

Universidad Autónoma Agraria “Antonio  
Narro”

División de Ciencia Animal

Estudio del Tiempo Óptimo de  
Nixtamalización para la Preservación de  
Antocianinas Presentes en Maíz Azul (*Zea  
mays L.*) para la Elaboración de Tortillas



Por:

Ada Ibone Díaz Velázquez

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

Ingeniero en Ciencia y Tecnología de  
Alimentos

Buenavista Saltillo, Coahuila, México, septiembre de 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

ESTUDIO DEL TIEMPO ÓPTIMO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA  
PRESERVACIÓN DE ANTOCIANINAS PRESENTES EN MAÍZ AZUL (*ZEA  
MAYS L.*) PARA LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS

POR  
ADA IBONE DÍAZ VELÁZQUEZ

TESIS  
QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA POR:

---

LIC. LAURA O. FUENTES LARA  
PRESIDENTE

---

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ  
ASESOR

---

QFB. MARIA C. JULIA GARCÍA  
ASESOR

---

DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA  
ASESOR

---

ING. JOSÉ RODOLFO PEÑA ORANDAY  
EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Septiembre de 2007

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	vii
<b>DEDICATORIAS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1. Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	3
2. Objetivos.....	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	4
3. Justificación.....	4
3.1 Hipótesis.....	4
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	5
4. Revisión de literatura.....	5
4.1 El maíz.....	5
4.2 Calidad del maíz.....	5
4.2.1 Estructura del grano de maíz.....	6
4.2.2 composición físico-química del grano de maíz.....	6
4.2.3 Proteínas.....	8
4.2.4 Lípidos.....	9
4.3 Importancia y consumo del maíz.....	9
4.3.1 Importancia nutricional.....	9
4.4 Valor histórico y cultural de los maíces de color en México.....	10
4.5 Pigmentos en el maíz azul.....	10
4.5.1 Antocianinas.....	11
4.5.2 Usos alimenticios tradicionales del maíz azul.....	11
4.6 La tortilla de maíz, producción y consumo.....	12
4.6.1 Elaboración de la tortilla de maíz.....	13
4.6.2 Cocción de la masa.....	14
4.7 Proceso industrial para elaborar la tortilla del maíz.....	15
4.8 Proceso de nixtamalización.....	15
4.8.1 Nejayote.....	16
4.8.2 Cambios producidos en el maíz durante la nixtamalización.....	16
4.9 Producción de masa.....	17
4.9.1 Cambios estructurales, físicos y químicos.....	18
4.9.1.1 Cambios estructurales.....	18
4.9.1.2 Cambios físicos y químicos.....	18
4.10 Control de calidad de tortillas de maíz.....	18
4.11 Consumo de la tortilla.....	19
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	20
5. Materiales y métodos.....	20
5.1 Materia Prima.....	20
5.2 Materiales.....	20
5.3 Equipos y Reactivos Químicos.....	20
5.4 Metodología experimental.....	21

5.4.1 Obtención de la materia prima.....	21
5.4.2 Obtención de la harina.....	21
5.4.3 Determinación de humedad.....	21
5.4.4 Determinación de proteína cruda por el método micro kjeldhal.....	21
5.4.5 Determinación del contenido de grasa (Extracto etéreo) método Soxleth.....	22
5.4.6 Determinación del contenido de minerales.....	23
5.4.7 Determinación de fibra cruda.....	23
5.4.8 Determinación de antocianinas totales.....	24
5.4.9 Formulación de tortillas.....	24
5.4.10 Diseño experimental.....	24
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>25</b>
6. Resultados y discusión.....	25
6.1 Caracterización de la materia prima (ETAPA 1).....	25
6.2 Resultados de caracterización bromatológica del maíz.....	25
6.3 caracterización y evaluación de tortilla (ETAPA 2).....	27
6.4 resultados de la caracterización bromatológica de la tortilla.....	27
6.5 resultados del contenido de antocianinas del maíz azul nixtamalizado y de tortilla.....	29
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>32</b>
7. Conclusiones.....	32
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>33</b>
8. Referencias bibliográficas.....	33

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>No.</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1	Caracterización bromatológica de la harina de maíz azul y harina de maíz blanco.....	26
2	Caracterización bromatológica de las tortillas de maíz azul y de maíz blanco.....	27
3	Determinación del contenido de antocianinas del maíz azul nixtamalizado y de la tortilla.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Diagrama de flujo del proceso tradicional para la elaboración de tortillas.....	14
2	Representación gráfica de los resultados del análisis bromatológico en dos poblaciones de maíz.....	26
3	Representación gráfica de los resultados del análisis bromatológico de las tortillas de maíz.....	28
4	Representación de las tortillas que fueron sometidas a análisis bromatológico y estudio de antocianinas total.....	28
5	Representación gráfica de los resultados del análisis de antocianinas en maíz nixtamalizado.....	30
6	Representación de maíz azul nixtamalizado en tiempos 15, 30 y 45 minutos.....	30
7	Representación gráfica de los resultados del análisis de antocianinas en tortillas.....	31
8	Representación de tortillas de maíz azul elaboradas con maíz nixtamalizado a diferentes tiempos de nixtamalización.....	31

## **AGRADECIMENTOS**

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (MI ALMA TERRA MATER)** por darme la oportunidad y cobijo para realizar mis estudios de licenciatura.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haberme otorgado la beca de tesis a través del proyecto de investigación con clave **41264 – Z**.

**Al Departamento de Nutrición y Alimentos** principalmente a los profesores de la **Carrera de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, por la enseñanza.

**A todos mis maestros** que día a día con paciencia pusieron un grano de arena para terminar ésta construcción.

**A la Lic. Laura Olivia Fuentes Lara** (mi asesora), por su amistad, confianza y apoyo incondicional brindado en esta investigación y por darme la oportunidad de trabajar y aprender bajo su asesoría.

**Al Dr. Froylán Rincón Sánchez** por su disponibilidad, amabilidad y apoyo brindado en el proceso de esta investigación.

**A la profesora Ma. del Carmen Julia García:** por todo su apoyo y amistad durante toda mi carrera y en el proceso de esta investigación.

**Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza:** por todo el apoyo que me brindó durante la realización de esta investigación.

**Al ing. Luís Fernando Barbosa Abundis** por el apoyo incondicional, pero sobre todo por su amistad, aliento y comprensión durante ésta investigación.

A el **T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel (Carlitos)** por todo su apoyo, amistad y colaboración en el proceso de laboratorio.

A la **T.L.Q. Araceli** por el apoyo y colaboración en el proceso de laboratorio.

**Al laboratorio de química de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por apoyarme en el proceso de investigación de laboratorio.

**Al laboratorio de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.**

**Al Instituto Mexicano del Maíz** por la proporción de materia prima necesaria para llevar acabo esta investigación.

**Al Doctor Rubén López Cervantes** por todo el apoyo y comprensión a lo largo de ésta investigación, además por darme la oportunidad de conocer a esa gran persona.

## DEDICATORIAS

A **DIOS** por darme la vida y por guiarme hacia el camino de la sabiduría, por estar siempre presente en los momentos más difíciles de mi vida, por darme salud y esperanza en la cuesta más difícil.

A mis padres **Mirna Amanda y Manuel**, gracias por creer en mí y por todo el apoyo incondicional que he recibido, siempre estaré agradecida y orgullosa por tenerlos como padres y ésta es la mejor herencia que pude haber recibido, muchas gracias, los amo.

A mis hermanos (**Cristóbal, Antonio, Manuel y Dianita**), por su cariño, confianza, apoyo y sobre todo consejos. Por estar siempre conmigo y por ser parte de esta meta. Los amo.

A ti **Raúl** (mi compañero de la vida) que me has sabido comprender, apoyar en esos momentos más difíciles, en los que he tropezado, y en los que me he caído, gracias por tus consejos y por darme lo más valioso de mi vida (mi hijo), por ser parte de este proyecto. Por estar siempre a mi lado sin ninguna atadura y ninguna condición, y sobre todo por hacerme feliz, Te amo.

A ti **Raúl Alejandro** (mi pequeñito): Por comprenderme en esos momentos que te he faltado, por que me has cambiado la vida hacia un rumbo de superación, por que me has traído felicidad, te amo, eres mi principito y mi mundo entero.

A mis abuelos **Cristóbal Díaz** † y **Cristóbal Velázquez** † por que se que aun después de la muerte están conmigo. Por su cariño y sus consejos, los llevaré siempre en mi mente y en mi corazón.

**A mis abuelas Enedina y Alicia** quienes han sido los pilares que sostienen a las familias Díaz García y Velázquez Matías quienes merecen todo mi cariño y mi respeto; gracias por ser mis viejitas las quiero mucho.

**A la familia Jiménez Tirado** por el apoyo, tolerancia y cariño, muchas gracias, estaré eternamente agradecida.

**A todos mis tíos Díaz García, Velázquez Matías y mis primos**  
Los quiero mucho.

**A mis amigos:**

Karina Arrollo, Yuliana Espinosa, Fredy fuentes, Walter Uvinel, Víctor Alonso, Layner, Layleni, Aura, José Luís, Lisandro, Yadira, Nuyen, Zury, Dodany, Luís Fernando, Enoc, Lorena, Ricardo, Nubia Areli, Lupita Hernández, Luís Alberto, Néstor.

## RESUMEN

México es uno de los países más importantes en el ingesta de maíz, con una gran tradición en su cultivo y fuerte arraigo en su consuno, por constituir la base de la alimentación de la población. Dentro de la gran cantidad de variedades de maíz; el maíz azul ha cobrado gran importancia debido a que este contiene antocianinas, pigmento que realiza una fuerte labor en la salud humana. De los productos elaborados con maíz en México, las tortillas constituyen el principal producto. El presente trabajo de investigación muestra un estudio acerca del tiempo óptimo de nixtamalización para la preservación de antocianinas presentes en maíz azul (*Zea mays L.*) para la elaboración de tortillas. Para éste estudio se evaluaron dos diferentes clases de maíz, uno de color azul y otro de color blanco que tradicionalmente es el que más se utiliza. Se les practicó un análisis bromatológico y además al maíz azul, la cantidad total de antocianinas. Posteriormente, una porción de las dos clases de maíz se sometieron a un proceso de nixtamalización, para el maíz azul se destinaron diferentes tiempos de exposición al calor (15, 30 y 45 minutos), mientras que para el maíz blanco se nixtamalizó en un tiempo normal de 45 minutos; al maíz azul se le evaluó la cantidad de antocianina total por cada tiempo de nixtamalización, obteniendo así el tiempo óptimo en el cual se pudo preservar un 67 por ciento de la cantidad original presente en maíz azul (tiempo óptimo, 15 minutos). Posteriormente se prosiguió a la realización de las tortillas a las cuales también se le realizó el estudio bromatológico; para las tortillas de maíz azul con tiempo de nixtamalización de 15 minutos se evaluó la cantidad de antocianina total; en el cual se obtuvo que para la tortilla elaborada de maíz azul con tiempo de nixtamalización de 15 minutos fue la que mayor cantidad de antocianina conservó. Seleccionada la tortilla de maíz azul fue sometida a un estudio bromatológico y comparada con la calidad bromatológica de las tortillas elaboradas con maíz blanco con tiempo de nixtamalización de 45 minutos encontrando que ambas tienen cualidades propias y únicas.

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Ha sido y continúa siendo parte básica de la alimentación de grandes sectores de la población de varios países de Latinoamérica, principalmente México y Centro América (Billeb y Bressani, 2001). Su origen y evolución han sido un misterio por que el maíz ha llegado a nuestros tiempos altamente evolucionado, sin conocerse formas intermedias. Existen varios reinos de maíz en el mundo, los cuales presentan múltiples colores, tales como el blanco, amarillo, rojo, morado, café, verde y azul. Estos maíces pigmentados se hallan en las 41 razas de maíz descritas en el país (Ortega *et al.*, 1991). Los colores negros, morados, rojos y azules que presentan se deben a las antocianinas, compuestos que en el grano están en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2000). El interés por las antocianinas se debe a sus beneficios para la salud, ya que son consideradas como antioxidantes naturales (Wang *et al.*, 1997) debido a su capacidad para atrapar radicales libres, los cuales ocasionan daño a biomoléculas (Lee *et al.*, 1997; Stavric, 1994).

Este es uno de los cereales que juegan un papel muy importante en la dieta de la población en los países latinoamericanos (Kent, 1983). Su principal forma de consumo es la tortilla, la cual provee el 70 % de las calorías y la mitad de las proteínas de su dieta.

Actualmente en México se consume 800 millones de tortillas /día (22.8% provienen de harinas nixtamalizadas, 36.7 % de masa de molino de nixtamal, 40.5 % de nixtamalización tradicional-zonas rurales. Existen 2,500 molinos en el país, además los de las zonas rurales (García - Cañedo, 2002).

En éste trabajo se presenta un estudio sobre el tiempo óptimo de nixtamalización para la preservación de antocianinas presentes en maíz azul, para la elaboración de tortillas ya que éstas se destruyen por la

aplicación de calor. Además, se compara su calidad nutrimental con el maíz blanco el cual es más utilizado para la fabricación de éste producto. Los parámetros se evaluaron bromatológicamente, tanto en el maíz como en las tortillas.

Una de las finalidades de éste estudio fue mantener la mayor cantidad de antocianinas presentes en maíz azul después de la nixtamalización y en las tortillas. Debido a que el efecto de las antocianinas en la dieta humana ha recibido una atención creciente en los últimos años, este interés surge de las investigaciones del Profesor T. Shirai de la Facultad de Medicina de la Universidad de Nagoya y la Empresa San Ei Gen en Japón, cuando observa una relación entre diversas enfermedades y el efecto de las antocianinas, las cuales son un tipo de flavonoides complejos que se caracterizan por tener un importante efecto antioxidante al apoyar la regeneración de los tejidos, fomentar el flujo de la sangre, reducir el colesterol, promover la formación de colágeno, mejorar la circulación, además de ayudar a la reducción del envejecimiento del cuerpo, disminución de riesgos de ataque al corazón, diabetes, triglicéridos en sangre, y además por ser excelentes preventivos contra el cáncer.

El maíz es un alimento importante en México y en otros países Latinoamericanos y su alto consumo en la dieta resulta benéfico por sus características funcionales que ayudan a mantener la salud y bienestar de la sociedad. (R.L. Duque., 1998).

**2.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Preservar las antocianinas presentes en maíz azul después de la nixtamalización y en el producto (tortillas).

**2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar el contenido de antocianinas presentes en maíz azul (*Zea mays L.*).
- Comparar la calidad nutricional del maíz azul, con el maíz blanco tradicional para la elaboración de tortillas.
- Medir la calidad nutricional de la tortilla elaborada con maíz azul (*Zea mays L.*) contra la tortilla de maíz blanco tradicional.

## **CAPÍTULO 3**

### **JUSTIFICACIÓN**

El maíz es el único medio de subsistencia de aproximadamente 15 millones de personas en México. Debido a la gran importancia que ha recibido el estudio de las funciones nutraceuticas de los pigmentos naturales de origen vegetal, el empleo de maíces pigmentados (rojos y azules) en la elaboración de productos como las tortillas representan una práctica ancestral pero actualmente se ha visto impulsado más allá de sus nichos de producción y consumo tradicional. Sin embargo, pocos estudios se han realizado con respecto a la medición de tiempos de nixtamalización en maíces de color para la preservación de las antocianinas, las cuales se caracterizan por tener un importante efecto antioxidante al apoyar la regeneración de los tejidos, fomentar el flujo de la sangre, reducir el colesterol, promover la formación de colágeno, mejorar la circulación. Asimismo, las antocianinas son potentes antioxidantes que reducen el envejecimiento del cuerpo, disminuyen los riesgos de ataque al corazón y son excelentes preventivos contra el cáncer (estudios del profesor T. Shirai de la Facultad de Medicina de la Universidad de Nagoya y la Empresa San Ei Gen de Japón, 2006).

Por lo que en éste estudio se decidió trabajar con maíz azul para determinar la cantidad de antocianinas presentes antes, después de la nixtamalización y en el producto (tortillas); además de evaluar la calidad nutricional del mismo. Comparándolo con el maíz blanco ya que éste es el más utilizado para la elaboración de tortillas, la cual es el principal alimento en la dieta de la población mexicana.

#### **3.1 HIPÓTESIS:**

Mayor tiempo de nixtamalización disminuye el contenido de antocianinas en las tortillas preparadas a partir de maíz azul.

## CAPÍTULO 4

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 4.1 El maíz

El maíz, es la planta domesticada del género *Zea*, perteneciente a la familia de las gramíneas, subfamilia Andropogonaceae, tribu Maideae, identificada específicamente como: *Zea mays L.* es una planta anual. Jugenheimer (1972) citado por (Hernández, 1972.) mencionó que el maíz (*Zea mays L.*) no se encuentra como planta silvestre en la actualidad y no se sabe cuando se originó, pero hay evidencias de que fue hace miles de años. Las excavaciones, arqueológicas, geológicas y las mediciones con carbón radioactivo en mazorcas de maíz antiguas encontradas en cavernas, indican que la planta debe haberse cultivado por lo menos desde hace 5000 años. Los granos de polen de *Zea euchlaena* y *Tripsacum*, encontrados en la ciudad de México, son aún más antiguos. Aún cuando es generalmente aceptado el origen americano, los investigadores no se han puesto de acuerdo si este cultivo se originó en México (Hernández, 1972). El grano de maíz es un cariósipide formado por una sola semilla en la cual el recubrimiento de la fruta (pericarpio) se adhiere firmemente en la semilla. El grano está compuesto de pericarpio o piel, germen o embrión y endospermo. El pericarpio resiste la penetración del agua y protege al grano, está compuesto principalmente de cenizas, fibra y aceite, con muy poco almidón y proteína, azúcares, vitaminas y minerales, siempre y cuando haya sido refinado completamente del grano. La aleurona es una sola capa de células localizadas inmediatamente bajo el pericarpio, que contiene grandes cantidades de aceites, proteína, minerales, cenizas, vitaminas y enzimas. La composición del maíz varía y se ve afectada por su genética y el ambiente (Rooney, y Almeida-Domínguez, 1995) citado por (González-Ramos, 2001).

#### 4.2 Calidad del Maíz

#### **4.2.1 Estructura del grano de maíz**

El pericarpio está compuesto de una capa externa de células de pared gruesa, alargadas y peritrificadas que forma un tejido denso y duro (Watson y Ramstand, 1987). El pericarpio constituye aproximadamente el 5.3% del peso del grano en base seca (Inglett, 1979). El pericarpio del grano de maíz está compuesto de hemicelulosa 70 %, celulosa 23 % y lignina 0.1 % (Gordon, 1989).

El endospermo es la mayor componente de la estructura del grano con el 82.3 % el peso total; el 86.4 % de endospermo es almidón, contiene el 75 % del total de las proteínas presentes en el grano entero (Watson y Ramstand, 1987).

El germen representa aproximadamente el 11.5 % del peso seco del grano, el 90 % del peso del germen está ocupado por el cotiledón que almacena nutrientes que son usados durante la germinación así como también el vástago y la raíz primaria (Watson y Ramstand, 1987).

El pedicelo es la estructura por medio de la cual el grano se encuentra unido al olote, está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, constituye el 0.8 % del total del peso seco del grano (Watson y Ramstand, 1987).

#### **4.2.2 Composición físico-química del grano de maíz**

De acuerdo con Santos (1980), los componentes del grano maduro de maíz son: pericarpio (cáscara o salvado); germen (embrión), endospermo y pedúnculo. El pericarpio está formado por: epidermis (epicarpio), mesocarpio, células tubulares, células cruzadas y testa. El germen, está formado por el escutelo (cotiledón) y el eje embrionario. El endospermo, se subdivide en: capa aleurona, endospermo calloso, endospermo harinoso y células llenas de gránulos de almidón en una matriz de proteína; el pedúnculo, es la parte que une el grano con el raquis u olote. Este mismo autor resume la información sobre la composición del grano de maíz, la cual se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición promedio del grano de maíz en base seca del grano y sus fracciones.

Fracción	Grano entero	Almidón (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Azúcares (%)	Cenizas (%)
Grano entero	--	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4
Endospermo	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Germen	11.4	8.7	18.8	34.5	10.5	10.1
Pericarpio	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3	0.8
Pedúnculo	0.8	5.3	9.7	3.8	1.6	1.6

Fuente: Santos (1980).

De acuerdo a Desrosier (1983), la composición del grano de maíz varía con respecto a los tipos de materiales genéticos (Tabla 2).

<i>Fracción</i>	<i>Maíz dulce</i> %	<i>Palomero híbrido</i> %	<i>Maíz dentado puro</i> %	<i>Híbrido amarillo dentado</i> %
<i>Proteínas</i>	10.88	10.69	8.31	8.06
<i>Extracto etéreo</i>	8.18	3.69	3.90	3.94
<i>Fibra cruda</i>	1.99	8.25	1.74	2.09
<i>Humedad</i>	10.10	9.78	11.46	10.12
<i>Cenizas</i>	1.83	1.45	1.18	1.40
<i>E.L.N</i>	67.02	72.14	73.41	74.39

Fuente: Desrosier (1983); E.L.N.: Extracto Libre de Nitrógeno.

Desrosier (1983) indica además que la composición del grano de maíz, es la siguiente: humedad, 16.7 %; almidón, 75.5 %; proteínas 9.9 %; grasas, 4.78 %; cenizas (oxido), 1.42 %; fibra (cruda), 2.66 %; azúcares totales, 2.58 %; carotenoides totales, 30.0 mg/kg.

El Centro de Investigaciones Agrarias (CDIA), (1980) cita: "Todos los tipos de maíz que se producen en México tienen composición bioquímica

similar (almidones o carbohidratos, 69 %; humedad, 12 %; grasas o lípidos, 4 %; cenizas o minerales, 4 %; celulosa o parte no digerible, 3 % y proteínas 8 %). Los datos anteriores son aplicables a la generalidad de los maíces, independientemente de su clase o variedad.

Charley (1987) cita los siguientes componentes principales del grano de maíz: carbohidratos, proteínas, lípidos, y en menor proporción minerales, vitaminas y fibra cruda. Los datos anteriores confirman que la composición química es variable y esta relacionada con: estado, raza, variedad, tecnología del cultivo y clima, parte de la planta o del grano que se analice, técnicas y métodos de análisis (Reyes, 1990).

Con respecto al contenido de nutrientes, una ración de 100 g de maíz, contiene 356 Kcal y 8.1 g de proteínas en promedio; ubicándose en un punto intermedio respecto al trigo y arroz que aportan 330 y 362 Kcal, y 10.2 y 7.4 g de proteínas, respectivamente. En cuanto al contenido de grasa el maíz es superior a estos cereales con 4.8 g mientras que en carbohidratos es ligeramente inferior con 71.3 g (SIEPA, 1987).

#### **4.2.3 Proteínas**

El grano de maíz presenta un bajo contenido de proteína. Estas son consideradas de baja calidad nutricional ya que casi el 50 % de ellas son zeína, una fracción protéica que no puede ser digerida por monogástricos además de ser deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano. La mayor parte de la proteína se encuentra distribuida en el endospermo y en el germen (Brezan y Scrimshaw 1958). Todas contienen carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, y también azufre. Hay proteínas que contienen algunos elementos adicionales, particularmente fósforo, hierro, zinc y cobre. Comúnmente solo se encuentran 20 alfa aminoácidos distintos como similares de las proteínas (Lehninger, 1972). Las proteínas constituyen aproximadamente el 10 % del grano entero de maíz (Inglett, 1979).

#### **4.2.4 Lípidos**

El 85 % de los lípidos presentes en el grano de maíz están presentes en el germen, estos lípidos se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos, fosfolípidos y en menor proporción esteroides, tocoferoles y carotenoides (Watson y Ramstad, 1987). En cereales, el contenido de lípidos es de 2-5 %, el grano de maíz es mas pobre, esto se debe que la mayor parte de los lípidos se encuentran en el embrión y la aleurona. Los lípidos aportan al grano la energía necesaria, siendo estos lípidos insaturados y tienden a producir grasa blanda (Duffus y Slaughter, 1980). El grano entero de maíz contiene aproximadamente 4.8 % de lípidos (Inglett, 1979).

#### **4.3 Importancia y consumo del maíz**

En México, como en otros países latinoamericanos, el maíz es y ha sido históricamente el alimento básico ya que se consume una gran cantidad y es parte esencial de la dieta (Billeb de Sinalbi y Bressani, 2001). Se estima que el maíz y sus productos proveen cerca del 70 % de las calorías y casi la mitad de las proteínas de la dieta diaria (Serna- Saldívar *et al.*, 1990). Con respecto al consumo total del maíz, éste no ha registrado cambios significativos ya que mantiene un promedio anual de 15 '000'000 de toneladas; que en su mayor parte es canalizada al consumo humano para la elaboración de tortillas (INEGI, 1996).

##### **4.3.1 Importancia nutricional**

Dada la importancia del consumo del maíz, se ha realizado varios trabajos con respecto al papel nutricional de la tortilla como producto final, pues mas del 60 % del maíz para consumo humano es destinado a la elaboración de tortillas (Bodilla y Rooney, 1982).

La mayor parte de los constituyentes de la tortilla lo representa la humedad y los carbohidratos (más de 40 % cada uno), mientras que cerca del 5 % lo constituyen las proteínas: sin embargo, es reconocido

que estas proteínas del maíz, son deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, y niacina (vitamina que es parte del complejo B), que se sintetizada a partir del triptofano (Gur y Ranhotra, 1985).

Del tratamiento alcalino para la elaboración de tortillas resulta una desnaturalización de las proteínas del maíz, particularmente las glutelinas, que se vuelven más digeribles.

Además, la mayor proporción de lisina y triptofano residuales son responsables de la fracción de glutelinas, el tratamiento alcalino intensifica la utilidad de estos aminoácidos esenciales (Trejo y Feria, 1982).

#### **4.4 Valor histórico y cultural de los maíces de color en México**

Los maíces (*Zea mays L.*) de color han estado presentes en la mitología, rituales religiosos y en la alimentación de las culturas indígenas de México. Se sabe que entre los aztecas, los maíces de color amarillo, azul y rojo se relacionaban con el culto a “chicomecoatl”, diosa de los mantenimientos (Sahún, 1975). En el pensamiento cosmológico de los mayas, los maíces de color blanco, amarillo, rojo y negro se relacionan con los rumbos cósmicos: el maíz blanco se asocia con el norte, el amarillo con el sur, el rojo con el este y el negro con el oeste (Popol Vuh, 1975). Los indígenas huicholes consideran a los maíces de color amarillo, rojo y negro como guardianes de la milpa (Hernández, 1985)

#### **4.5 Pigmentos en el maíz azul**

Los maíces pigmentados contienen antocianinas simples y aciladas, además de cianidina y pelargonidina (Harborne y Gayazzi, 1969); también contienen peonidina y malvinidina (Cadwell y Peterson, 1992). En el grano de maíz azul, la capa de aleurona contiene los pigmentos de antocianina que le da el color azul (Betrán *et al.*, 2001). Las antocianinas son compuestos cromóforos solubles en agua y poseen propiedades

químicas relacionadas con la reducción del colesterol y triglicéridos en el torrente sanguíneo, por lo que reduce afecciones cardíacas. De las antocianinas del maíz también se pueden derivar pigmentos naturales que se pueden utilizar como colorantes de vinos, mermeladas y jugos de fruta (Maltros *et al.*, 1999). Las antocianinas presentes en el maíz azul se derivan de la cianidina, en tanto que las de granos rojos provienen de la pelargonidina (Straus y Harborne y Gabazzi, citados por Salinas *et al.*, 1999).

#### **4.5.1 Antocianinas**

Antocianina (antociano) anthocyanin (Del griego, antho, flor y kyanos, azul). Pigmento hidrosoluble de estructura de O-glucosídico formado por un aglucon (antocianidina) unido en forma glucosídica a 1 o 2 azúcares, como glucosa, ramnosa, galactosa, xilosa o arabinosa. Se conoce aproximadamente 150, de color naranja-rojo-azul, se encuentra en la piel de (manzana, pera, ciruela) o en la parte carnosa (fresas, cerezas) de algunas frutas y en varias legumbres y flores, cambian de color con el pH, son sensibles al calor, al O<sub>2</sub> a los metales y a los sulfitos, absorben de 475 a 560 y de 275 a 280 nm (Dadui Dergal, 1999).

#### **4.5.2 Usos alimenticios tradicionales del maíz azul**

El maíz azul se aprovecha para consumo humano: en la elaboración de tamales, tortillas, atole, elotes y pinole; mientras que para consumo animal se usa el grano entero, el rastrojo y el forraje verde. Los maíces de color azul producen entre 180 y 250 pacas de rastrojo por hectárea, lo que puede representar un ingreso adicional para los productores. Son muy ricos en su valor nutricional y también para usos industriales; de su almidón se obtienen pegamentos, detergentes, colorantes, insecticidas y pinturas; de la fécula se producen películas para fotografía, plásticos, triplay y neumáticos; del etanol se extraen licores y combustibles y de la

fructosa se obtienen alimentos como jugos y frutas enlatadas, refrescos, vinos y conservas (Salinas, 2000).

También se aprovecha en la elaboración de productos nixtamalizados. Es necesario que las antocianinas del grano no se destruyan durante el proceso de nixtamalización, para poder obtener productos teñidos de manera natural; de ahí que sea importante seleccionar maíces que preserven el color durante dicho proceso, y que además, reúnan las características físicas de grano para la elaboración de tortillas y frituras (Salinas, 2000). Para preparar comida, harina y otros productos se muele el maíz azul usando un molino; los granos enteros esencialmente se utilizan para producir diversos alimentos (Hallauer, 2001).

El atole de maíz azul se hace de masa cocinada pero en algunos casos se realiza con los granos secos. Los aztecas y mayas agregaron otros ingredientes para mejorar el sabor y para variar el gusto y la textura del producto; cada atole tenía un nombre diferente, dependiendo de los ingredientes. El pinole es una mezcla hecha de la combinación del maíz azul tostado y molido con canela, azúcar, miel y otros ingredientes, se consume directamente o se mezclan con agua o leche (Dickerson, 1990).

Tienen potencial de uso industrial debido a su contenido en antocianinas, las cuales poseen propiedades químicas relacionadas con la reducción del colesterol y triglicéridos del torrente sanguíneo; además pueden aprovecharse como fuente de pigmentos, lo que posibilita el desarrollo de las industrias de alimentos, cosméticos y farmacéuticos alrededor de estos usos (Maltros et al., 1999).

#### **4.6 La tortilla de maíz, producción y consumo**

La tortilla, el alimento diario de la dieta mexicana, es redonda y plana, parece un panqué muy fino. La forma de la tortilla se hace a mano usando harina de maíz o de trigo, pero siempre se hornea o se cuece en un comal. Se puede comer sola o envolviendo varios rellenos. La tortilla es la base de los tacos, burritos y una multitud de otros platillos. Las tortillas de

harina de maíz o trigo, se venden empacadas, en tiendas y supermercados. La tortilla, era la comida principal de los antiguos Aztecas. Usadas como sabrosas cucharas para comer, se pueden tostar y servir con ensaladas, o simplemente solas y calientes. El maíz es uno de los cereales que juegan un papel muy importante en la dieta de la población en los países Latinoamericanos (Kent, 1983). Su principal forma de consumo es la tortilla, la cual provee el 70 % de las calorías y la mitad de las proteínas de su dieta (Vásquez – Lara, 2000). En la Tabla 3 se indica la composición bromatológica del maíz y de la tortilla de maíz.

#### 4.6.1 Elaboración de la tortilla de maíz

El proceso de elaboración de la tortilla inicia cuando el maíz se cuece con agua con cal, se toman pedazos de masa de aproximadamente 30 g, se moldean a mano o con prensas manuales en un disco de aproximadamente de 15 cm de diámetro y 2 mm de grosor, el cual se transforma en tortillas cuando se hornea sobre una superficie caliente o comal. En Centro América, las tortillas son de mayor grosor y menor diámetro que las contrapartes producidas en México.

Tabla 3. Composición bromatológica del maíz y de la tortilla de maíz en base seca.

<b>Muestra</b>	<b>H %</b>	<b>M.S.T %</b>	<b>C %</b>	<b>P.C %</b>	<b>G %</b>	<b>F.C %</b>	<b>CHO'S %</b>
<b>Harina comercial</b>	10.94	89.05	26.51	8.33	2.47	14.65	48.04
<b>Tortilla (Maíz)</b>	7.89	92.10	1.59	10.17	3.57	1.29	83.38

H= Humedad, M.S,T = Materia Seca Total, C = Ceniza,, P.C = Proteína Cruda, G = Grasa, F.C = Fibra cruda, CHO`S= Carbohidratos. Los datos son reportados en base seca.

Fuente: Hernández (2003)

#### 4.6.2 Cocción de la masa

Los componentes del grano se estructuran tridimensionalmente en la tortilla. Durante la cocción se produce la evaporación del agua de la superficie de la tortilla y una severa gelatinización del almidón. Los gránulos que se encuentran en la superficie de la tortilla están parcialmente gelatinizados y más deshidratados que aquellos que se encuentran en el centro, en donde el almidón está gelatinizado (Gómez y *et al.*, 1992). La tecnología para la elaboración de tortilla se describe en la Figura. 1.

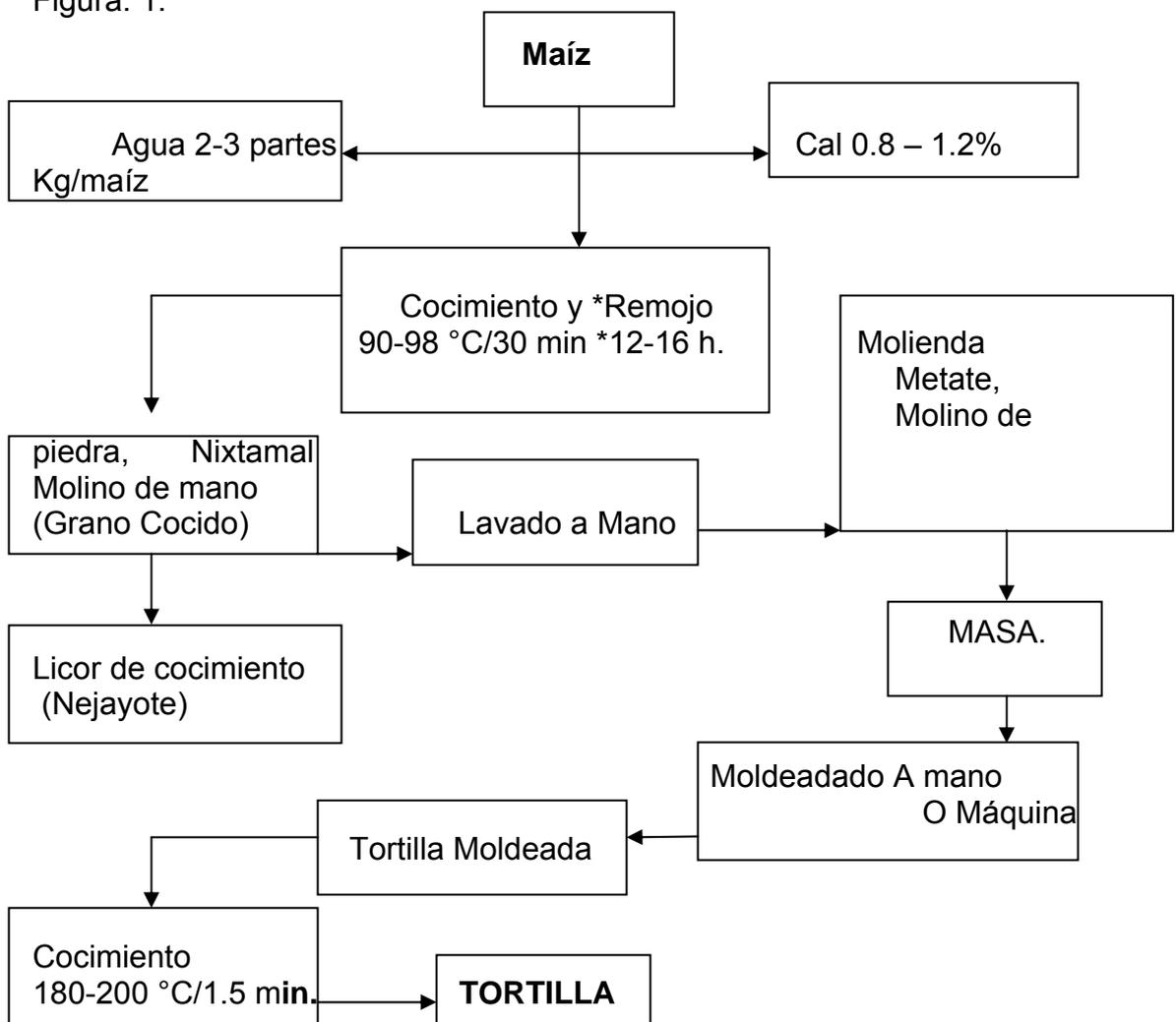


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso tradicional para la elaboración de tortillas modificado de (Serna-Saldívar et al. 1990)

#### **4.7 Proceso industrial para elaborar la tortilla del maíz**

El proceso industrial de la tortilla inicia cuando el maíz se cuece con cal en contenedores abiertos agitados, cocedores verticales o calderas de vapor. El grano se mezcla con aproximadamente 3 partes de agua y 1 % de cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con relación al peso del grano y se cuece durante 10-45 minutos a una temperatura que oscila entre 75 y 100 °C. Luego el nixtamal se deja remojando de 8 a 16 horas en una solución caliente en cal. Posteriormente al remojo, el maíz es bombeado junto con el licor de remojo o decantado por gravedad hacia unos lavadores. El licor de cocimiento es drenado y el nixtamal lavado con agua presurizada. La mayor parte del pericarpio y el exceso de cal son removidos durante el lavado. El nixtamal se muele entre 2 piedras volcánicas o sintéticas, talladas radialmente, una de las cuales esta fija y la otra gira a una velocidad de 500 a 700 rpm. Durante la molienda, el nixtamal es triturado hasta formar partículas finas y gruesas, las cuales son amasadas por mezcladores o extrusores que alimentan la maquina formadora o los rodillos plegadores para formar una masa cohesiva y plástica. Las características de la masa están relacionadas directamente con la separación o presión entre las piedras, el tamaño y la profundidad de las ranuras, la relación temperatura / tiempo de cocción y tiempo de remojo, así como el tipo de maíz. Durante la formación, la masa se va enrollando hasta formar una hoja delgada que es cortada por un cortador giratorio que está colocado debajo de los rodillos. Las piezas de masa formadas entran a un horno de hileras de hornillas de gas para ser horneadas a temperaturas que oscilan entre 250 y 400 °C durante 30-45 segundos luego son enfriadas y/o empacadas (Rooney y Almeida, 1995).

#### **4.8 Proceso de nixtamalización**

El cocimiento alcalino de los cereales, principalmente el maíz, con álcali es ampliamente practicado en México y Centro América. La nixtamalización es el proceso de cocer el cereal en presencia de cal ( $\text{CaCl}_2$ ), antiguamente cenizas de hogueras, para posteriormente molerlo

y formar "tortillas" (Serna -Saldívar *et al.*, 1990). La nixtamalización es una palabra azteca (lenguaje Náhuatl) que significa cocinar y remojar el maíz en una solución de cal o de lixiviado de cenizas de madera. En forma tradicional, el maíz se cuece en ollas sobre fuego, seguido de un remojo de 8 a 16 horas (toda la noche). El licor del cocimiento, llamado nejayote, es desechado y luego el maíz nixtamalizado (nixtamal), se lava y se muele manualmente en un metate, molino de discos o de piedra eléctrica hasta formar una masa fina (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

#### **4.8.1 Nejayote**

El nejayote es uno de los afluentes más difíciles de tratar por su alto pH y demanda biológica o química de oxígeno (DBO). Esto es especialmente importantes en pequeñas factorías donde debido al volumen de producción no es prácticamente redituable invertir en una planta tratadora de nejayote.

#### **4.8.2 Cambios producidos en el maíz durante la nixtamalización**

Los cereales almacenan energía en el grano en forma de almidón contenido en el grano del cereal varía, oscilando entre 60 y 75 % del peso del grano. El almidón es importante debido a su efecto sobre las propiedades físicas de muchos de nuestros alimentos. El almidón se encuentra en dos formas moleculares: Amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal, con enlaces  $\alpha$ -(1-4), formado por 100-1,000 unidades de glucosa. Las cadenas de amilosa son helicoidales y contienen aproximadamente seis unidades de glucosa por cadena vuelta de su hélice; su peso molecular varía desde unos miles hasta 500,000 daltones (D). La amilopectina es un polímero ramificado con uniones  $\alpha$ -(1-4) en las regiones lineales y enlaces  $\alpha$ -(1-6) en los puntos de ramificación, que se presentan a dos longitudes: la primera, cada 12 a 20 unidades de glucosa y la segunda cada 40 a 60 unidades; su peso molecular puede llegar hasta los  $1 \times 10^8$  D (Lehninger, 1985) citado por (Reyes-Vega,

1998). El almidón del endospermo se encuentra contenido en los gránulos de almidón que se localizan en el interior de unos organelos celulares llamados amiloplastos; los gránulos generalmente tienen forma esférica, pueden adquirir formas poligonales de acuerdo al grado de estrechamiento entre las células del endospermo; su tamaño es variable, los más grandes tienen un diámetro de 25  $\mu\text{m}$  y están formados por amilosa y amilopectina. Los gránulos del almidón de maíz tiene una estructura cristalina que permite el fenómeno de birrefringencia al ser expuestos a la luz polarizada; presentan también un modelo característico (cruz de malta) con difracción de rayos X. La cristalinidad del almidón se presenta debido al contenido de amilopectina. Los gránulos de almidón de los maíces cerosos, que no contienen amilosa, presentan las mismas propiedades de cristalinidad que los endospermos de maíces normales. Por otra parte, los almidones con un elevado contenido de amilosa no presentan un alto grado de cristalinidad y frecuentemente se observan regiones amorfas (Lehninger, 1985).

#### **4.9 Producción de masa**

La masa se considera un sistema bifásico en el cual la fase continua está constituida por una red polimérica de almidón solubilizado y la fase dispersa está formada por gránulos de almidones crudos e hinchados, fragmentos celulares y lípidos (Gómez *et al.*, 1990). Los gránulos de almidón, hinchados y parcialmente gelatinizados, actúan como partículas deformables, dispersas en una red de polímeros de almidón que permiten el moldeo de la tortilla durante el amasado y la retención del vapor de agua producido durante la cocción. Se obtiene un mayor grado de gelatinización por la combinación de un alto contenido de humedad, el daño previo de los gránulos de almidón hidratados, el calentamiento a mayor temperatura y una mayor fuerza de tensión. La gelatinización adicional contribuye a la adhesión entre los componentes celulares: paredes, matriz proteica y almidón. Durante el enfriamiento de la masa se produce la retrodegradación de la amilosa, lo cual provoca la formación de un gel de redes más rígidas (Gómez *et al.*, 1990). Ring (1985) citado

por (Reyes-Vega, 1998) definió la retrogradación del almidón como un cambio en los geles de almidón en el cual la agregación de cadenas y la cristalización, ocurre rápidamente durante el enfriamiento.

#### **4.9.1 Cambios estructurales, físicos y químicos**

##### **4.9.1.1 Cambios estructurales**

La cocción y el remojo alcalino ocasionan una disolución parcial de la cutícula, así como la hinchazón y el debilitamiento de las paredes celulares, lo cual facilita la remoción del pericarpio. Las laminillas internas y paredes celulares se degradan y solubilizan (Gómez *et al.*, 1987).

##### **4.9.1.2 Cambios físicos y químicos**

Las proteínas presentes en el maíz son zeína (44 %), glutelinas (28 %), albúminas y globulinas (5 %) el 17 % está formado por una fracción de tipo zeína, con enlaces de disulfuro, que es soluble en solución alcohólica conteniendo mercaptoetanol (Hoseney, 1986). Durante el proceso de nixtamalización se obtiene una mayor disponibilidad de triptofano presente en el maíz (Bressani *et al.*, 1978). Se ha demostrado que la cocción alcalina altera los patrones de solubilidad de las proteínas, disminuye el contenido de albúminas, globulinas y prolaminas, proteínas solubles en agua, soluciones salinas y soluciones alcohólicas respectivamente incrementa la cantidad de proteínas imposibles de extraer del grano nixtamalizado (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

#### **4.10 Control de calidad de tortillas de maíz.**

En la actualidad, en México no existen normas de control de calidad para las tortillas de maíz. Sin embargo, la población mexicana prefiere el maíz blanco para la elaboración de tortillas, mientras que las industrias de frituras prefieren el maíz amarillo. El contenido de humedad óptimo de la

masa para producir tortillas de alta calidad y buena vida de anaquel varían con las variedades de maíz, se ha visto que los mejores resultados se obtienen con una masa de un contenido de humedad de 50-55 % (Paredes-López y Mora-Escobedo 1983). Un factor importante al controlar el proceso de tratamiento térmico del maíz es el grado de cocimiento, debido a las reacciones tanto físicas como químicas que sufre el grano al ser sometido a un tratamiento con agua y cal.

#### **4.11 Consumo de la tortilla**

La industria de la tortilla ocupa el quinto lugar en el mercado mexicano, con ventas anuales de aproximadamente 4000 millones de dólares. La producción de la tortilla en México asciende actualmente a 11 millones de toneladas anuales (Figuroa *et al.*, 1994) citado por (López-Lara.1995). Actualmente en México se consumen 800 millones de tortilla por día (22.8 % provienen de harinas nixtamalizadas, 36.7 % de masa de molinos de nixtamal, y 40.5 % de nixtamalización tradicional en zonas rurales. Existen 2,500 molineros en el país, además de los que se encuentran en las zonas rurales (García-Cañedo, 2002).

## **CAPÍTULO 5**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En el año 2007 los experimentos se establecieron en Laboratorio de Nutrición y Alimentos de la División de Ciencia Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

#### **5.1 Materia Prima**

- Se utilizó muestra de semilla de dos poblaciones contrastantes de maíz, una de color azul y otra de color blanco.
- El maíz azul (*Zea mays L.*), fue adquirido en el Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La semilla de éste material fue incrementado en el ejido derramadero, Saltillo, Coahuila, México. Los cuales se sometieron a un proceso de limpieza.
- El maíz Blanco (*Zea mays L.*) se adquirió en el Instituto Mexicano de Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, provenientes de Villa Hidalgo, Nayarit.
- Agua purificada.

#### **5.2 Materiales**

- Se utilizó material de vidrio de uso común en el laboratorio.

#### **5.3 Equipos y Reactivos Químicos**

- El equipo y los reactivos se mencionan en cada una de las técnicas utilizadas.

## **5.4 Metodología experimental**

### **5.4.1 Obtención de la materia prima**

Para la obtención de la materia prima Maíz Azul (*Zea mays L.*) se recurrió al Departamento de Fitomejoramiento División de Agronomía de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Y para la obtención de Maíz Blanco (*Zea mays L.*) se recurrió al Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Con la finalidad de obtener granos de la misma localidad y que no presentaran variación en cuanto a su origen.

### **5.4.2 Obtención de la Harina**

El material seco se molió en un molino Wiley, con una abertura de malla de 1 mm de diámetro, para la obtención de la harina.

### **5.4.3 Determinación de humedad**

Se colocaron crisoles en la estufa (Marca Thelco, modelo (27) a 105 °C por 12 horas, transcurrido éste tiempo se sacaron los crisoles de la estufa y se colocaron en un desecador de 10-20 min hasta peso constante y en seguida se pesaron en la balanza analítica y se registró el peso. Posteriormente se le agregó 2 g de muestra y se colocó en la estufa por 24 horas, por último se pesó el crisol con muestra (AOAC, 1980).

$$\% \text{ Materia Seca Total} = \frac{\text{Peso crisol con muestra} - \text{Peso del crisol sólo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

### **5.4.4 Determinación de proteína cruda por el método Micro Kjeldhal**

Está basado en la combustión húmeda, con una mezcla digestora o catalizadora formada por sulfato de sodio o potasio, que incrementa el punto de ebullición y un catalizador que puede ser una sal de cobre,

mercurio o selenio. Se añade ácido sulfúrico y se calienta. La oxidación provoca que el nitrógeno se convierta en sulfato de amonio, el amonio se destila y se recibe en ácido bórico, valorándose el ácido no neutralizado por medio de titulación. Consiste en pesar 0.05 g de muestra en papel, pasarlo a un matraz kjeldhal de 100 ml, agregar 4 ml de mezcla digestora, conectar al aparato microkjeldhal digerir hasta color cristalino, enjuagar con 1 ml de agua destilada el resultado de la digestión, vaciar la copa del equipo de destilación, enjuagar con poquita agua destilada y cerrar la llave, adicionar NaOH al 50 % hasta la mitad del nivel de la copita recibir 80 ml del destilado, en un vaso con 40 ml de ácido bórico al 2.2 % y 5 gotas de indicador mixto titular con ácido sulfúrico 0.025 N.

$$\%N = \frac{(\text{MI. Gasto de Muestra} - \text{MI del Blanco})(\text{normalidad del ácido})(0.014)}{\text{g de Muestra}} \times 100$$

$$\%P = (\%N) (5.83)$$

5.83 =factor para convertir el nitrógeno en proteína para maíz

#### **5.4.5 Determinación del contenido de grasa (Extracto etéreo)**

##### **Método Soxleth**

Se determinó de acuerdo al método soxleth, que consiste en la extracción de compuestos no polares por medio de calor.

Se colocaron en una estufa los matraces bola fondo plano con tres perlas de vidrio por 12 h, transcurrido éste tiempo se sacaron de la estufa y se colocaron en un desecador de 10-20 min. Hasta peso constante. En un papel filtro se pesaron 4 g de muestra y se colocaron dentro de un dedal de celulosa. A los matraces bola, se les agregó 250 ml de solvente hexano y se colocaron con el sifón soxleth y la muestra dentro del dedal de celulosa, se extrajo por un periodo de 16 horas posteriormente se retiró el dedal con pinzas y se recuperó el solvente excedente. Se colocaron los matraces en la estufa hasta peso constante, se enfriaron en el desecador y se pesaron (AOAC, 1980)

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{g de muestra seca}} \times 100$$

#### 5.4.6 Determinación del contenido de minerales

Se colocaron en la mufla 2 crisoles a 600 °C/1 h, se sacaron, se enfriaron en el desecador de 10-20 minutos hasta peso constante. Se pesaron 2 g de la muestra seca, y se llevó a preincinerar, posteriormente las muestras preincineradas se colocaron en la mufla a 600 ° C/2 h Se retiraron, se enfriaron por 20 minutos en un desecador y se pesaron.

$$\% \text{ ceniza} = \frac{\text{Peso del crisol con ceniza} - \text{Peso del crisol solo}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

#### 5.4.7 Determinación de fibra cruda

Se pesaron 2 g de muestra molida y desengrasada, se colocó en un vaso de Bercellius, se agregaron 100 ml de ácido sulfúrico al 25 %, se colocó el vaso en el digestor Labconco, se abrió el sistema de enfriamiento y se encendió la parrilla y calentó a temperatura entre 80-90 °C. Cuando la muestra empezó a hervir se tomó tiempo hasta 30 minutos se filtró la muestra sobre tela de lino, el cual se colocó sobre el embudo, se lavó con agua caliente hasta quitar reacción ácida. Vacíe la muestra en el vaso de Bercellius agregando 100 ml de hidróxido de sodio al 25 % y cuando Empezó hervir se dejó por 30 minutos retiraré la muestra, filtré y lavé con agua caliente, hasta quitar reacción alcalina y coloqué la muestra en un crisol, se dejó el crisol en la estufa durante 12 horas saqué el crisol a enfriar y pesé, se colocó el crisol en la mufla durante 2 h. posteriormente se enfrió y pesó. Pre-incineré y se metió a la mufla por un tiempo de 3 h. a 600 °C, se sacaron y enfriaron en un desecador (15 min.) y se pesó.

$$\% \text{Fibra Cruda} = \frac{\text{Peso del crisol con muestra seca} - \text{Peso del crisol con ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

#### **5.4.8 Determinación de antocianinas totales**

Para la determinación de antocianinas se pesaron 5 gramos de muestra a la cual se le adicionó solución extractora de antocianinas hasta cubrir la muestra, dejándolo reposar por 24 horas en la oscuridad. La muestra se pasó a un mortero en la cual se lava 3 veces con 10 ml de solución extractora de antocianina, hasta que la muestra quede sin color, se filtra la solución que se obtiene, usando sulfato de sodio anhidro en papel filtro #1 para eliminar humedad, se recibe el filtrado en un matraz de aforación de 100 ml y se afora con solución extractora de antocianinas, se pasan 6 ml de solución extraída, 6 ml de solución extractora de antocianinas y 3 ml de agua oxigenada al 0.3%.

Posteriormente se pasa a realizar lecturas en \*espectrofotómetro a 525 nm de absorbancia, usando como blanco una mezcla de 12 ml de solución extractora de antocianina y 3 ml de agua oxigenada al 0.3 %.

#### **5.4.9 Formulación de tortillas**

Las tortillas fueron moldeadas en una máquina tortilladora manual ajustado a 2 mm de grosor, ya moldeadas se cocieron en una placa metálica a 180 °C durante 30, 60, 30 segundos sobre la primera, segunda y primera cara, respectivamente.

#### **5.4.10 Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones obteniendo un análisis de varianza (ANOVA), con una prueba de comparación de medias (Tukey al 0.01) con el paquete estadístico MINITAB versión 14 y el programa estadístico R para la prueba de normalidad y homogeneidad de varianza.

\*Es un instrumento que ejecuta mediciones de absorbancia, % transmitancia y concentración dentro del rango de longitud de onda de 325 a 1100 nanómetros, con una ranura espectral de 8 nanómetros.

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La presente investigación se realizó en dos etapas, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

#### **6.1 Caracterización de la materia prima (ETAPA 1)**

Después de la recepción del material, se llevaron a cabo las operaciones de limpieza, selección y clasificación de los mismos, posterior a esto se molieron hasta un tamaño de partícula de 1 mm, obteniendo así harina de maíz.

#### **6.2 Resultados de caracterización bromatológica del maíz**

Para la caracterización química de la harina de maíz azul y la harina de maíz blanco se realizó un análisis bromatológico. Los resultados se muestran a continuación:

El maíz blanco superó al maíz azul en los porcentajes de humedad, cenizas y proteínas con el 10.21, 41.67 y 16.28 por ciento respectivamente, mientras que en extracto etéreo, antocianinas en maíz entero y en maíz molido, el maíz azul presentó un mayor contenido en las determinaciones realizadas con un 8.850 y un 2.68 por ciento. Para fibra cruda estadísticamente son iguales. El maíz blanco no detectó antocianinas (Cuadro 1).

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Watson y Ramstad, 1987 (Tabla 1), en cuanto al análisis bromatológico del maíz blanco se observa que se coincide con los datos reportados por éste autor, con relación al contenido de proteínas, cenizas y extracto etéreo. En lo que respecta a humedad y fibra cruda se logra coincidir con los datos reportados por Desrosier, 1983. En el análisis bromatológico del maíz azul no se logra realizar una comparación debido a que no concuerdan con ningún autor.

**Cuadro 1 Caracterización bromatológica de la harina de maíz azul y harina de maíz blanco.**

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Antocianina maíz molido (%)	Antocianina maíz entero (%)
MA	9.5057 b	1.1355b	8.20540b	4.92587a	0.560833a	9.79427 a	12.1810 a
MB	10.4739a	1.6087a	9.54167a	4.52540b	0.575867a	0.00000 b	0.0000 b

Medias con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey 0.01); MA=Maíz Azul; MB=Maíz Blanco. Las medias resultaron significativamente diferentes ( $\alpha=0.01$ ), según la prueba de Tukey, los errores resultaron normales según la prueba Shapiro-Wilk y existe homogeneidad de varianza según la prueba de Bartlett}

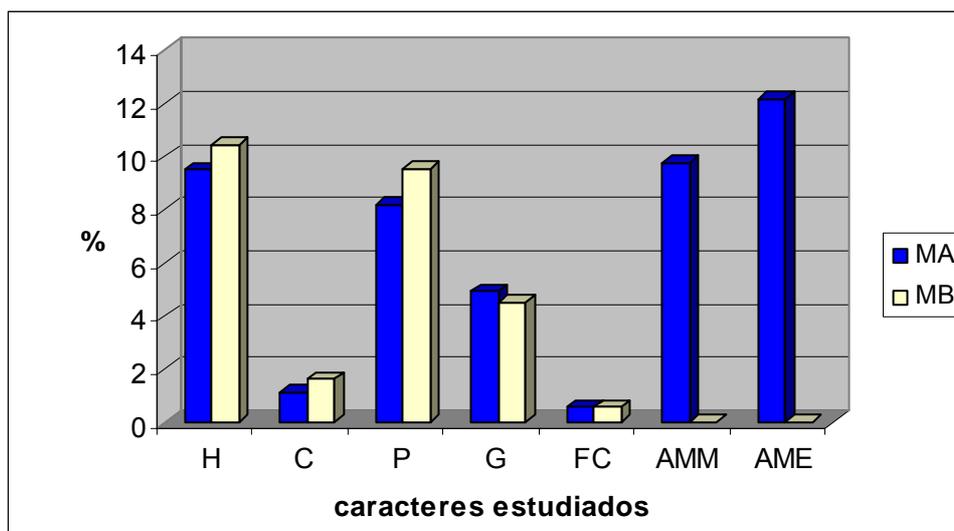


Figura 2. Representación grafica de los resultados del análisis bromatológico en diferentes poblaciones de maíz. H=Humedad; C=Cenizas; P=Proteínas; EE=Extracto Etéreo; FC=Fibra Cruda; AMM=Antocianinas en Maíz Azul Molido; AME=Antocianinas en Maíz Azul Entero.

Considerando los resultados en porcentajes se puede observar que el maíz azul es mayor en contenido extracto etéreo, antocianinas en maíz molido y en maíz entero siendo el maíz blanco mayor en contenido de humedad, cenizas y proteínas; además de mostrar una igualdad en fibra cruda.

### 6.3 Caracterización y evaluación de tortilla (ETAPA II)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la segunda etapa experimental, los cuales se describen y se discuten:

#### 6.4 Resultados de la caracterización bromatológica de la tortilla

En el contenido de humedad, la tortilla azul y la tortilla blanca son estadísticamente iguales (cuadro 2). En los porcentajes de cenizas, proteínas y extracto etéreo. La tortilla de maíz blanca superó significativamente a la tortilla de maíz azul con los siguientes porcentajes en cenizas con un 33.30 por ciento, en proteínas con un 41.49 por ciento y en extracto etéreo con un 32.25 por ciento. En cuanto a fibra cruda y energía bruta la tortilla de maíz azul superó a la tortilla de maíz blanco en un 46.25 y en 3.66 por ciento respectivamente (Cuadro 2).

Cotejando los resultados con los que obtuvo Hernández, 2003 en sus análisis bromatológicos de tortillas de maíz se puede decir que se coincide con los datos reportados por éste autor, en cuanto al contenido de cenizas y extracto etéreo. En lo que respecta al contenido de fibra, proteínas y humedad, existen algunas diferencias. Probablemente se deba a diferentes factores como madurez, tiempo de cosecha, edad y la técnica utilizada para el análisis.

**Cuadro 2 Caracterización bromatológica de las tortillas de maíz azul y de maíz blanco**

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Energía bruta (%)
TA	4.02567 a	1.38990b	1.74263b	3.28790b	0.209433a	4.81000 a
TB	3.80667 a	1.85277a	2.46573a	4.34883a	0.119900b	4.66667 b

Medias con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.01); TA=Tortilla Azul; TB=Tortilla Blanco. Las medias resultaron significativamente diferentes ( $\alpha=0.01$ ), según la prueba de Tukey, los errores resultaron normales según la prueba Shapiro-Wilk y existe homogeneidad de varianza según la prueba de Bartlett.

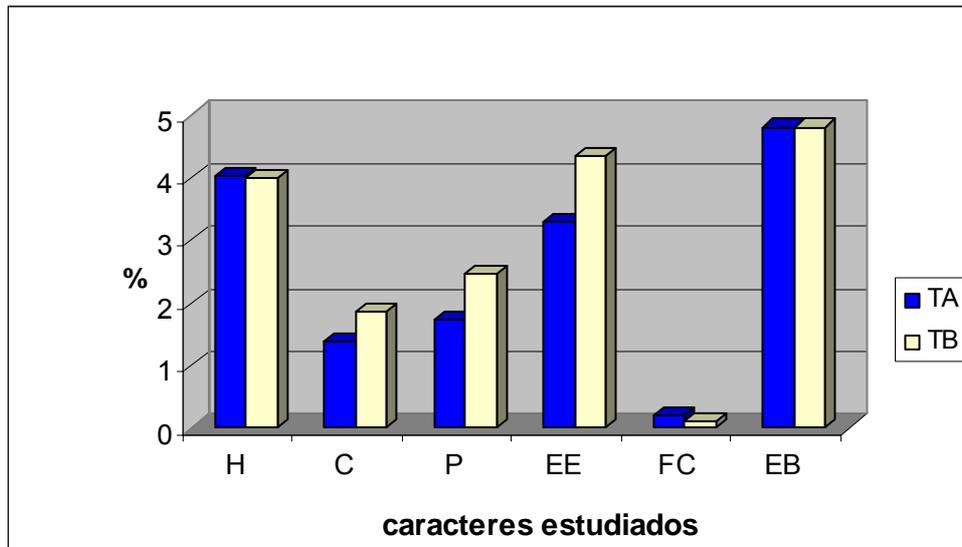


Figura 3. Representación grafica de los resultados del análisis bromatológico de la tortilla de maíz H=Humedad, C=Cenizas, P=Proteínas, EE=Extracto Etéreo, FC=Fibra Cruda, EB=Energía Bruta

Muestra que el maíz azul superó al maíz blanco en los análisis de fibra cruda y energía bruta, mientras que el maíz blanco obtuvo mejores resultados en los análisis de cenizas, proteínas, extracto etéreo, siendo en humedad estadísticamente iguales.



Figura 4. Representación de las tortillas que fueron sometidas a análisis bromatológico y estudio de antocianina total.

## 6.5 Resultados del contenido de antocianinas del maíz azul nixtamalizado y de la tortilla

En el maíz azul con diferentes tiempos de nixtamalización (15, 30 y 45 minutos) en la primera repetición con tiempo de nixtamalización de 15 minutos demostró ser el que mantuvo la mayor cantidad de antocianinas, mientras que para el tiempo 30 y 45 minutos fueron inferiores con una cantidad de antocianina total de 40.73 por ciento para 45 minutos y un 38 por ciento para 30 minutos respecto a la primera. Para el caso del análisis de antocianinas en maíz nixtamalizado en la segunda repetición el comportamiento fue de la misma manera siendo el tiempo óptimo 15 minutos ya que para el tiempo de 30 y 45 minutos existió menor cantidad de antocianinas con una cantidad del 42.23 por ciento para 45 minutos y un 41.57 para 30 minutos. En el caso de las tortillas elaboradas de maíz azul con diferentes tiempos de nixtamalización (15, 30, y 45 minutos) el tiempo de 15 minutos fue el que tuvo mayor concentraciones de antocianinas superando en un 18.32 por ciento en comparación con la tortilla elaborada de maíz azul con tiempo de nixtamalización de 45 minutos (cuadro3).

De los resultados obtenidos del contenido de antocianina total en maíz azul y en tortillas se corrobora lo que menciona Dadui Dergal, 1997 cuando dice que las antocianinas son sensibles al calor. Ya que es muy notoria la disminución; por lo que se puede decir que a mayor tiempo de exposición al calor la cantidad de antocianinas disminuye.

**Cuadro 3. Determinación del contenido de antocianinas del maíz azul nixtamalizado y de la tortilla.**

Muestra	ATMN1	ATMN2	ATT
TMA15	8.18930 a	7.5391 a	5.47323 a
TMA30	5.93393 b	5.3251 b	4.62553 b
TMA45	5.81893 b	5.3004 b	4.18107 c

\* Medias con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.01). Las medias resultaron significativamente diferentes ( $\alpha=0.01$ ), según la prueba de Tukey, los errores resultaron normales según la prueba Shapiro-Wilk y existe homogeneidad de varianza según la prueba de Bartlett. ATMN1= Antocianina Total en Maíz Nixtamalizado (Repetición 1); ATMN2= Antocianina Total en Maíz Nixtamalizado (Repetición 2); ATT= Antocianina Total en Tortillas; TMA15= tortilla elaborada con maíz azul nixtamalizado 15 minutos; TMA30= tortilla elaborada con maíz azul nixtamalizado 30 minutos; TMA45= tortilla elaborada con maíz azul nixtamalizado 45 minutos.

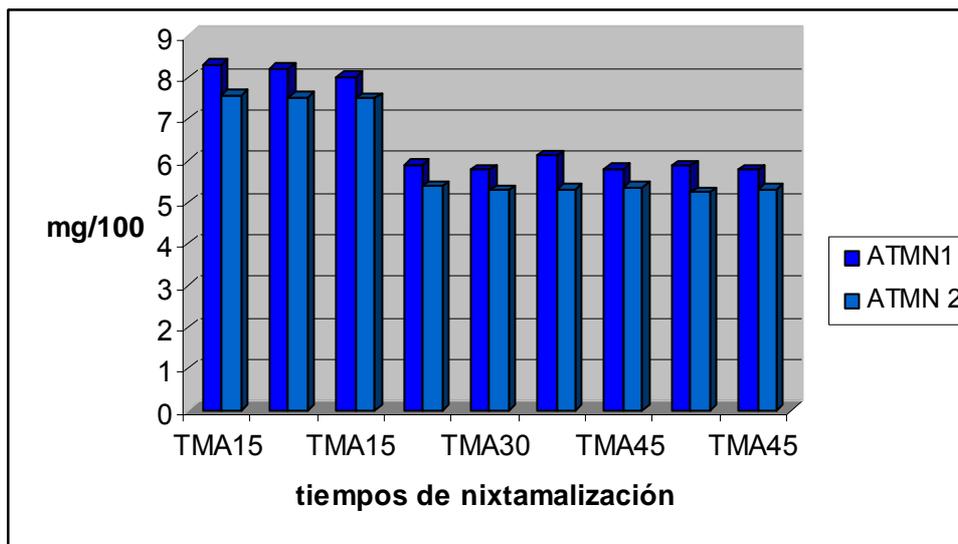


Figura 5. Representación grafica de los resultados del análisis de antocianinas en maíz nixtamalizado

Muestra la cantidad de antocianinas que se pudieron preservar después de la nixtamalización observando tres repeticiones por cada tiempo de nixtamalización en la cual se puede ver que el tiempo óptimo es el tiempo 15 minutos.



Figura 6. Representación de maíz azul nixtamalizado en tiempos 15, 30 y 45 minutos.

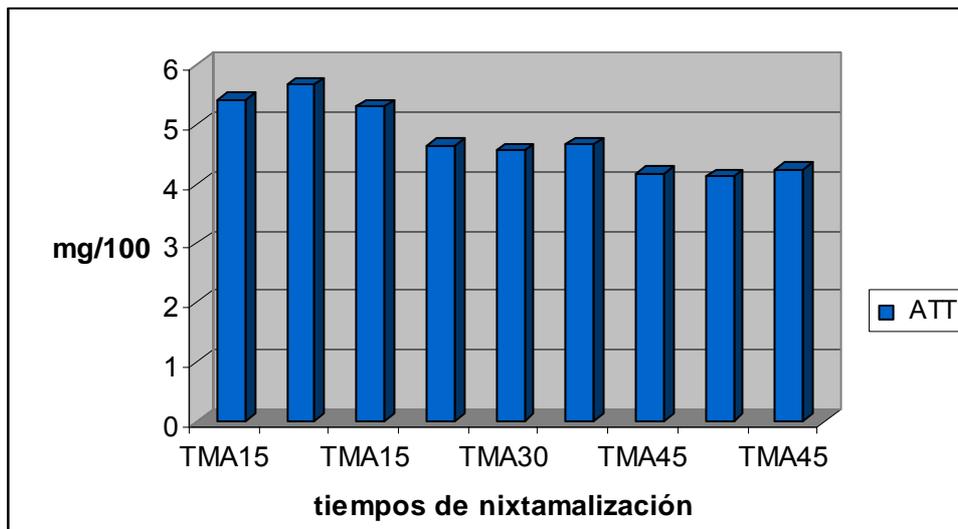


Figura 7. Se distingue la cantidad de antocianinas que permanece en las tortillas elaboradas de maíz azul con diferentes tiempos de nixtamalización indicando que la tortilla que más antocianina conservó fue la del tiempo de 15 minutos.



Figura 8. Representación de tortillas de maíz azul elaboradas con maíz nixtamalizado a diferentes tiempos de nixtamalización.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES

- Se logró preservar en un 67 por ciento la cantidad de antocianinas presentes en la muestra original de maíz azul a un tiempo de nixtamalización de 15 minutos, siendo el tiempo óptimo de exposición al calor. Para las tortillas se logró preservar el 45 por ciento de antocianinas de la cantidad original, elaborándose con maíz nixtamalizado con tiempo de 15 minutos. Por lo que se puede decir que a mayor tiempo de exposición a temperatura normal de nixtamalización menor cantidad de antocianinas.
  
- Se determinó el contenido de antocianinas presentes en maíz azul en el cual se concluye que es mayor la cantidad presente en maíz entero que en maíz molido debido a que éste tiene contacto con el O<sub>2</sub> y con metal ya que se somete a un molido.
  
- Se concluye que en los resultados obtenidos en el análisis bromatológico del maíz azul y maíz blanco, el contenido nutricional del maíz azul superó al maíz blanco en cuanto a contenido de extracto etéreo y antocianinas, mientras que en grasa se comportan de la misma manera; de los componentes: humedad, cenizas y proteínas no muestran un porcentaje mayor con respecto al control (maíz blanco). Lo cual indica que el maíz blanco tiene mayores cualidades al maíz azul en el ámbito nutricional.
  
- Se comparó la calidad nutricional de la tortilla elaborada con maíz azul contra la tortilla de maíz blanco, dando como resultado que la tortilla de maíz blanco supera a la tortilla de maíz azul en el contenido de cenizas, proteínas y extracto etéreo; mientras que en la tortilla de maíz azul el contenido de fibra cruda y energía bruta es mayor. Por lo tanto se concluye que ambas tortillas tienen cualidades propias y únicas.

## CAPÍTULO 8

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.-**A.O.A.C. (1980)** METODOS OFICIALES DE ANALISIS. Association of Oficial Agricultural Chemists. Washington , D.C.U.S.A
  
- 2.-**Almeida, H. D. y R. W. Rooney. 1995.** American Association of cereal quality lab. Soil and crops sciences. Texas A & M University, College Station. Tx 77843-2474.
  
- 3.- **Bressani, R. 1978.** Chemistry, Technology, and nutritive value of maize tortillas. Food Reviews Int. 6 (2):225-264.
  
- 4.- **Bressani, R. and Scrimshaw N.S. 1958.** Effect of lime treatment on in-vitro availability of essential aminoacids and solubility of protein fractions in corn. Journal of Agriculture and Food Chemistry 6: 774
  
- 5.- **Bendolla, S., de Palacios, M.G., Rooney, L.W., Dichl, K.C., and Khan, M.N. 1983.** Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. Cereal Chem. 60(4): 263-268.
  
- 6.- **Billeb de Sinalbi, A.C. y Bressani, R. 2001.** Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Archivo Latinoamericanos de nutrición. 51 (1): 86-94.
  
- 7.-**Charley., H. 1987.** Tecnología de Alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Limusa. México.
  
- 8.- **Dadui Dergal, Salvador, 1997.** Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México p 53.
  
- 9.- **Dadui Dergal, Salvador, 1999.** Química de los Alimentos p 394-395.

- 10.- Delgado Ortegón Ma. Luisa ; U. Hernández Yasmín Haydee. 1986.** Manual de practicas de bioquímica, Primera Edición; Colegio de posgraduados, Chapingo, México.
- 11.- Desrosier W. N. 1983.** Elementos de Tecnología de Alimentos. CECOSA. México. p. 160.
- 12.- Dickerson, G. W. 1990.** Blue Corn production and marketing in New Mexico Coop Ext. Serv. Guide H-226. 294p.
- 13.- Duffus C. y C. Slaughter. 1980.** Las Semillas y sus usos. AGT. Editores. México. p. 93-114.
- 14.- Espinosa Velásquez, del Bosque Celestino, 1999.** 2<sup>do</sup> Taller Nacional de Especialidades de Maíz. Memoria del XX Aniversario del Instituto Mexicano del Maíz. Dr. Mario E. castro Gil de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. P. 37-48.
- 15.- García- Cañedo J.L., Reyes- Moreno C. Milan-Carrillo J. Cuen-Ojeda H.M., Gutiérrez-Dorado R. Ramírez-Wong B. Mora-Escobedo R. 2002.** Tortillas elaboradas con harinas instantánea de maíz de calidad proteica ( MCP). Opción para mejorar la Alimentación del Mexicano. IV Congreso del Noroeste en Ciencia Alimenticias y Biotecnológicas. Libro de Información y Resumen.
- 16.- García Villa, Ramiro, 2004.** Extracción, Cuantificación y Estabilidad de Antocianinas en Fuentes Vegetales para su Potencial Aplicación en la Industria Alimentaria. Tesis de Licenciatura en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. P. 19-24.
- 17.- Gómez Eras, Jorge, 1993.** Métodos Comparativos para Determinar Dureza en Maíz (*zea maíz L.*) Y su Influencia en el Tiempo de Nixtamalización. Tesis de licenciatura en Agroindustrias, Chapingo, México. P. 27-29.

- 18.-Gomez, M.H. Rooney, L.W. Wanisk, R.D. and Pflugfelder, P.L. 1987.** Dry corn masa flows for tortilla and snack food. *Cereal Foods World* 32:372-377.
- 19.- Gomez, M.H. Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1990.** Effects of nixtamalization and grinding conditions on starch in masa. *Starch* 42 :47.
- 20.- González Ramos, P., L ., Aguilera González, C. N. , Garza Toledo, H., Ruelas Chacon, X., Reyes Vega, M. L. (2001).** "Mejoramiento de los Atributos de textura de la tortilla de maíz mediante la adición de harina de nopal (*Opuntia ficus-indica*) .Tesis de licenciatura. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de ciencias químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
- 21.- Gordon, T.D. 1989.** Functional properties vs physiological action of total dietary fiber. *Cereal Foods World*. 34(7):517-525.
- 22.- Gur, S. and RANHOTRA ph. D. 1985.** Nutritional Profile of Corn and Flour Tortillas. *Cereal Foods Word* 10 (30): 703-704
- 23.- Hallauer, A. R. 2001.** Specialty corns. Second Edition. pp : 294, 296
- 24.- Harbone, J. B., and G. Gayazzi. 1969.** Effect of Pr and pr alleles on anthocyanins biosynthesis in *Zea mays*. *Phytochemistry* 8: 999-1001.
- 25.- Hernández-Ayala, E. ; Nieto-Villalobos, Z. y Duran de Bazua. 1996.** Determinación del efecto de la nixtamalización y la Extrusión Alcalina sobre el valor Nutricional en tortillas de maíz y sorgo. Parte 11: Contenido de triptofano y niacina Facultad de química, UNAM. Mayo/Junio 1996.

**26.- Hernández X., E. 1972.** Consumo humano de maíz y el aprovechamiento de tipos con alto valor nutritivo: Simposio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de alto Valor Nutritivo. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.

**27.- Hernández, M.; Chávez, a. ; Bourges, H. 1980.** *Valor nutritivo de los alimentos Mexicanos.* Tablas de Uso practico. Instituto Nacional de la Nutrición. Publicaciones de la División Nutrición -L-12, 8a. Edición.

**28.- Hernández H, E. 2003.** Evaluación del Efecto de la Adición de Harina de Nopal (*opuntia ssp*) Natural y Libre de Clorofila en la Elaboración de Tortillas de Maíz. Tesis de licenciatura en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. P. 22-25.

**29.- Hosney, C.R. 1986.** *Principles of Cereal Science and Technology.* American Association of Cereal Chemist. Inc. St. Paul, Minn.

**30.- INEGI. 1996.** Abasto y comercialización de productos básicos de maíz. CONASUPO, México.

**31.- Inglett, E.G. 1979.** Kernel structure, composition and quality. In corn: culture, processing products. Published By The AVI Publishing Company Inc., USA.

**32.- Kent, N.L. 1983.** Technology of cereals. Tercera Edición. Pergamon Press. Great Britain. P. 27.

**33.- Lehninger, L.A. 1972.** Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y funcion celular. Ediciones omega. Barcelona España. 1093 p.

**34.- Maltros R H, J L Ibañez G, P Bustillos E y R I Díaz de la G. 1999.** Segundo taller nacional de especialidades de maíz. p: 125.

**35.- Paredes-López, y, Mora-Escobedo 1983.** Maize: A review of tortillas production technology. Bakers Digest 13: 16-25.

**36.- Ramirez-Wong, B., Sweat, V.E., Tores, P.I. and Rooney, L.W. 1993.** Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. Cereal Chem. 70(3): 286-290.

**37.- Reyes- Vega M. de la L. 1998.** Efecto del empackado con películas plásticas sobre la calidad microbiológica, Bioquímica y sensorial de la tortilla de maíz. Tesis de Doctorado en ciencias. Departamento de biotecnología y Bioingeniería. Centro de investigación y estudios Avanzados del instituto Politécnico Nacional, M.F.

**38.- Reyes, C., P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT Editores. México. p 10-17.

**39.- Salinas, M, Y, y P. Pérez H. 1999.** Calidad nixtamalera-tortilla en maices comerciales de mexico. Rev. Fitotec. Mex. 20:121-136

**40.- Salinas M., Y. 2000.** Determinación de antocianinas en maíces de grano azul y rojo proveniente de diferentes razas de maíces criollos. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 102 p.

**41.-Santos, M. A. 1980.** Bioquímica de cereales y sus productos. Universidad de Chapingo. México. p.12.

**42.- Serna- Saldívar, S. O., M. H. Gomez, and L.W. Rooney, 1990.** De. Pomeranz, Y. Advances in cereal Science and Technology. Chapter 4 : Technology, Chemistry, and Nutritional Value of Alkaline- Cooked Corn products. American Association of Cereal Chemists. Minn., U.S.A.

**43.- S.I.E.P.A.** (Sistema Integral de estímulos de producción agropecuaria). Proyecto estratégico de fomento a la producción de maíz. 1ra. ed. SARH. Pag 157.

**44.- Vásquez-Lara F., Ramírez- Wong , B ; Cinco-Moroyoqui, F.J. y Mercado-Ruiz ; J.N. 2000.** Efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre la textura de la masa y la tortilla de maíz. Biociencia . Revista de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad de Sonora. Vol. 2. Num. 3.

**45.-Watson, A.S. and Ramstand, E. P. 1987.** Corn: chemistry and technology. American Association of cereal chemist. Inc: st. Paul Minnesota

**46.- Wellhausen, E. J., Roberts, L.M. and Hernandez, X.E. 1951.** Races of maize in Mexico: Their Origin, Characteristics and Distribution. 1ra. Edition. The bussey Institution of Harvard University. p 23-44

**47.- <http://www.payqu.com/salud/>**