, M. (2001). Estimation of free radical quenching activity of leaf pigment extracts. *Phytochemical Anal.* 12:138-143.
- Badui, D. (2006). *Agua In: Química de los alimentos*. Enrique Quintanar Duarte (ed.) México. Pearson Educación (Ed.) pp. 6-25.
- Basra, A. S. (1995). Seed Quality: basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press, New York.
- Cevallos-Casals, B.A. & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chem.* 119:1485–90.
- Dalby, A. & Tsai, C. Y. (1976). Lysine and tryptophan increases during germination of cereals grains. *Cereal Chemistry*, 53(2): 222-226.
- Del Pozo-Insfran D., Brenes, C. H., Serna, S. S. O. & Talcott, S. T. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res. Int.* 39:696-703.
- Del Pozo-Insfran, D., Serna, S. S. O., Brenes, C. H. & Talcott, S. T. (2007). Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chem.* 84:162-168.
- De la Parra, C., Serna, S. S. O. & Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn production of masa, tortillas and tortilla chips. *J. Agri. Food Chem.* 55:4177-4183.
- Dicko, M., Gruppen, H. R., Traore, A. S., Van Berkel, W., & Voragen, A. (2005). Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *J. Agric. Food Chem.* 53:2581-2588.

- Frias, J., Miranda, M. L., Doblado, R. & Vidal-Valverde, C. (2004). Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* var. Multolupa. *Food Chemistry*, 92(2): 211-220.
- Galicia-Flores, L.A., Islas-Caballero, C., Rosales-Nolasco, A. & Palacios-Rojas, N. (2011). Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de lisina en grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* (34):4.
- Garzón, A. G. (2008). Anthocyanins as Natural Colorants and Bioactive Compounds. A Review *Acta biol. Colomb.* 13 (3): 27–36.
- Izli, N. & E, Isik. (2013). Batch drying characteristics of dent corn (*Zea mays* var. indentata Sturt.) *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 11(1): 259-263.
- Jiménez, N., Bohuon, P., Dornier, M., Bonazzi, C., Pérez, A. M. & Vaillant, F. (2012). Effect of water activity on anthocyanin degradation and browning kinetics at high temperatures (100- 140 °C). *Food Research International* 47: 106-115.
- Kaukivirta-Norja, A., Wilhelmson, A. & Poutanen, K. (2004). Germination: a means to improve the functionality of oat. *Agricultural and Food Science* 13: 100-112.
- Markakis, P. (1982). Estability of Anthocyanins in Foods Colors. *In*. Anthocyanins as Foods Colors. Markakis, P. (ed.) New York. Academic Press Inc, Pp. 166-169.
- Milán, C. J., Gutierrez, D. R., Cuevas, R. E.O., Garzón, T. J.A & Reyes, M. C. (2004). Nixtamalized flour from Quality protein maize (*Zea mays* L.) optimization of alkaline processing. *Plant Foods Human Nutrition* 59: 35-44.
- Nava, A. D., Jimenez, A. A. & Hernández, S. H. (2008). Optimization of germination conditions of blue corn (*Zea Mays* L.) by Taguchi orthogonal array methodology. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- Pomeranz, Y., Hall, G. E., Czuchajomska, Z. & Lai, F. S. (1986). Test weight, hardness and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chem.* 63: 349-351.
- Salinas, M. Y. & Vázquez, C. G. (2006). Metodologías de Análisis de la Calidad Nixtamalera-Tortillera en Maíz. Folleto Técnico No. 23. INIFAP. México, D.F. 91 p.

- Salinas, M. Y., Soto, H. M., Martínez, B. F, González, H. V. & Ortega, P. R. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161–174.
- Salinas, M. Y. (2000). Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis doctoral. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Fisiología Vegetal. Colegio de Posgraduados. México. 92 p.
- Salinas, M. Y., Martínez, B. F. & Gómez, E. J. (1992). Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Arch Latinoamer Nutr.* 42 (1):59-63.
- SAS Institute (2002) The SAS system for Windows 9.0. 2nd ed. SAS Inst. Cary, NC.
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetric of total phenols with phosphomolybdic, phosphtungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.
- Sokrab, A. M., Mohamed Ahmed, I.A. & Babiker, E.E. (2012). Effect of germination on antinutritional factors, total, and extractable minerals of high and low phytate corn (*Zea mays* L.) genotypes. *J. of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 11: 123–128.
- Pasko, P., Barton, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fołta, M. & Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 15(3): 994-998.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. 792 p.
- Taylor, L. P. & Briggs, W. R. (1990). Genetic regulation and photocontrol of anthocyanin accumulation in maize seedling. *The Plant Cells* 2: 115-127.
- Timberlake, C. F. & Henry, B. S. (1988). Anthocyanins as food colourants. PP 107 in: *Plant flavonoids in Biology and Medicine II*. Cody V. Middleton E. Harborne E, Beretz A. (eds). Alan R. Liss Inc. New York.

- Utrilla, R. G.; Agama, A. E.; Barba de la Rosa, A. P.; Rodríguez, A., S. L. & Bello, P. L. A. (2010). Physicochemical and enzyme characterization of small and large starch granules isolated from two maize cultivars. *Cereal Chemistry*. 87:50-56.
- Velu, V., Nagender, A., Prabhakara, Rao, P.G., & Rao, D.G. 2006. Dry milling characteristics of microwave dried maize grains (*Zea mays* L.). *Journal of Food Engineering* 74: 30-36.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. & Mangelsdorf, P. C. (1951). Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. In: Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. *Revista de Geografía Agrícola*. Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. 609-732 pp.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE GOLOSINAS TIPO MAZAPÁN ELABORADAS CON MAÍZ AZUL

CARACTERIZACIÓN DE GOLOSINAS TIPO MAZAPÁN ELABORADAS CON MAÍZ
AZUL (*Zea mays* L.)

CHARACTERIZATION OF A CANDY TYPE MARZIPAN FROM BLUE
CORN (*Zea mays* L.)

Griselda Alcántara-Sánchez G¹, Arturo Hernández- Montes²

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron; evaluar fisicoquímicamente y sensorialmente una golosina tipo mazapán elaborada a partir de harina de maíz azul germinado. Por lo que se formularon tratamientos; con y sin harina germinada (52%), con grasa vegetal y animal (23%) y azúcar (25%). En el análisis sensorial descriptivo, un panel calificó las golosinas tipo mazapán en apariencia, aroma, sabor y textura, mientras que en la prueba afectiva los panelistas evaluaron la aceptabilidad global y por atributos. El pH y el tono de color resultaron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) para los tratamientos con harina germinada y no germinada. Un léxico de siete descriptores fue generado para describir sensorialmente a la golosina tipo mazapán. La evaluación sensorial demostró que la golosina elaborada con maíz azul no germinado fue la más aceptada por su sabor dulce, sabor a pinole y su cohesividad, los cuales se correlacionaron con el porcentaje de grasa, proteína, pH y antocianinas.

Palabras clave: harina germinada, maíz azul y calidad sensorial.

ABSTRACT

The objectives of this study were: to evaluate physicochemically and sensory a treat type marzipan made from blue corn germ meal. As treatments were developed, with and without germinated flour (52%), animal and vegetable fat (23%) and sugar (25%). In the descriptive sensory analysis, a panel called marzipan candy type in appearance, taste, flavor and texture, while the affective test panelists evaluated overall acceptability and attributes. The pH and color tone statistically different ($p \leq 0.05$) for treatments germinated and ungerminated flour. A lexicon seven descriptors was generated to describe sensory type marzipan sweets. Sensory evaluation showed that the candy made with blue no germinated corn was accepted by the sweet taste, pinole flavor and its cohesiveness, which were correlated with the percentage of fat, protein, pH and anthocyanins.

Keywords: germinated flour, blue corn and sensory quality.

1 Introducción

El maíz azul es rico en fitoquímicos, principalmente compuestos fenólicos y antocianinas (Cuevas *et al.*, 2008). También el maíz azul ha despertado un interés en la industria de alimentos, que conlleva a utilizarlo como materia prima para la elaboración de productos con valor agregado. Un ejemplo de ello es el consumo de la harina del maíz germinado que ha sido extensamente usada para elaborar productos de panadería, algunos tipos de pastas y fabricación de cerveza (Muller *et al.*, 2012).

Por otro lado, en México se han llevado a cabo estudios relacionados con golosinas tipo mazapán elaboradas con cereales y leguminosas (avena, lenteja, amaranto y arroz) que han resultado en productos innovadores de buenas características sensoriales y nutritivas (Sánchez *et al.*, 2007; Chavarría *et al.*, 2010). Por lo que, la posibilidad de elaborar un producto tipo mazapán a partir de harina de maíz azul germinado se ha considerado en este trabajo, debido a que el maíz azul es un cereal con cualidades nutritivas, de color y sabor que pueden ser aprovechadas para diversificar los productos y aumentar su consumo.

El objetivo de este trabajo fue elaborar una golosina tipo mazapán a partir de harina maíz azul germinado y evaluar fisicoquímicamente, texturalmente y sensorialmente.

2 Materiales y métodos

2.1 Elaboración de la golosina

Se formularon cuatro tratamientos (Figura 11 y Cuadro 12); con harina germinada y sin germinar, con manteca vegetal (Marca Inca) y mantequilla (Marca La Gloria) (Cuadro 11). Las variables respuesta fueron instrumentales y sensoriales. Las primeras fueron de; color, proteína, humedad, pH y a_w , para la segunda fue; aceptación global y por atributos.

Cuadro 10. Formulación de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas con maíz azul.

Ingredientes	Golosinas tipo mazapán			
	A	B	C	D
Harina de maíz azul no germinado (%)	52	0	52	0
Harina de maíz azul germinado (%)	0	52	0	52
Manteca vegetal (%)	23	0	0	23
Mantequilla (%)	0	23	23	0
Azúcar (%)	25	25	25	25
Total (%)	100	100	100	100

Cuadro 11. Descripción del proceso de elaboración de una golosina tipo mazapán a partir de maíz azul.

Operación	Descripción	Equipo	
Remojo	Sumergir los granos en 250 mL de agua a 25 °C y 24 h, hasta alcanzar una humedad del 35 %.	Single Chamber Germinator, Mod. D-7140, Chicago IL.	
Germinado	Germinación a 25 °C por 48 h (asperjar agua cada 24 h).	Single Chamber Germinator, Mod. D-7140, Chicago IL.	
Secado	En estufa 70 °C y 18 h.	Memmert GmbH & Co. Modelo ULM 50, Schwabach, Alemania.	
Molienda	Durante esta etapa los granos se trituran y muelen para exponer el almidón del endospermo.	Molino Cyclone Sample Mill (Modelo 310-080P).	
Pesado	La harina, el azúcar y la grasa son pesados en proporciones de 52, 23 y 25 %, respectivamente.	Balanza electronica Ohaus (Scout Pro Sp601 600g X 0,1g).	
Refinado	La harina y el azúcar son homogeneizados en un tamiz de prueba.	Tamiz de prueba con una abertura de 1.41 mm.	
Mezclado	Primero se mezcla el azúcar y la harina de maíz azul durante 15 min, posteriormente se adiciona la grasa y se deja mezclar por 15 ó 20 min a una velocidad baja, para lograr una incorporación homogénea.	Batidora clásica (kitchenAid modelo K45SSWH) y batidor de globo como accesorio.	
Moldeado	La mezcla es colocada en moldes de plástico y es presionada con un rodillo de madera.	Círculos de plástico de 1.5 cm de alto por 8 cm de diámetro.	
Envasado	El producto se envolvió en papel encerado.	Hojas de papel encerado (Reynolds Wrap®).	

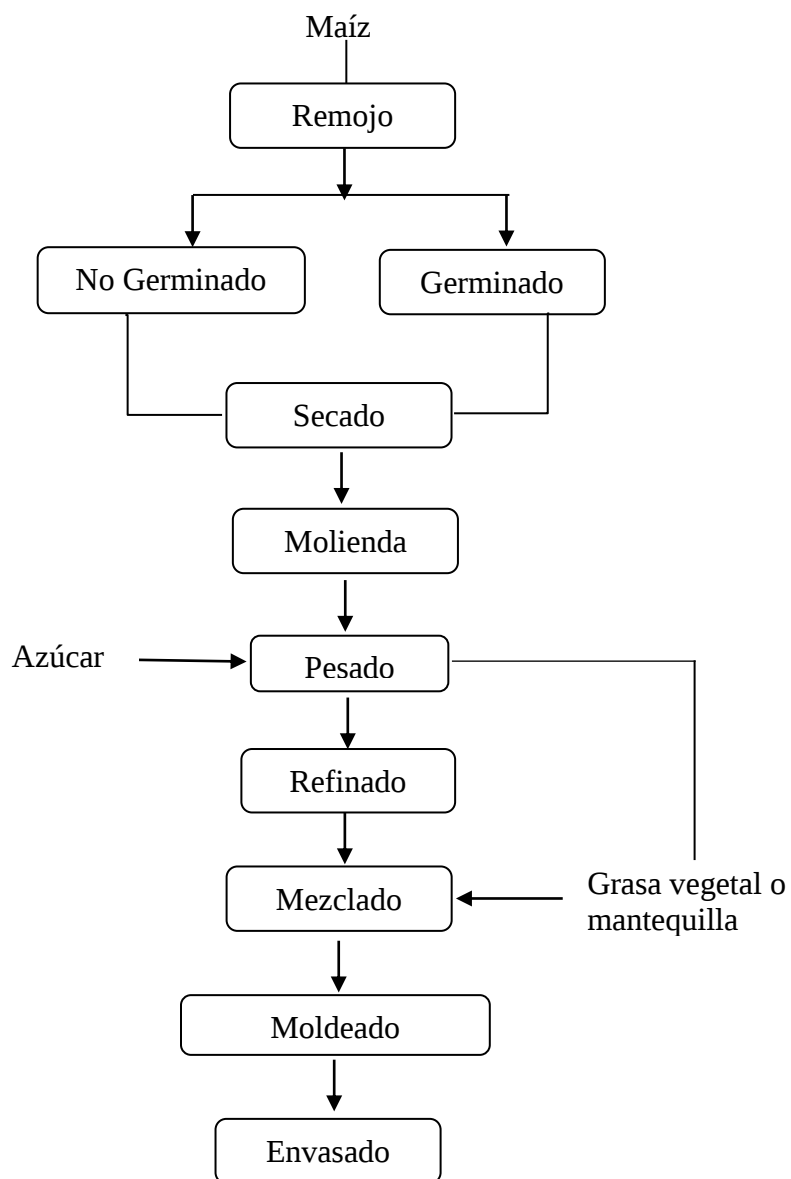


Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la golosina tipo mazapán elaborada a partir de maíz azul.

2.2 Variables respuesta

2.2.1 Color

Esta variable se midió mediante un colorímetro Hunter Lab, Mini Scan™ XE Plus (Modelo 45/0-L Serie 5348), con la escala CIE L*a*b* y un ángulo de 10 grados. A partir de tales parámetros se calculó el ángulo de tono (hue), el índice de saturación de color (Pureza), de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\text{Ángulo de tono} = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad \text{Ecuación (4)} \quad \text{Pureza} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ecuación (5)}$$

2.2.2 Actividad acuosa

La actividad acuosa (a_w) se tomó con un medidor de actividad de agua Aqualab (Decagon, WA, E.E.U. U.), a una temperatura de 25 °C, con tres repeticiones por tratamiento (Milán *et al.*, 2004).

2.2.3 Humedad

El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso en las muestras antes y después del secado en estufa a 110 °C por 2 h (método 44-11, AACC, 2000).

2.2.4 Cenizas

Las cenizas se realizaron de acuerdo al método 08-01 (AACC, 1962), cuyo principio es la calcinación de la materia orgánica a una temperatura de 600 °C.

2.2.5 Proteína (Método Technicon)

Consiste en oxidar la materia orgánica por medio del ácido sulfúrico en presencia de oxidantes; el nitrógeno orgánico es fijado como sulfato de amonio y éste, al reaccionar con un álcali fuerte, origina una reacción exotérmica con liberación de nitrógeno amoniacal, el

cual se cuantifica al destilarse sobre un volumen conocido de un ácido valorado, el remanente de ácido valorado permite estimar la cantidad de nitrógeno presente en la muestra, y aplicando un factor de conversión se calcula el contenido proteínico. A una muestra previamente molida (malla de 0.5 mm) y seca se le agregó aproximadamente 600 mg de mezcla reactiva de selenio y 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente se digitaron por 1 h a 360 °C y se dejaron enfriar, dentro de la campana de extracción, para luego ser aforados a 75 mL de agua destilada. Las muestras fueron leídas a una absorbancia de 630 nm en el equipo Technicon AutoAnalyzer II (Wall y Gehrke, 1974).

2.2.6 Extracto etéreo o contenido de aceite

Se basa en las sustancias extraíbles con bencina de petróleo de la muestra pulverizada de grano de maíz. Para ello se realizó un reflujo con solvente orgánico, que al entrar en contacto con la muestra arrastra el aceite. Por este método se extraen también otras sustancias solubles en este disolvente, como ceras y pigmentos (Método 7.044, AOAC, 1975).

2.2.7 Potencial de hidrogeno (pH)

El pH se midió con un potenciómetro (Hanna Instrumentals), calibrado con una solución buffer a pH: 7.0 y 4.0 (J.T. Baker, México). La muestra utilizada fue 1 g diluidos en 10 mL de agua destilada.

2.2.8 Análisis de perfil de textura (TPA)

De cada golosina se prepararon, con un sacabocados metálico, muestras cilíndricas de 20 mm de diámetro y 10 mm de altura. Se empleó el analizador de textura TA-Xt2i (Stable Micro Systems; Surrey, UK), con una celda de carga de 5 kg. Las muestras se comprimieron uniaxialmente a una deformación de 50 %, con un disco acrílico de 35 mm de diámetro (A/BE35) a velocidad pre-ensayo, ensayo y postensayo del cabezal, de 1 mm s⁻¹. A partir de

las curvas de fuerza contra tiempo, se determinaron la firmeza, la adhesividad, la cohesividad y elasticidad de las golosinas tipo mazapán.

2.3 Pruebas sensoriales

2.3.1 Análisis sensorial descriptivo

Para el análisis descriptivo cuantitativo se conformó un panel de nueve personas, seis mujeres y 3 hombres con edades de 19 a 25 años. Los panelistas tuvieron un entrenamiento de 20 h para familiarizarse con la metodología, la escala y los atributos evaluados. Se pidió a los panelistas describir la golosina tipo mazapán y se les dijo que fueran lo más específicos posible en la generación de la terminología. Los miembros del panel evaluaron cada golosina tipo mazapán y escribieron los atributos identificados. Después, el líder del panel dirigió una discusión en la cual se acordó por consenso los descriptores de la golosina tipo mazapán. Las referencias fueron propuestas por los panelistas y los valores de su intensidad fueron acordados por consenso. Se empleó una escala de intervalo de 15 cm (0=ausencia de atributo, 15=presencia de atributo). Se sirvieron trozos de la golosina tipo mazapán de aproximadamente 1 cm x 1 cm, a temperatura ambiente, en vasos de plástico codificados con números aleatorios de tres dígitos. Los atributos de sabor, aroma y textura de cada muestra fueron evaluados por triplicado por cada panelista. Las variables independientes fueron las golosinas tipo mazapán y los panelistas, y las variables dependientes fueron los siete atributos de; apariencia, aroma, sabor y textura. Las cuatro golosinas tipo mazapán fueron evaluados durante un periodo de dos días. Las evaluaciones se condujeron en un laboratorio de evaluación sensorial con cabinas individuales e iluminadas con luz de día. Los panelistas siempre tuvieron disponibles agua enjuague y referencias para los atributos evaluados.

2.3.2 Evaluación con consumidores

Se realizó una prueba de aceptación global y por atributos, dos semanas después del análisis descriptivo de las golosinas tipo mazapán. La prueba se condujo con un grupo de consumidores (n=100) que incluía estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo, de edades entre 18 y 25 años.

Las muestras se presentaron en trozos de aproximadamente 1 cm x 1 cm, en orden aleatorio y balanceados en vasos de plástico, codificados con números aleatorios de tres dígitos. Las muestras se presentaron en forma monádica y fueron evaluadas por aceptación global y por atributos, en tiempo y formato de evaluación diferentes, con una escala hedónica de 9 puntos (1=disgusta extremadamente y 9=gusta extremadamente).

2.4 Análisis estadísticos

2.4.1 Análisis fisicoquímicos

Un diseño completamente al azar fue utilizado para el análisis de los datos instrumentales de la golosina tipo mazapán y en caso de diferencias se empleó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), los datos fueron analizados con el paquete de programas SAS versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC).

2.4.2 Análisis de datos sensoriales

Para el análisis sensorial descriptivo se empleó un diseño en bloques al azar balanceado con un arreglo en parcela dividida, donde la parcela mayor fueron las golosinas tipo mazapán, la parcela menor los panelistas, las repeticiones fueron consideradas como bloques y la interacción panelista*tratamiento fue evaluada. Las separaciones de medias se realizaron mediante procedimientos DMS, y el monitoreo de los panelistas mediante el análisis de componentes principales (ACP). Para la aceptabilidad global y por atributos, se utilizó un

diseño en bloques completamente al azar, donde los bloques fueron los consumidores, y en caso de diferencia se empleó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, los análisis se realizaron mediante el programa SAS versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC).

2.4.3 Relación de variables

Mediante el programa The Unscrambler versión 10.3 (Camo Process AS, Oslo, Norway), se realizó un análisis de componentes principales y se obtuvo una gráfica bi-plot para el mapa de preferencia interno.

Con las variables de fisicoquímicas y la aceptabilidad global, se condujo un análisis de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) tipo 1 (que asocia un conjunto de datos con una variable de respuesta) con validación cruzada para analizar la aceptabilidad de los consumidores en relación a las variables instrumentales, todo ello mediante el programa The Unscrambler versión 10.3 (Camo Process AS, Oslo, Norway).

Para establecer las relaciones entre variables fisicoquímicas y descriptivas (generadas y evaluadas por panelistas entrenados), se realizó una regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) tipo 2 (que asocia un conjunto de datos con un conjunto de variables respuesta), para explicar las variaciones de las variables dependientes a través de las variaciones de las variables independientes, el análisis de datos llevó a cabo con el programa The Unscrambler versión 10.3 (Camo Process AS, Oslo, Norway).

3 Resultados

3.1 Caracterización química, de color y textura

El pH y la luminosidad de las golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul no germinado (A y C) fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) a las realizadas con harina germinada (B y D) (Cuadro 13). La actividad acuosa no mostró diferencias, sin embargo esta característica permite saber que la golosina tipo mazapán podría no presentar crecimiento de microorganismos, aunque sí podría ocurrir la oxidación de lípidos (Badui, 2006).

Cuadro 12. Valores promedio para análisis fisicoquímico de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas a partir de maíz azul.

Tipo	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	pH	a_w	Color		
							L (%)	Tono (°)	Pureza
A	5.69a	5.0ab	30.05a	6.56c	6.81a	0.46a	40.4c	327.1c	6.2a
B	6.19a	5.2a	27.53a	6.72bc	6.23b	0.49a	47.8a	358.2a	6.2a
C	6.19a	4.65bc	27.96a	7.08ab	6.79a	0.48a	45.0b	340.9b	6.1a
D	5.20a	4.45c	30.47a	7.22a	6.43b	0.48a	41.6c	341.9b	6.6a
DSH	1.43	0.45	3.89	0.4	0.27	0.08	1.95	3.01	1.53
CV	8.43	2.31	3.29	1.42	0.99	4.29	1.1	0.21	6.29

L: luminosidad, DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación (%), Medias en columnas con letras diferentes fueron diferentes ($p \leq 0.05$).

En cuanto color, las golosinas se ubicaron en el cuarto cuadrante de la escala CIELAB, por lo que existe una tendencia al azul, con valores de baja luminosidad y con poca pureza del color. Mientras que el análisis de perfil de textura mostró que la golosina A, elaborada con harina sin germinar, fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) en firmeza, la adhesividad y cohesividad con respecto a las demás. Entonces, la golosina A podría describirse como; firme, adhesiva y con baja elasticidad (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores promedio para las variables mecánicas medidas por análisis de perfil de textura de cuatro golosinas tipo mazapán, elaboradas a partir de maíz azul.

Golosinas tipo mazapán	Firmeza (gf)	Adhesividad (mm ²)	Cohesividad	Elasticidad
A	4130.5a	-3.32b	0.150b	0.22b
B	1098.9b	-0.38a	0.065a	0.63a
C	1105.6b	-0.42a	0.060a	0.69a
D	1340.9b	-0.43a	0.055a	0.66a
DSH	421.31	0.58	0.02	0.09
CV	5.39	12.57	6.06	4.04

Medias en columnas con letras diferentes fueron diferentes ($p \leq 0.05$), DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación (%).

3.2 Análisis sensorial descriptivo

El panel entrenado generó siete atributos que describieron la apariencia, el aroma, sabor y textura, así mismo la intensidad de estos se muestra en el Cuadro 14. El panel, en la prueba final, mostró un buen desempeño al no presentar interacciones cruzadas ($p \leq 0.05$) entre panelista x tratamiento. Cuando se presentaron interacciones se eliminaron los panelista causantes de éstas.

Cuadro 14. Lenguaje sensorial para el análisis descriptivo cuantitativo de golosina tipo mazapán elaborada con maíz azul.

Término	Definición	Referencia
<i>Apariencia:</i>		
Luminosidad	Presencia de oscuridad o claridad en el tono del color del alimento.	Polvo sabor uva (Frisco, Kraft Foods) Intensidad=10
<i>Aroma:</i>		
Lácteo	Intensidad del aroma a leche.	Leche en polvo (Nido, Néstle) Intensidad=4
<i>Sabor:</i>		
Pinole	Intensidad de sabor a harina de maíz tostado.	Pinole de maíz tostado Intensidad=8
Dulce	Intensidad de sabor dulce	Sacarosa al 10 % (Zulca, Zucarmex) Intensidad=10
<i>Textura:</i>		
Sensación grasosa	Intensidad de grasa presente.	Cubierta del pan dulce de conchas (Tía Rosa ® Concha, Tía Rosa) Intensidad=8
Dispersabilidad	Dispersión del producto en contacto con la saliva.	Galletas (Pastisetas Suandy 1974, Bimbo) Intensidad=6
Cohesividad	Formación de una masa en la cavidad bucal.	Dulce de cacahuete estilo Mazapán (de la Rosa, Dulces de la Rosa) Intensidad=8

El sabor dulce destacó debido a que los panelistas encontraron diferencias significativas entre las golosinas. La golosina D fue la que recibió la calificación más alta, seguida de la A y finalmente C y B. Mientras que el aroma lácteo, la sensación grasosa, y el sabor a pinole fue estadísticamente diferente para las golosinas elaboradas con manteca vegetal (A y D) y mantequilla (B y C) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Valores de intensidad para siete atributos sensoriales identificados en cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul germinado.

Atributo	Golosinas tipo mazapán			
	A	B	C	D
Luminosidad	4.00c ±1.91	7.80a ±1.23	5.96b ±1.46	5.26b ±1.69
Aroma lácteo	1.73b ±1.63	7.89a ±2.61	7.33a ±2.95	2.43b ±2.28
Sabor a pinole	5.16a ±1.81	3.34b ±1.81	3.18b ±1.30	5.32a ±1.21
Sabor dulce	7.35b ±1.99	4.73c ±1.66	5.58c ±2.06	8.48a ±2.10
Sensación grasosa	5.04b ±1.99	9.43a ±1.94	9.31a ±1.49	5.72b ±1.92
Dispersabilidad	5.51b ±2.97	9.83a ±2.13	9.50a ±1.35	6.12b ±2.34
Cohesividad	8.95a ±2.98	6.14b ±2.92	6.81b ±2.71	8.50a ±2.76

Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

En lo que respecta a las diferencias en el sabor dulce, es importante mencionar que todas las golosinas fueron constituidas por la misma cantidad de azúcar (25 %), lo que sugiere que estas diferencias podrían deberse a la composición del tipo de grasa con las que fueron conformados. Es decir, que el sabor dulce pudo haber sido enmascarado por algún componente de las grasas utilizadas, puesto que la grasa vegetal no contiene agua y está hecha base de grasas hidrogenadas, mientras que la mantequilla es una emulsión de agua en aceite que se obtiene de la inversión de fases de la crema de la leche, la cual es estabilizada

por proteínas de la leche (Badui, 2006). Esto es confirmado por el contenido de humedad de las golosinas (Cuadro 12) debido a que numéricamente las golosinas elaboradas con mantequilla (B y C) son más húmedas que las de manteca vegetal (A y D).

La intensidad de los atributos se muestra gráficamente en la Figura 13, en ella se puede observar que los atributos de luminosidad, aroma lácteo, sensación grasosa y dispersabilidad obtuvieron las calificaciones más altas para las golosinas B y C (mantequilla). Mientras que el sabor a dulce, sabor a pinole y la cohesividad fueron los atributos con mayor intensidad para las golosinas A y D (manteca vegetal).

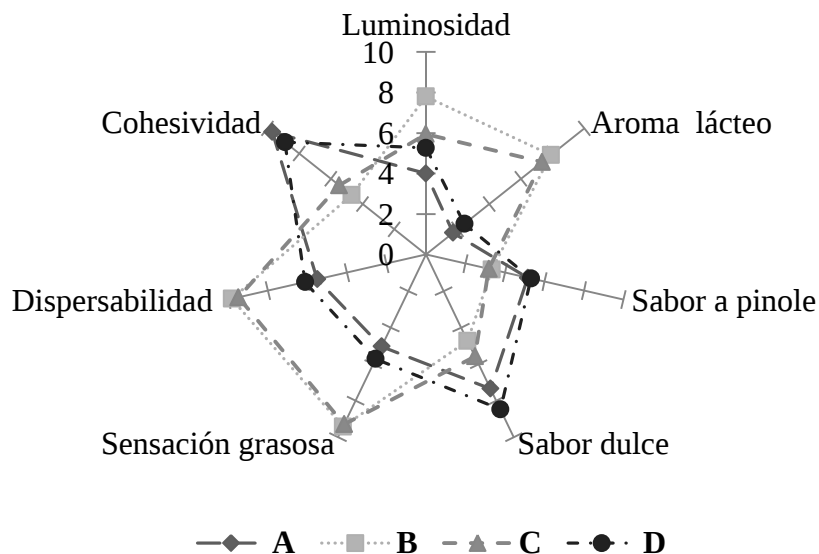


Figura 13. Atributos de apariencia, aroma, sabor y textura considerados por un panel de análisis descriptivo cuantitativo para cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

3.3 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales mostró que el primer componente explica el 94 % de la variabilidad de los datos y el segundo componente explica el 4 %. Los atributos de aroma a lácteo, sensación grasosa y la dispersabilidad fueron los que tuvieron mayor peso en el

componente 1 y se correlacionaron positivamente con él, mientras que para el segundo componente fue la luminosidad (Cuadro 16).

Cuadro 16. Cargas de los dos componentes principales del ACP de los atributos sensoriales de golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

Atributo	CP1	CP2
Luminosidad	0.89	0.44
Aroma lácteo	0.99	-0.02
Sabor a pinole	-0.97	0.21
Sabor dulce	-0.93	0.18
Sensación grasosa	0.99	-0.03
Dispersabilidad	0.99	-0.01
Cohesivo	-0.99	-0.05

CP; Componente principal.

Las golosinas B y C se caracterizaron por ser luminosas, dispersables, con sensación grasosa y aroma a lácteo, lo cual es muy congruente debido a que son las elaboradas con mantequilla, mientras que las golosinas A y D son más cohesivas, con sabor a pinole y sabor dulce, las cuales fueron elaboradas con manteca vegetal (Figura 14). También se observa que las elaboradas con harina de maíz germinado (D y B) se definen por su sabor dulce, sabor a pinole y luminosidad, lo cual concuerda debido a que estas características son propias de materiales germinados.

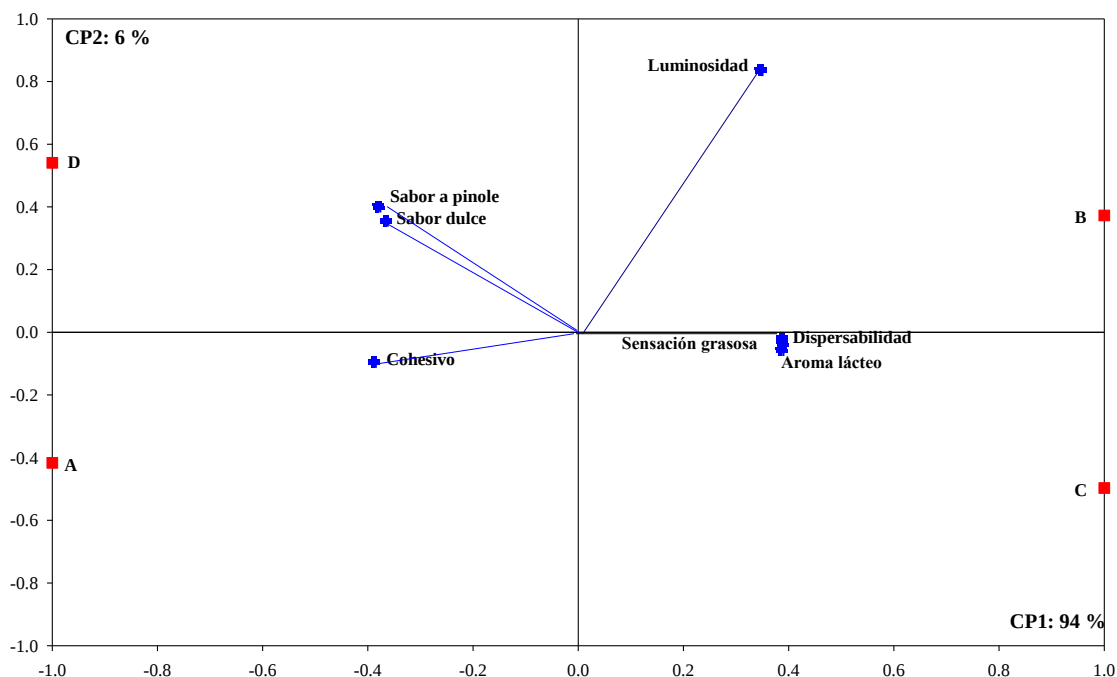


Figura 14. Grafica de componentes principales para análisis descriptivo cuantitativo.

3.4 Prueba de aceptabilidad

La aceptabilidad global mostró diferencias significativas entre los tratamientos realizados con maíz germinado (B y D) y no germinado (A y C), en donde los menos rechazados por los panelista fueron los tratamientos A y C; y si bien, no fue un producto con un valor muy alto en la escala hedónica, los panelistas le dieron un valor aproximado de 6 (me gusta poco), lo que los hizo ser más aceptados en comparación con los B y D, que obtuvieron un valor aproximado de 5 en la escala hedónica (Ni me disgusta ni me gusta) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Medias para la aceptabilidad de atributos específicos en golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

Atributos	Golosinas tipo mazapán			
	A	B	C	D
Luminoso	6.25a±1.64	5.55b ±1.81	6.25a±1.44	5.77b±1.52
Aroma lácteo	5.56ab ±2.02	5.32b ±2.08	6.06a±2.14	5.46d± 1.68
Sensación grasosa	5.88a±1.90	5.20b±1.78	5.58ab±1.72	5.27b±1.61
Sabor a pinole	5.91a±1.90	5.72b ±1.85	5.74a±2.02	5.49ab± 1.96
Sabor dulce	6.26a±1.53	5.65b± 1.84	6.14a± 1.86	5.51b±1.83
Dispersabilidad	6.17a±1.63	5.72a±1.90	5.82a±1.81	6.05a± 1.86
Cohesivo	5.95a±1.92	5.15b± 1.83	5.58ab±1.82	5.49b±1.76
Aceptabilidad global	6.5a±1.71	5.58c±1.74	6.2ab±1.90	5.8c±1.82

± desviación estándar, medias con letra diferentes entre columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

En la Figura 15 se muestra el mapa de preferencia interno para las cuatro golosinas tipo mazapán. En el cual es posible apreciar la preferencia en el siguiente orden: A, C, D y B. En este mapa se observa que la aceptabilidad global de la golosina A, se debe a la preferencia de las variables relacionadas con la sensación grasosa, la cohesividad y el sabor dulce, mientras que la menos preferida (B), se relacionó con la luminosidad, debido a que se encuentra relativamente opuestas al vector de aceptación global.

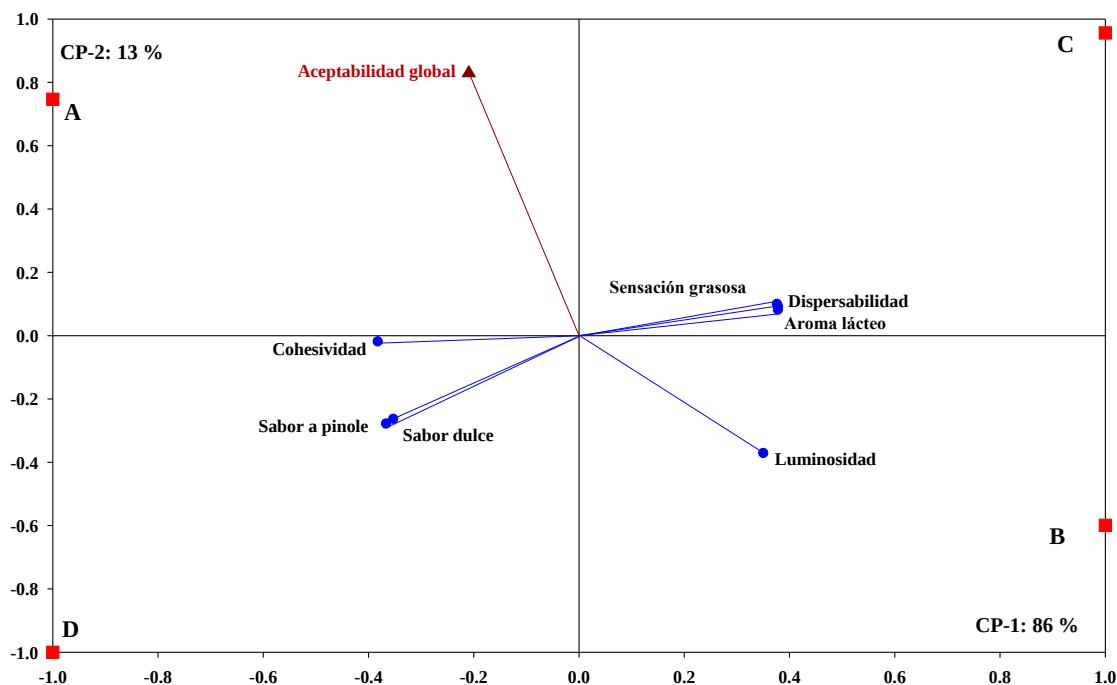


Figura 15. Mapa de preferencia interno realizado para siete atributos y la aceptación global de cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

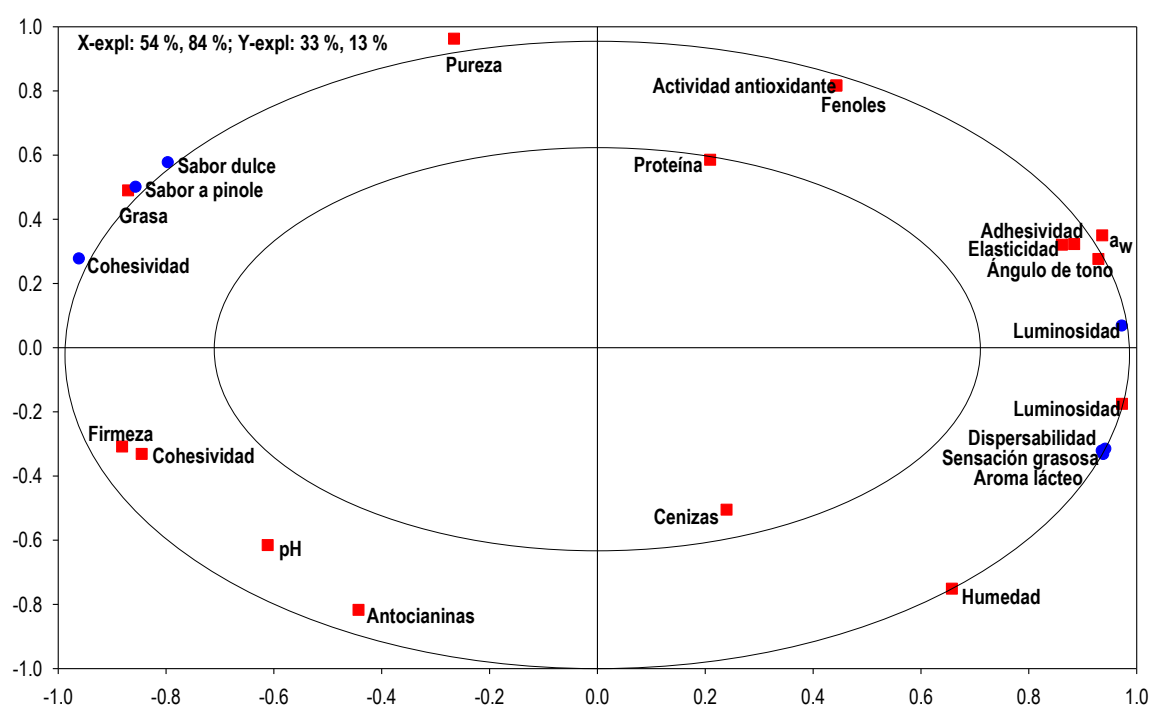
3.5 Relación de variables fisicoquímicas y sensoriales

La relación de variables fisicoquímicas y sensoriales que resultó de la regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) del tipo 2 evidenció que; la luminosidad, el aroma a leche, la sensación grasosa, la dispersabilidad y la cohesividad obtuvieron una mayor correlación (Cuadro 18). Lo que pudiera indicar que las variables fisicoquímicas, podrían predecir atributos sensoriales.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre las variables fisicoquímicas y descriptores de golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

Atributo	Correlación
Luminosidad	0.96
Aroma lácteo	0.93
Sabor a pinole	0.84
Sabor dulce	0.76
Sensación grasosa	0.93
Dispersabilidad	0.93
Cohesivo	0.95

La variable de luminosidad se relacionó con los atributos de dispersabilidad, sensación grasosa, aroma lácteo y luminosidad. En tanto que la variable grasa fue asociada a los atributos de sabor dulce, sabor a pinole y la cohesividad (Figura 16).



En atención a la relación que existe entre las variables instrumentales y sensoriales, se han realizado estudios en materiales germinados, en donde se correlacionan la calidad sensorial con fitoquímicos como; el total de fenoles con el amargor y la astringencia, atributos que aumentan conforme existan más de ellos en el material evaluado. Así mismo, se pueden relacionar estos atributos con la calidad sensorial del producto, es decir a medida que un material posea atributos desagradables menor será su calidad sensorial (Troszynska *et al.*, 2006).

La aceptabilidad global de las golosinas tipo mazapán se relacionó con la variable instrumental de pH (Figura 17), lo que sugiere que podría haber influenciado en la percepción del sabor dulce de las muestras más preferidas (A y C) puesto que el pH fue ligeramente mayor para estas. Una posible hipótesis, para explicar este comportamiento, es que la presencia de iones hidrónios, la cual pudo ser menor, y entonces los panelistas pudieron haber detectado algún sabor ácido en las muestras menos preferidas (B y D), sabores que quizá fueron menos detectables sensorialmente pero que modificaron las sensaciones primarias, en este caso el sabor dulce.

También la aceptabilidad global de las golosinas más preferidas (A y C) se asoció con las antocianinas, lo que podría indicar que las antocianinas influyeron en la aceptabilidad debido a que las golosinas A y C contienen 950 mg contra 770 mg de antocianinas de las menos preferidas (B y D), es decir 23 % más de antocianinas para las más preferidas. Debido a que las antocianinas se asocian con el color y a su vez el color se relaciona con la preferencia de productos, entonces se pudiera decir que el color, en un sentido cuantitativo, es capaz de sustituir el azúcar y aun así mantener la percepción de dulzor en los alimentos con sabor. Además, el color también interfiere en juicios de intensidad de sabor y de identificación y, al

hacerlo, se ha demostrado que intervienen dramáticamente en la aceptabilidad de los alimentos (Clydesdale, 1993; Zampini *et al.*, 2007; Spence *et al.*, 2010).

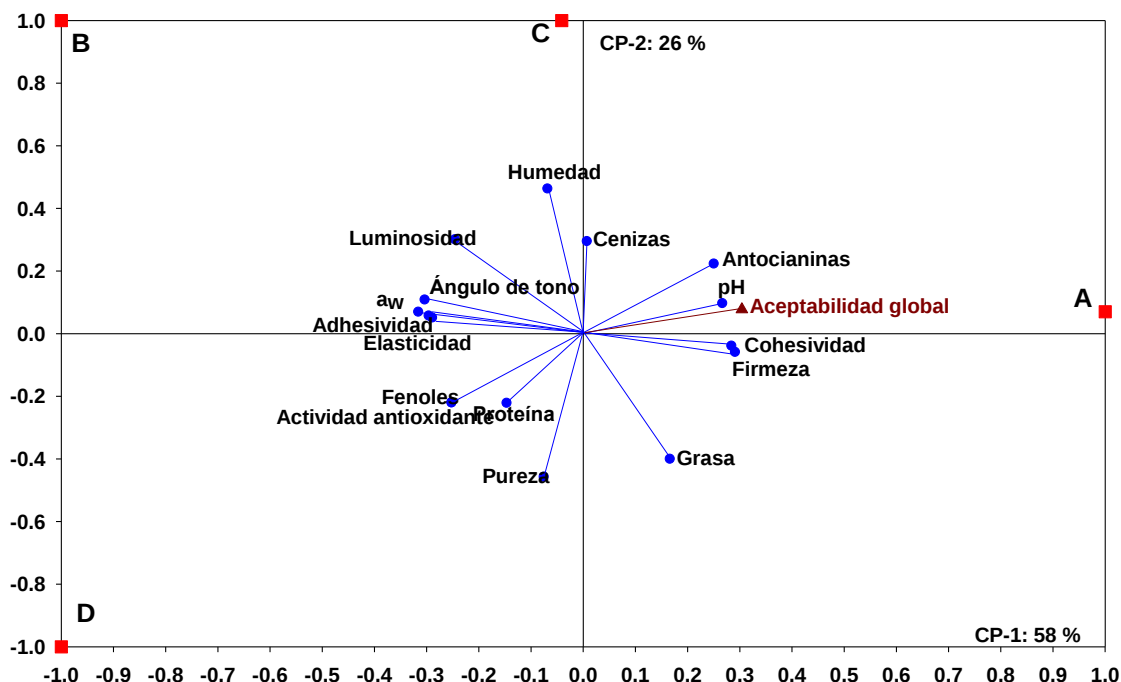


Figura 17. Cargas de las variables fisicoquímicas y calificaciones para cuatro golosinas tipo mazapán elaboradas con maíz azul.

La aceptabilidad global no fue influenciada por el tipo de grasa, pero si por el tipo de harina, debido a que se inclinó hacia las golosinas elaboradas con maíz azul no germinado. Al respecto Troszyńska *et al.* (2006) indicaron que la presencia compuestos fenólicos podría contribuir al olor y sabor de un alimento y podría afectar la aceptabilidad de un número de productos. Para este estudio, las harinas no germinadas y germinadas con las que se elaboraron las golosinas tipo mazapán contienen 2384.2 y 2731.3 de FST (mg kg^{-1} de ácido gálico MS), respectivamente. Lo que significa un 15 % de fenoles solubles totales (FST) más en las golosinas elaboradas con harinas germinadas. Quizá por ello las golosinas de maíz

germinado fueron menos aceptadas debido a que los panelistas pudieran haber percibido algún sabor que influyera en su juicio.

Debido a que compuestos fenólicos influyen en el oscurecimiento de algunos productos, es muy posible que los panelistas pudieran haber percibido a las golosinas no germinadas con menor intensidad en el tono de color (azul) y dado que el color es el atrayente visual inmediato a la hora de elegir un alimento, entonces es muy posible que la aceptabilidad haya sido influenciada. Puesto que el color desempeña un papel clave en la elección de alimentos, ya que influye en los umbrales del gusto, la percepción de la dulzura, la preferencia por los alimentos, lo agradable y lo aceptable (Zampini *et al.*, 2007).

También la reacción de Maillard es una de las mayores reacciones que intervienen en el sabor y color de productos germinados y secados, puesto que hay mayor presencia de azúcares (Fayle y Gerrad, 2002). Esto pudiera explicar porque los tratamientos germinados (B y D) fueron los que obtuvieron una calificación en la escala hedónica de 5 (ni me gusta ni me disgusta), debido a que quizá los panelistas percibieron de menor intensidad el color del producto e inclinarse por los más intensos.

En otras regiones del mundo se han llevado a cabo investigaciones sobre germinación de cereales, sin embargo el enfoque del presente trabajo aporta conocimiento específico en maíz azul y sus propiedades nutraceuticas, e incluye el proceso de germinación y la transformación de este cereal para conservar las antocianinas. Esta información queda a disposición de los productores de maíz azul en México, como una alternativa de procesamiento y de ampliación de mercado del producto; y de los investigadores y estudiantes con interés de explorar esta área del conocimiento.

4 Conclusiones

El análisis fisicoquímico mostró que el pH, la luminosidad, el tono de color y la textura, resultaron estadísticamente diferente para la golosina elaborada con maíz no germinado y grasa vegetal, así mismo se encontró que su aceptabilidad se relacionó con la luminosidad, el sabor dulce, el pH y la proteína.

Los atributos de luminosidad y sabor dulce de las golosinas resultaron estadísticamente diferentes para las golosinas elaboradas con harina de maíz no germinado y las realizadas con harina germinada. El análisis sensorial descriptivo generó siete descriptores para caracterizar sensorialmente a la golosina tipo mazapán. El análisis de varianza y el mapa de preferencia interno, así como la regresión de cuadrados mínimos parciales 1 y 2, mostraron mayor aceptabilidad por golosinas mayor sabor a dulce, sabor a pinole y más cohesiva, los cuales se correlacionaron con el contenido de grasa, a_w y pH.

Fue evidente que las golosinas tipo mazapán elaboradas con harina de maíz no germinado resultaron de menor rechazo, por lo que conviene investigar en estudios posteriores, que tipo de compuestos fenólicos pudieron haber influenciado la aceptabilidad de las golosinas realizadas con maíz germinado.

5 Bibliografía

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1962. Approved Methods of the American Association of Cereal. St. Paul, MN.

American Association of Cereal Chemists (AACC) (1995) Approved methods of the AACC, St. Paul MN.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1975. Official methods of analysis. 14th edition. St. Paul Minnesota, USA. American.

- Chavarría, M. D. M., Reyes, S. B., Sepúlveda, V. A., Soria, C. M. Y. & Vázquez, G. (2010). Mazapán proteínico. *In: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. Acapulco, México.*
- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33:1.
- Fayle, S. E. & Gerrad, J. A. (2002). The Maillard reaction. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. 120p.
- Matsunami, H., Tsuruda, T., Hitosugi, N. & Hirukawa, Y. (1985). Process for producing imitation marzipan. U.S. Patent Documents 4880644.
- Sánchez, M. J., González, R. G., Rendón, F. L. & Quintero, G. A.G. (2007). Mazapán con alto valor nutricional, elaborado con salvado de arroz. *Industria Alimentaria* 29:12-17.
- SAS Institute (2002) The SAS system for Windows 9.0. 2nd ed. SAS Inst. Cary, NC.
- Spence, C., Levitan, C. A., Shankar M U & Zampini M. (2010). Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chem. Percept.* 3:68-84.
- Wall, L. L. & Gehrke, W. Ch. (1974). Total protein measure automated Technicon BD/AII. Method presented at the 88th Annual Meeting of the AOAC. 50 p.
- Kaukovirta-Norja, A., Wilhelmson, A. & Poutanen, K. (2004). Germination: a means to improve the functionality of oat. *Agric. Food Sci.* 13, 100-112.
- Troszyńska, A., Wotejszo, A. & Narolewska, O. (2006). Effect of germination time on the content of phenolic compounds and sensory of mung bean (*Vigna radiata* L.) sprouts. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 15(56): 453-459.
- Zampini, M., Sanabria, D., Philips, N. & Spence, C. (2007). The multisensory perception of flavor: assessing the influence of color cues on flavor discrimination responses. *Food Quality and Preference* 18: 975-984.